

A large, dark blue, stylized I-beam graphic that spans the entire height of the page. It has a central vertical stem and two horizontal flanges at the top and bottom, which are slightly wider than the stem. The graphic is positioned on the right side of the page, with the text 'tratado de construcción' placed to its left.

**tratado
de construcción**

Heinrich Schmitt
Tratado de construcción

Editorial Gustavo Gili, S. A.

08029 Barcelona Rosellón, 87-89. Tel. 322 81 61

28006 Madrid Alcántara, 21. Tel. 401 17 02

1064 Buenos Aires Cochabamba, 154-158. Tel. 361 99 98

México, Naucalpan 53050 Valle de Bravo, 21. Tel. 560 60 11

Bogotá Calle 58, N.º 19-12. Tels. 217 69 39 y 235 61 25

Heinrich Schmitt

Tratado de construcción

Elementos,
estructuras y reglas
fundamentales
de la construcción

6.^a edición, aumentada y puesta
al día, con 3800 ilustraciones

5.^a tirada

Traducción autorizada de la obra
de Heinrich Schmitt
Hochbaukonstruktion

Traducción de las ediciones anteriores:
Adrián Margarit, Ingeniero Industrial, y
Jaime Freixa, Arquitecto

Traducción de la nueva edición:
Antonio Munné, Arquitecto, e
Iris Erlenkämper, Arquitecto

Ninguna parte de esta publicación, incluido el diseño de la cubierta, puede reproducirse, almacenarse o transmitirse en forma alguna, ni tampoco por medio alguno, sea éste eléctrico, químico, mecánico, óptico, de grabación o de fotocopia, sin la previa autorización escrita por parte de la Editorial.

OVerlagsgruppe Bertelsmann GmbH/Bertelsmann
Fachverlag, Düsseldorf
y para la presente edición castellana
Editorial Gustavo Gili, S. A. Barcelona, 1978

Printed in Spain
ISBN: 84-252-0092-X
Depósito legal: B. 36.631-1992
Impresión: Gráficas 92, S.A. - San Adrián de Besós

Indice

Cimentación	1	Medidas de seguridad	24
Terreno	1	Medidas protectoras contra los asientos perjudiciales	24
Clases de terreno	1	Recalce de cimentaciones	24
Roca	1	Medidas para subsanar asientos ya producidos	25
Terrenos naturales	2		
Terrenos sin cohesión	2	Protección de las obras	27
Terrenos cohesivos	2	Protección contra la humedad	27
Terrenos de naturaleza orgánica	2	Desperfectos producidos por la humedad	27
Tierras vertidas o amontonadas	3	Clases de humedad	28
Estudio del terreno	3		
Proceso del estudio	3	Humedad del terreno	28
Extracción de muestras	3	Humedad y substancias nocivas	29
Zanjas de exploración	3	Materiales de impermeabilización	30
Sondeos	3	Materiales bituminosos	30
Perforaciones	4	Asfalto	30
Comportamiento del terreno	4	Betunes y materias bituminosas	30
Propagación de la presión	4	Alquitrán de hulla	31
Asientos	5	Pintura: capa de preparación	31
Asientos uniformes	5	Pintura: capas de acabado	31
Rotura del terreno	5	Pasta extendida con espátula	31
Presión admisible sobre el terreno	6	Cartones o láminas adhesivos	31
Heladas	9	Cartones impermeables	31
		Coberturas o lienzos impermeables (DIN 18190)	31
Excavaciones para cimientos	9	Tiras termoplásticas	32
Ejecución de la excavación	10	Revoque hidrófugo	32
Entibaciones	10	Hormigón hidrófugo	32
Entablados	10	Protección contra la humedad ascendente del terreno	33
Paredes de vigas y tablonés	10	Impermeabilización horizontal en paredes	33
Tablestacados	10	Impermeabilización de suelos	35
Muros de pilotes de perforación	11	Impermeabilización vertical de paredes exteriores	35
Muros pantalla	12	Impermeabilización a nivel del zócalo	36
Líquidos de sostenimiento	12	Protección contra el agua superficial en	
Consolidación del terreno	13	construcciones a media ladera	36
Apuntalamiento y anclaje	13	Medidas adicionales bajo el terreno	37
Agotamiento de zanjas	13	Protección contra el acceso del agua subterránea	
Descenso del nivel del agua subterránea por medio		y del agua a presión	37
de pozos con filtro	14	Cubas o fosas estancas	38
Por medio de pozos de vacío	14	Base de apoyo y protección de la lámina obturadora	39
Por electroósmosis	15	Ejecución de impermeabilizaciones resistentes	
Agotamiento al descubierto con poza para bomba	15	a la presión del agua	40
Impermeabilización de las paredes de las excavaciones	16	Impermeabilizantes a base de lienzos termoplásticos	41
Impermeabilización de la base de las excavaciones	16	Impermeabilización a base de pasta extendida	
		con espátula	42
Clases de cimentaciones	16		
Materiales para cimentaciones	16	Humedad procedente de precipitaciones	42
Cimentaciones someras	16	Precipitaciones y erosión	43
Base de la cimentación	17	Erosión mecanofísica	43
Cimentaciones en fajas y en bloques aislados	17	Erosión química	43
Cimientos de losas o placas	18	Erosión orgánica	43
Vertidos de arena, grava y piedra	18	Protección por la cubierta	43
Cimentaciones profundas	19	Protección por la pared exterior	44
Cimentaciones sobre pilotes	19		
Dimensionado de cimentaciones sobre pilotes	19	Humedad en la obra	44
Confección de pilotes	20	Humedad de construcción	44
Pilotes prefabricados	20	Agua de los servicios	45
Pilotes hormigonados en obra	21	Humedad del aire	45
Cimentación de pozos	23		

Humedad relativa del aire	46	Protección contra los rayos	77
Agua de condensación	46	Probabilidad de la acción de un rayo	77
Difusión del vapor de agua	46	Construcciones que requieren protección	78
Circunstancias de tensión de vapor	47	Comportamiento de las instalaciones de protección contra el rayo	78
Secreción de agua de condensación	47	Protección acústica	79
Condensación de vapor de agua en elementos constructivos formados por varias capas	48	Campo del problema	80
Fundamentos de cálculo	48	Protección acústica en el proyecto	80
1. Amortiguamiento térmico, temperatura, tensión de vapor saturado	50	Fundamentos en la técnica acústica	80
2. Tensión del vapor, resistencia a la difusión, condensación del vapor de agua	50	Conceptos fundamentales	81
3. Cantidad de vapor condensado en invierno	52	Nivel sonoro	82
Consideración final	53	Amortiguación de sonidos propagados por el aire	83
Humedad práctica permanente	54	Paredes y techos de una capa	84
Protección térmica	54	Aislamiento contra el ruido de pisadas	86
Proceso del intercambio calórico	55	Revestimiento de forjados de pisos	88
Balance térmico de las personas	55	Transmisión indirecta	89
Influencias meteorológicas	55	Transmisión indirecta del sonido aéreo	90
Condiciones invernales	55	Propagación indirecta del ruido de pisadas	90
Condiciones estivales	56	Absorción del sonido	90
Sensación de bienestar	56	Grado de absorción sonora	91
Regulación del clima ambiente	56	Medición del grado de absorción	91
Calefacción	56	Absorbentes porosos del sonido	91
Ventilación	57	Placas resonantes	92
Climatización	57	Resonadores	93
Medidas protectoras contra la pérdida de calor	57	Disminución del sonido por absorción sonora	94
Protección térmica mínima y conveniente	58	"Superficie equivalente de absorción"	94
Protección térmica óptima	58	Audibilidad en teatros, auditorios musicales y salas de conferencias	94
Protección solar	59	El tiempo de reverberación	94
Radiación solar	59	La composición del local	95
Consideraciones astronómicas	60	Amortiguadores del sonido para tuberías	96
Intensidad de la radiación solar	60	Sonido en los sólidos y trepidaciones	96
Influencias geográficas	60	Problemas de la protección en los sólidos y las trepidaciones	96
Altura del Sol y tiempo de insolación	61	Campo de empleo del aislamiento contra el sonido en los sólidos	97
Medidas de protección solar	61	Bases de protección contra el sonido en los sólidos	97
Influencia de la orientación del edificio	63	Aplicación de técnicas acústicas en la construcción	97
Influencia de la superficie de la obra	64	Condiciones mínimas para una protección acústica suficiente	98
Acristalamiento	64	Comprobación de que existe suficiente protección acústica	98
Paredes	64	Mediante prueba de aptitud	98
Cubiertas	64	Mediante prueba de eficacia	98
Elementos que proyectan sombra	64	Consideraciones prácticas	98
Protección contra incendios	65	Paredes y techos con amortiguación acústica	98
Peligro de incendio	65	Paredes de una sola capa	100
Carga de incendio	65	Paredes de dos capas	101
Cometido de la protección contra incendios	66	Capas de recubrimiento para paredes	103
Prescripciones y conceptos	66	Mamparas de compartimentación	103
Clases de materiales	66	Tabiques móviles	103
Clases de resistencia al fuego	67	Forjados de piso	104
Elementos constructivos especiales	68	Cielos rasos acústicos	104
Prescripciones de empleo	68	Pavimento flotante	105
Medidas de protección contra incendios	68	Suelos de tablas de madera	106
Medidas en el proyecto	68	Parquet flotante	106
Vías de escape	69	Suelos de varias capas con placas duras	106
Sectores de incendio horizontalmente	70	Suelos blandos	107
Sectores de incendio verticalmente	70	Puertas	107
Medidas constructivas	70	Escuelas acústicas	108
Comportamiento al fuego de la madera	70	Ventanas	108
Comportamiento al fuego de la obra de fábrica	71	Escaleras	110
Comportamiento al fuego del hormigón armado	72	Superficies planas absorbentes del sonido	110
Comportamiento al fuego del acero	72	Techos absorbentes del sonido	110
Influencias del dimensionamiento de la sección	72	Absorción sonora en muros de ladrillo	113
Influencias de la estructura constructiva	72	Amortiguadores sonoros para conductos y tuberías	113
Medidas constructivas adicionales	73	Paredes y techos aislados de las vibraciones	114
Medidas de servicio	74	Elementos elásticos y capas aislantes	114
Instalaciones de alarma contra incendios	74	Ejemplos de aplicación a las obras	115
Dispositivos de extracción del calor y del humo	75	Capas de materias fibrosas	115
Instalaciones para la extinción de incendios	76	Placas de corcho	115
Lucha contra los incendios desde el exterior	76	Elementos de goma	115
Lucha contra incendios en el interior de los edificios	76	Resortes de acero	116
Bocas de incendios	76	Datos para el cálculo preliminar	117
Rociadores automáticos (sprinklers)	76		
Aparatos contra incendios	77		

Absorción de las vibraciones en la obra	117	Ladrillos huecos con perforaciones longitudinales	148
Efectos sobre la estructura de la obra	117	Ejecución de la obra de fábrica de ladrillo hueco o perforado	148
Paredes	119	Ventajas e inconvenientes de la obra de fábrica de ladrillo hueco	148
Paredes de obra de fábrica	119	Observaciones sobre la rentabilidad de la obra de fábrica	150
Mortero	119	Influencia sobre las reglas del aparejo	150
Composición del mortero	119	Paredes prefabricadas de ladrillo	150
Aglomerantes	120	Ladrillos ligeros	155
Cal	120	Obra de fábrica hecha con ladrillos aglomerados	155
Cemento	121	Ladrillos de cal y arena. El material	155
Cementos normales	121	Ladrillos de cal y arena (KS) según DIN 106	155
Aridos	122	Forma y disposición de las perforaciones	156
Agua de amasado	122	Ejecución de las obras de fábrica de ladrillo con ladrillos de cal y arena	156
Aditivos	123	Morteros para una fábrica de ladrillos de cal y arena resistente a las lluvias que inciden sobre ella	156
Clases de morteros	123	Juntas de dilatación	156
Mortero de cal	123	Aplicaciones	156
Mortero de cemento	124	Ladrillos ligeros de cal y arena	156
Mortero de cal y cemento	124	Aglomerados de hormigón ligero	156
Dosificación de las mezclas	124	Ladrillos macizos de hormigón ligero	156
Material necesario	124	Bloques huecos de hormigón ligero	156
Preparación del mortero	125	Piezas complementarias	156
Otros tipos de morteros y mezclas	125	Ejecución de la obra de fábrica con aglomerados de hormigón ligero	159
Mortero refractario (chamota)	125	Ventajas e inconvenientes de la obra de albañilería con aglomerados de hormigón ligero	159
Obra de fábrica de piedra natural	126	Aglomerados de hormigón gaseosos o espumosos fraguados al vapor	161
Piedra	126	Ejecución de la obra de fábrica hecha con bloques	162
Rocas eruptivas. Granito	126	Ejecución de la obra de fábrica hecha con piezas lisas	162
Basalto	126	Obra de fábrica armada	162
Lava basáltica	126	Aplicaciones	162
Tobas volcánicas	126	Condiciones generales	162
Rocas sedimentarias. Arenisca	126	Paredes de hormigón	163
Calizas	126	Propiedades del hormigón	163
Pizarras cristalinas	127	Clima ambiental	164
Solicitaciones admisibles por compresión	127	Materiales	164
Preparación y puesta en obra de la piedra natural	127	Agglomerantes	164
Ejecución de la obra de fábrica en tiempo de heladas	127	Aridos	164
Albardillas para muros	131	Líneas de cribado continuas	165
Fábrica de sillería (obra de piedra labrada)	131	Suministro y almacenamiento de los áridos	166
Obtención y preparación de los sillares	131	Aditivos del hormigón	166
Transporte y colocación de los sillares	132	Agua de amasado	166
Coste y economía de la fábrica de sillería	133	Aceros para hormigón armado	166
La piedra y la expresión arquitectónica	133	Exigencias en la composición de los hormigones	166
Ordenación de dimensiones - DIN 4172. Observación preliminar	133	Clases de resistencia	166
1. Definiciones	133	Consistencia	167
2. Números normalizados para la construcción	133	Porcentaje del agregado fino	167
3. Medidas menores	133	Composición de los hormigones del grupo I	167
4. Aplicación de los valores normalizados para la construcción	133	Dosis de cemento	167
5. Juntas y aparejo	134	Mezcla de áridos	168
Obra de fábrica de materiales cerámicos	134	Consistencia	168
Formas y tamaños de los ladrillos	135	Composición de los hormigones del grupo II	168
Antiguos tamaños y dimensiones de los ladrillos	135	Dosis de cemento	168
Nuevos tamaños y formas de ladrillos	135	Mezcla de áridos	168
Ladrillos macizos	136	Relación agua/cemento y consistencia	168
Ladrillos macizos para obra de fábrica revocada	136	Comportamiento del hormigón	168
Ladrillos macizos para obra de fábrica vista	136	Hormigón ligero	168
Ejecución de la obra de fábrica con ladrillo macizo	136	Materiales	168
Gruesos y longitudes de paredes	138	Agglomerantes	168
Denominaciones con que se distinguen los ladrillos, las juntas y las hiladas	138	Aridos	168
Aparejos de paredes	139	Materiales de adición	168
Aparejos históricos	144	Amasado	169
Aparejos ornamentales	145	Puesta en obra	169
Rehundidos y ranuras en las paredes	145	Las paredes como elementos constructivos	170
Resaltos en las paredes	145	Paredes exteriores	170
Aparejo de pilares	146	Paredes de carga	170
Rejuntado de la obra de fábrica	146	Paredes de caja de escalera y de separación entre viviendas	170
Agregación de paredes de obras de fábrica ya existentes	146		
Pavimentos de ladrillos	146		
Ventajas e inconvenientes de la obra de fábrica de ladrillo macizo	147		
Ladrillos huecos y perforados	147		
Ladrillos con perforaciones verticales	147		

Paredes de separación entre locales	170	Las ventanas como elementos estructurales	205
Paredes con conductos de instalaciones	170	Aberturas normalizadas para ventanas	206
Muros de sostenimiento	170	Vanos de puertas	208
Paredes de sótanos	172	Aberturas normalizadas para puertas	208
Generalidades	172	Marcos o cercos de puertas	210
Ejecución de la construcción	173	Cierre por arriba de los vanos en las paredes	211
Paredes de sótanos de hormigón	173	Vigas revestidas	212
Paredes de sótanos de hormigón armado	174		
Ventanas para sótanos y cajas para tragaluz	174	Techos o pisos	213
Paredes exteriores	175	Exigencias constructivas	213
Obra de fábrica vista	175	Tipos de techos	214
Obra de fábrica vista en paredes exteriores	176	Techos o pisos interiores	214
Paredes exteriores de fábrica de ladrillos de dos hojas	177	Techos o pisos exteriores	214
Hormigón visto	178		
Capas de pintura	178	Techos o pisos de vigas de madera	214
Revoque de exteriores	179	Disposición de las vigas	215
Revestimiento de paredes con placas de piedra natural y artificial, cerámica vitrificada y gres	179	Secciones o escuadrias de las vigas	217
Instrucciones para el empleo de cementos de piedra natural en la construcción	181	Forjados de los techos de madera	217
Revestimiento de paredes con placas de fibrocemento	185	Cielos rasos	218
Placas planas de fibrocemento	185	Techos o pisos de ladrillo, hormigón y acero	218
Ejecución de las juntas	185		
Revestimiento de placas para tablestacado y de placas onduladas de fibrocemento	187	Sistemas estáticos	219
Subestructura	187	Pisos o techos de vigas	221
Recubrimiento	187	Vigas colocadas a cierta distancia unas de otras	221
Suspensión y fijación de las placas	187	Vigas adosadas unas al lado de otras	221
Revestimientos de pared con placas metálicas	188	Pisos o techos de vigas-losas o vigas T	221
Paredes cortina-Curtainwall	188	Pisos o techos de vigas-losas o vigas T sin piezas de relleno	221
Revestimientos de pared con cristal	188	Pisos de vigas-losas o vigas T con piezas de relleno que no soportan cargas	221
Revestimientos de pared con plásticos	189	Pisos de vigas-losas o vigas T con piezas aptas para soportar esfuerzos longitudinales y transversales	221
Paredes divisorias ligeras. Tabiques	190	Pisos o techos de losas	222
Materiales y sistemas	190	Pisos de losas huecas	222
Tabiques y forjados	191	Métodos o sistemas de construcción	222
Paredes divisorias de rigidización	191	Pisos construidos totalmente en la misma obra	222
Paredes divisorias que no arriostran	192	Pisos prefabricados	222
Tabiques de baldosas de vidrio	193	Pisos o techos parcialmente prefabricados (de montaje parcial)	223
Tabiques de enlucido armado (o tabiques Rabitz)	193	Pisos o techos totalmente prefabricados (de montaje total)	223
Tabiques de revoque o proyección	193		
Tabiques y paredes divisorias de hormigón armado	193	Pisos o techos de hormigón armado	223
Tabiques de placas	194	Definiciones	224
Tabiques de entramado de madera	196	Documentos de construcción	224
Tabiques desmontables	199	Materiales	226
Tabiques al aire	199		
Protección acústica	200	Pisos o techos compuestos de elementos prefabricados de hormigón armado	226
Protección térmica	200		
Protección contra el fuego	200	Losas de techo compuestos de elementos prefabricados	227
Montaje y adaptabilidad	200	Losas de forjado en construcciones con paredes y techos compuestos por placas prefabricadas	227
Posibilidades de colocar instalaciones	200	Prescripciones generales	230
Colocación de puertas	200	Techos nervados de hormigón armado con elementos intermedios	230
Aberturas en las paredes	200	Losas	230
Aberturas para ventanas	200	Otros elementos constructivos a modo de losas según DIN 1045	232
Situación de los edificios	200	Techos de cerámica armada	232
Iluminación de interiores con luz natural	201	Hormigón armado, con bloques de vidrio	232
Luz natural	201	Techos sobre columnas de cabeza de hongo	233
Iluminación natural al aire libre	201		
Coeficiente de luz diurna	202	Vigas, vigas en T y forjados nervados	235
Componente de la luz celeste T_n	202	Pisos o techos nervados de hormigón armado	237
Componente de reflexiones exteriores T_v	202	Pisos o techos nervados de hormigón armado sin piezas de relleno	237
Componente de reflexión interior T_i	202		
Locales con iluminación lateral	202	Pisos o techos de vigas de acero	238
Locales con iluminación cenital	203	Forjados sin armar	239
Dimensiones, forma y situación de las ventanas	203	Forjados armados	239
Otras influencias sobre la iluminación	204		
Comparación de la protección térmica	204		

Construcciones a base de vigas mixtas de acero y hormigón	239	Desagües o terrazas	280
Forjados a base de chapa de acero ondulada	242	Barandillas o antepechos de terrazas y balcones	280
		Construcción y montaje de la barandilla	281
Escaleras	243	Estructuras de las obras	283
Formas fundamentales de las escaleras	243	Estructura a base de paredes	283
Tornos de las escaleras	244	Estructuración estática	283
Pendiente de las escaleras	245	Paredes	283
Compensación de las escaleras	246	Paredes aisladas	283
Compensación por el método del semicírculo	246	Pisos o techos	284
Compensación por el método de división proporcional	247	Cooperación entre paredes y techos	285
Compensación con peldaños redondeados	247	Construcciones macizas con paredes de carga	285
Escaleras de caracol	247	longitudinales	285
		Construcciones macizas con paredes transversales de carga	286
Representación de las escaleras en los planos	248	Condiciones estáticas	287
Planta y fachada	248	Ejecución	288
Observaciones	250	Protección térmica	289
Construcciones de escaleras	251	Protección acústica	289
Peldaños apoyados	251	Construcciones macizas con paredes de carga	289
Peldaños volados	251	longitudinales y transversales	289
Escaleras de madera	251	Obra de fábrica	290
Escaleras con peldaños macizos de madera	252	Otras condiciones a cumplir	295
Escaleras a la molinera	252	Obras de hormigón	297
Escaleras ensambladas	252	Paredes de hormigón y hormigón armado, hechas en la obra	297
Huellas y contrahuellas	252	Paredes prefabricadas	299
Zancas	253	Techos compuestos por elementos prefabricados	299
Zancas de pared	254	Paredes de hormigón ligero	299
Zanca al aire y barandilla	254		
Cubillos	258	Sistemas de encofrado	301
Escaleras a la inglesa	258	Gastos de trabajo y material	302
Escaleras de caracol de madera	259	Encofrado de paredes	302
Escaleras de piedra natural y artificial	262	Rigidización de la superficie del encofrado	302
Peldaños de piedra natural	262	Atirantamiento entre las dos superficies del encofrado	302
Escalinatas	262	Apoyos y diagonales de apuntalamiento	302
Escaleras al aire	263	Andamios de trabajo	303
Escaleras de caracol	265	Encofrado trepador	303
Escaleras de hormigón en masa	266	Encofrado deslizante	303
Escaleras de hormigón armado	267	Encofrados de techos	303
Losas de escalera	267	Superficie interior del techo	303
Losas de escaleras apoyadas en sus extremos	267	Mesas de encofrado para techos	303
Losas de escaleras apoyadas por sus costados	267	Encofrados especiales	303
Enlaces con los descansillos	267	Rentabilidad de los sistemas de grandes encofrados	304
Escaleras de piezas prefabricadas de hormigón armado	269	Influencias sobre la estructura del edificio	305
Escaleras de hierro	272	Formas de encofrado y construcción por montaje de piezas prefabricadas	305
Barandillas de escaleras	274	Edificios a base de paredes sustentantes contruidos por montaje de piezas prefabricadas	305
Barandillas de barrotes	274	Estructuración, tamaño de los elementos y métodos de fabricación	306
Antepechos macizos	274	Construcción a base de paneles grandes o pequeños	306
Balcones y terrazas	277	Ordenación de medidas	307
Tipos y utilización de los balcones	277	Ordenación de módulos - Coordinación de medidas	309
Ejecución de los balcones	278	Concepto de las tolerancias de fabricación y de montaje	311
Edificios con paredes de carga longitudinales	278	Juntas de montaje	311
Edificios con paredes de carga transversales	278	Disposición constructiva - Estática de las juntas	312
Construcciones de entramado	278	Juntas en elementos de fachada	312
Galerías	280	Dimensionado de las juntas cerradas de fachadas	312
Condiciones físico-constructivas	280	Elaboración de pastas de estanquidad de elasticidad permanente	313
Zonas de estar situadas encima o debajo de balcones o terrazas	280	Juntas abiertas y ventiladas	314
		Montaje de piezas prefabricadas de hormigón celular	314
		Elementos constructivos	315
		Fachadas portantes y no portantes	315
		Dinteles y montantes de puertas y ventanas	315
		Paredes de las cajas de escaleras	315

Paredes de separación entre viviendas	316	Rellenado de núcleos	374
Paredes de separación entre habitaciones	316	Pantallas	374
Paredes cortafuegos	316		
Forjados de piso	316	Edificios con entramado de madera	374
Tipología estructural	316	Historia de la construcción con entramado de madera	375
Puertas en obra	318	Sistema cajón	375
Montaje con grandes paneles de hormigón armado	320	Sistema franconiano	375
Elementos constructivos	321	Sistema alemánico	375
Estructura y ejecución	322	Construcciones con entramado de madera modernas	375
El sistema "Camus"	322	Entramado de madera ejecutados por plantas	376
Sistema de montaje "Larsen & Nielsen"	322	Entramados de madera con pies derechos continuos	377
		Disposición constructiva y elementos de pared	
Construcción de entramado	324	exteriores	379
Tipos de entramado	324	Revestimientos exteriores de madera	379
Estructura estática	324	Protección de las superficies	379
Sistemas de estructuras sustentantes	324		
Jácnas sobre pilares pendulares	325	Construcción de edificios altos	379
Sistemas aporticados	327	Instrucciones	380
Organización constructiva	329	Principios básicos para la construcción de	
Distancias entre apoyos	329	edificios altos	380
Anchuras de los edificios	329	Contenido	380
Alturas de edificio y altura de techos	329	Definición	380
Juntas de movimiento	330	Generalidades	380
Dirección de las jácnas	331	Procedimientos	380
Jácnas longitudinales	331	Aprovechamiento del solar	380
Jácnas transversales	332	Estructura resistente, forjados	380
Jácnas en ambos sentidos	332	Antepechos, dinteles, puertas cristaleras y	
Jácnas en voladizo	332	ventanas	380
Forjados sin jácnas	333	Paredes interiores, revestimientos e inclusiones	381
La estructura y las instalaciones	333	Pozos de instalaciones y conductos	381
Tendido de las instalaciones	334	Puertas	381
Instalaciones eléctricas de alta y baja tensión	335	Sectores de contención del fuego	381
Conductos de la instalación de calefacción	335	Salidas y escaleras de emergencia	381
Conductos de ventilación y acondicionamiento		Ascensores	381
de aire	335	Locales auxiliares	381
Tuberías de suministro de agua y de desagüe	336	Triturador, incinerador de inmundicias	381
Tuberías para otras clases de fluidos	336	Calefacción, chimeneas	382
Sistemas de transporte	336	Ventilación y acondicionamiento de aire	382
Paredes exteriores	336	Instalación eléctrica de emergencia	382
		Cuadro de distribución y transformador	382
Construcciones de entramado de hormigón armado	342	Pararrayos	382
Disposición constructiva	342	Dispositivos de la lucha contra incendios	382
Apoyos	345	Planos orientativos	382
Jácnas y forjados	346	Otras instalaciones especiales	382
Construcciones de entramado por montaje de		Estructura y uso de los edificios altos	382
piezas prefabricadas	347	Seguridad estática	382
Pies derechos prefabricados	347	Acción del viento	382
Unión de los forjados a los pies derechos	347	Estabilidad a las fuerzas del viento	385
Posibilidad de modificaciones	348	Paredes de arriostramiento y núcleos de rigidez	385
		Casas altas a base de paredes de carga	386
Construcciones de entramado metálico	358	Obras de fábrica	386
Aceros que se usan en construcción	358	Fábrica de ladrillo	386
Longitudes normales	359	Fábrica de ladrillos de cal y arena	388
Propiedades del acero	359	Paredes de fábrica de hormigón	388
Protección contra la corrosión	360	Casas altas a base de entramado sustentante	388
Acero inoxidable (austenítico)	360	Supresión de pilares en la planta baja	388
Acero patinable	360	Estructuras con voladizo	389
Estructuras resistentes de acero	360	Estructuras suspendidas	390
Cálculos de comprobación	361	Sistemas especiales	390
Elementos de enlace	361	Fachadas de casas altas	391
Remachados	362		
Uniones con pernos y tornillos	362	Cubiertas	393
Uniones por soldadura	365	Estructuras sustentantes para las casas corrientes	393
Símbolos para las soldaduras	365	Formas de cubierta	393
Clases de soldaduras	365	Inclinación de las cubiertas	394
Formas de las soldaduras	365	Antiguas cubiertas de madera y revestimiento de	
Soldaduras a tope	365	las mismas	394
Soldaduras en ángulo	366	Cubiertas con correa	394
Dimensiones de los cordones de soldadura	366	Solicitud de la armazón de cubierta y cálculo de	
Ventajas e inconvenientes de la soldadura	366	las dimensiones de sus elementos	397
Pisos	367	Correas durmientes o de alero	399
Protección contra el fuego de los edificios con		Correas de cumbre	400
estructura metálica	368	Jabalcoes	401
Revestimientos y recubrimientos	368	Cepos	401
Pinturas y aplacados	374		

Cables	401	Grueso de la madera y profundidad del clavado	453
Cubiertas de correas con postes	402	Separaciones entre los clavos	453
Cubierta de correas con una fila de postes	402	Ejecución y construcciones especiales	454
Cubierta de correas con dos filas de postes	403	Sistema Greim	456
Cubierta apuntalada de correas con una fila de postes	404	Sistema Gang-Nail	456
Cubierta apuntalada de correas con puentes y dos filas de postes	408	Construcciones con maderas encoladas	458
Cubierta parhilara	409	Calidad de la madera	458
Cubierta parhilara simple	409	Tipos de cola	458
Cubierta con armadura de pares y puente	410	Fabricación de vigas encoladas	459
Cubierta con armadura de pares, puente y pendolón	411	Estructuras de entramado con barras de madera	459
Cubierta de correas con sotabanco	412	Armaduras triangulares	459
Cubiertas de correa de una sola vertiente	413	Pares de una sola pieza	459
La organización de la cubierta y la estructura del edificio	415	Pares y tirantes compuestos de varias piezas	459
Cubiertas de cables y puentes	415	Sistema Greim	459
Cubiertas de cable	416	Vigas de celosía de cordones paralelos	462
Cubiertas con puente	417	Viga "Trigonit" de celosía	464
Arriostramiento	417	Sistema de diagonales triangulares	464
Cubiertas con puentes verticales y horizontales	419	Estructuras de madera de alma llena	464
Embrochados	419	Vigas huecas	465
Cubiertas a cuatro aguas (Cubiertas con faldones)	423	Vigas con sección doble T	465
Cubiertas de correas a cuatro aguas	424	Vigas compuestas de madera con sección doble T	465
Arriostramiento longitudinal de las cubiertas de correas con faldones	426	Vigas con alma de placa	465
Cubiertas de cables y puentes con faldones	430	Vigas de alma ondulada	466
Cubiertas compuestas	430	Vigas Kämpfsteg	466
Tendencias en el desarrollo de las cubiertas para las casas de viviendas	433	Vigas con alma de tablillas horizontales encoladas en plano	466
Cubiertas industriales de gran luz	433	Pies derechos	467
Estructura constructiva de las naves y tinglados con sistemas de cerchas de viga llena y de celosía	433	Pórticos	471
Armaduras sobre apoyos pendulares	434	Pórticos de celosía	471
Armaduras sobre apoyos empotrados	437	Pórticos de alma hueca y de doble T	472
Pórticos	439	Pórticos anclados en capas	474
Estructuras sustentantes en arco	439	Estructuras en arco	475
Puntos de vista constructivos	439	Estructuras metálicas para cubiertas	476
Naves con gruas	439	Estructuras de celosía	477
Presión del viento y esfuerzos que se producen durante el montaje	440	Armaduras metálicas atornilladas	477
Formas de las cerchas de entramado	440	Armaduras soldadas	478
Sistemas estáticamente determinados y estáticamente indeterminados	440	Correas	478
Cerchas de cordones paralelos	441	Mallas espaciales	481
Armaduras triangulares	441	Composición de las mallas espaciales	482
Cerchas o armaduras arqueadas	442	Uniones de las barras en las mallas espaciales	483
Entramados de las vertientes y revestimientos de las cubiertas	442	Apoyo de las mallas espaciales	483
Cubrición sobre un entablado de madera	442	Cerchas de alma llena	483
Distancias entre correas y entre cables	443	Vigas laminadas	483
Armaduras de madera	443	Vigas alveoladas	484
Propiedades de la madera	444	Formas especiales	486
Construcción de la madera	444	Estructuras de hormigón armado para cubiertas	487
Contracción e hinchazón	444	Hormigón pretensado	487
Enfermedades de la madera	445	Cerchas	487
Protección de la madera	445	Formas de cerchas	487
Protección contra la humedad	445	Correas y losas de cubierta	488
Protección contra los insectos	445	Cerchas de caras paralelas	489
Protección contra los hongos destructores de la madera	445	Correas en T	491
Protecciones contra el fuego	446	Cubiertas en diente de sierra	505
Calidades de la madera de construcción	446	Estructuras plegadas y laminares	505
Maderas que se emplean en construcción	446	Estructuras plegadas	508
Maderas de frondosas	447	Estructuras laminares	509
Uniones en los trabajos industrializados de madera	447	Láminas de simple curvatura	509
Llaves o tacos	448	Lámina de doble curvatura	511
Llaves alojadas	448	Láminas cupuliformes	511
Llaves incrustadas	449	Láminas con curvaturas opuestas	513
Llaves alojadas y llaves incrustadas	450	Revestimiento de cubiertas	519
Pernos	451	Revestimiento de tejas	520
Clavos	452	Inclinación de las cubiertas	520
Clavado y dimensiones	452	Soporte del recubrimiento de cubierta	520
		Distancia entre los listones y recubrimiento	522
		Tejas	522
		Teja plana alemana (teja de cola de castor)	522
		Encuentros con paredes de las cubiertas de teja plana	527
		Encuentros con chimeneas	528

Tejas cóncavas (tejas en S)	532	Colocación de placas de foam-glass	572
Revestimiento de teja árabe	535	Placas de lana mineral	572
Teja plana de encaje	537	Comparación de los materiales aislantes	572
Tejas de claustro	540	Economía de los distintos sistemas de aislamiento térmico	572
Teja plana de ranura y cordón	541	Características y campo de aplicación de los principales materiales de techar	572
Teja de aleta	541	Fajas de fieltro de lana	572
Tejas de vidrio	542	Fajas para soldar	573
Revestimiento con tejas de hormigón	542	Fajas de materia plástica	573
Empizarrados	544	Modo de pegar las hojas de cartón y formación de burbujas	573
Tipos de empizarrados	544	Pendiente de cubierta y revestimiento adecuado	574
Cubiertas de laja	548	Protección de las capas exteriores	574
Revestimiento emparejado	548	Juntas de dilatación	574
Cubiertas de placas de hormigón	548	Formas especiales de la cubierta no ventilada	576
Losas corrientes de hormigón armado	548	1. Cubierta "Kisola"	576
Losas ligeras de hormigón armado	548	2. Cubiertas-estanque	576
Placas huecas con casetones	549	3. La cubierta "reversible"	576
Placas armadas de hormigón poroso	549	Cubiertas a la intemperie	577
Cubiertas de fibrocemento	550	Entablado	577
Introducción	550	Ejecución de los revestimiento de cartón	577
Placas planas de fibrocemento	550	Clavado	577
Chapas onduladas de fibrocemento	550	Aleros	578
Recubrimientos	551	Cumbreras y limas tesas	579
Cubiertas con poca pendiente	552	Cubiertas de hormigón armado a la intemperie	579
Placas de ondas cortas	553	Cubiertas transitables	579
Colocación y fijación	553	Placas sobre apoyos elevados	580
Aleros, viseras del frontón y cumbreras	553	Cubiertas transitables para vehículos	581
Tipos de placas	553	Aberturas en las cubiertas	581
Almacenaje	554	Ejecución correcta y ejecución errónea de las cubiertas planas	587
Colocación de las placas y distribución del enlistonado	554	Cubiertas ventiladas	587
Criterios para determinar el tamaño de las placas y la anchura de las ondas	554	Composición de la cubierta ventilada	588
Entramado de cubierta	554	Forjado macizo	588
Colocación de las placas onduladas	554	Techo de vigas de madera	588
Sistemas de fijación	555	Barrera de vapor	588
Aleros	555	Forjado inferior	588
Visera del frontón	556	Dimensionado de las placas de aislamiento térmico	589
Reglas	556	Cámara de aireación	589
Cumbrera	557	Capa superior	589
Limas tesas	557	Desagüe de las cubiertas	589
Limas hoyas	557	Canales para cubiertas	589
Encuentros con paredes	557	Canales de chapa	589
Tablones de paso	558	Canales para cubiertas en diente de sierra	594
Plexiglás ondulado	558	Canales en los encuentros de vertientes	594
Cubiertas onduladas	558	Canales de madera	596
Cubiertas ventiladas	558	Canales de fibrocemento	596
Ventilación continua por la cumbrera	559	Canales de plástico	597
Revestimientos metálicos para cubiertas	559	Bajantes de aguas pluviales	600
Materiales	559	Bajantes de aguas pluviales de chapa	601
Chapa de cinc	559	Bajantes de fibrocemento	601
Sistemas de colocación de los revestimientos metálicos	561	Bajantes de aguas pluviales de plástico	602
Revestimientos con hojas	564	Chimeneas	603
Cubiertas planas	565	Definición de la chimenea	603
Cubiertas no ventiladas	566	Proceso de combustión	603
Consideraciones generales sobre las formas y los recubrimientos de las cubiertas	566	Materiales combustibles	603
Composición de las cubiertas no ventiladas	567	Proceso químico	604
Forjados de bloques huecos	568	Componentes combustibles	604
Placas de hormigón	568	Poder calorífico	604
Chapas trapeziales	568	Oxígeno necesario	604
Relleno para dar pendientes	569	Aire necesario	604
Utilización como aislante del relleno para dar pendientes	569	Componentes no combustibles	605
Pintado previo	569	Contenido de cenizas	605
Capas de movimiento y de reparto de la presión del vapor	569	Contenido de agua	605
Barreras contra el vapor y frenos a la difusión del mismo	570	Gases de humo	605
Materiales aislantes	570	Proceso físico	605
Plástico celular rígido	571	Corriente gaseosa	605
Placas recubiertas	571	Pérdidas en la corriente de gases	606
Elección y elaboración de los materiales aislantes	571	Enfriamiento de los gases	606
Colocación de placas de plástico celular rígido (styropor)	572		

Resistencias opuestas a la circulación de los gases	607	Construcción	614
Resistencias de rozamiento	607	Chimeneas de obra de fábrica	616
Condiciones de la instalación de calefacción	607	Chimeneas de piezas moldeadas	621
Calefacción individual	607	Chimeneas aisladas	622
Calefacción colectiva	608	Cabeza de la chimenea	624
Ejecución de una chimenea	608	Conductos de humos	624
Dimensionado	609	Directrices para los cuartos de calefacción	625
Altura de las chimeneas	609	Aislamiento acústico en los cuartos de calefacción	628
Sección de las chimeneas	610	Origen de los ruidos	628
Paredes de las chimeneas	610	Ruidos de conducciones y bombas	628
Protección térmica	610	Medidas contra la transmisión de ruidos	629
Resistencia a la acción del fuego y de las temperaturas elevadas	614	Sonido transmitido por los sólidos	629
Impermeabilidad a los gases	614	Sonido transmitido por el aire	629
Resistencia	614	Chimeneas para la evacuación de gases	629
		Capacidad de los tubos de evacuación de gases	633
		Chimeneas y conductos de ventilación	634

Cimentación

Los cimientos son las partes inferiores de una obra, destinadas a soportarla. Su misión estriba en transmitir al terreno todas las cargas que sobre ella gravitan (peso propio, carga útil, cargas debidas a la nieve o al viento). Condición indispensable para una cimentación bien hecha es el exacto conocimiento del terreno en que hay que construir.

Antes de la elección definitiva del emplazamiento de la obra deben ponerse en claro las siguientes cuestiones:

- ¿Qué clases de terrenos existen y a qué profundidad se hallan?
- ¿A qué profundidad se encuentra el terreno firme y qué espesor tiene la capa que lo forma?
- ¿Cuál es el nivel más alto de las aguas subterráneas?
- ¿Son de prever asentamientos?
- ¿Existe peligro de que el terreno se hiele o se deslave?
- ¿Existen en el terreno materias perjudiciales para el hormigón?
- ¿La tierra o piedra arrancada del suelo puede tener aplicación como material de construcción?

Terreno

La erección de una obra perturba el estado de equilibrio del terreno. Corresponde a la Mecánica del Suelo el cometido de determinar los efectos recíprocos entre terreno y obra, con el fin de evitar daños provocados por asentamientos excesivos o irregulares y de conferir garantía a las hipótesis de estabilidad. Antiguamente se edificaba tan sólo a base de "experiencia", sobre cimentaciones a veces subdimensionadas o incluso sobredimensionadas. No obstante, hace muchos siglos e incluso milenios se conocían ya técnicas especiales para aumentar la resistencia mecánica del terreno, como son la consolidación del mismo y la cimentación sobre pilotes. Así lo prueban las fundaciones sobre pilotes de madera de los puentes romanos y de las catedrales de la Edad Media o, en China, la consolidación de terrenos cohesivos mediante cal viva. Con el desarrollo de la Estática científica y la aparición de nuevos materiales de construcción, como acero y hormigón armado, de nuevos sistemas estáticos y de nuevos tipos de construcción, surgió la necesidad, si bien al propio tiempo también la posibilidad, de ejecutar la cimentación de las obras de una manera más segura y económica; puesto que suelen ser motivos económicos o compromisos locales los que, por lo general, impiden mejorar un terreno de mala calidad o evitar sus inconvenientes. Sólo el conocimiento exacto de las condiciones reales del terreno y de las influencias mutuas entre éste y la obra, es decir, la consideración de los resultados de una minuciosa investigación del terreno o de la experiencia local adquirida y el cálculo de las cargas que la obra ejercerá sobre él, permite determinar de modo definitivo la clase, la profundidad y las dimensiones de la cimentación.

Clases de terrenos

Se denominan terrenos las capas de la corteza terrestre suficientemente superficiales para hallarse sometidas a la acción de los agentes atmosféricos. Hay que distinguir entre:

las materias térreas que descansan todavía sobre las capas primitivas, es decir, sobre las rocas de que proceden al descomponerse éstas por la acción de los agentes atmosféricos, que no presentan indicio de desmezclado, y las materias térreas que descansan sobre capas secundarias y que llegaron allí sea por movimiento propio, por hallarse por ejemplo en pendientes y laderas, sea por haber sido depositadas y acumuladas en aquel sitio por las aguas, los vientos o el hielo. Cuando esos acarrees fueron hechos a poca distancia, el desmezclado sufrido es escaso, mientras que si las distancias son grandes se suele observar en la mayoría de los casos una fuerte separación de tamaños granulométricos.

	Terreno de cimentación bueno 3-8 kg/cm ²	Terreno de cimentación mediano de 1.5 a 3 kg/cm ²	Terreno de cimentación malo de 0 a 1.5 kg/cm ²
	Roca (hasta 30 kg/cm ²)		
Terrenos sin cohesión	grava y gravilla gravilla y arena arena gruesa	arena fina arena mediana	
Terrenos cohesivos	arcilla seca barro seco marga seca	arcilla húmeda barro húmedo marga	
			Mantillo, limo, fango, marga con guijeros, turba, tierra pantanosa, tierras vertidas, arena muy fina

La tabla anterior clasifica los terrenos por su naturaleza y aptitud para soportar cargas (firmeza):

Roca

Es un excelente terreno para cimentar. La presión admisible sobre este terreno según la norma DIN 1054, cuando se trata de roca con pocas grietas, con estratificación favorable y sin haber sufrido deterioros por la acción de los agentes atmosféricos, es de 15 a 30 kg/cm².

Si el agrietamiento es importante o la estratificación es desfavorable hay que reducir esos valores en la medida pertinente. Cuando las rocas son compactas e impermeables, como el granito, el basalto, la caliza, los esquistos cristalinos y la arenisca de grano fino, no hace falta tener en cuenta la profundidad de congelación, porque las heladas no ofrecen el menor peligro. Los tipos de rocas permeables al agua y porosas, como la toba, la piedra pómez y la arenisca granulosa, están, en cambio, expuestas por la congelación a una meteorización progresiva e ininte-

rumpida. En tales casos es necesario proceder a una cimentación a profundidad exenta de heladas.

Terrenos naturales

Terrenos sin cohesión

La grava, la gravilla y la arena están clasificadas como terrenos sin cohesión. Carecen de cohesión (adherencia entre los granos sueltos) y son permeables al agua. La capacidad portante o aptitud para soportar cargas (firmeza) crece con el tamaño de los granos y la compacidad de las capas.

Los materiales pétreos desmenuzados por procesos naturales se denominan piedras o cantos rodados, grava o gravilla y arena.

Piedras: cantos rodados

Son una acumulación de piedras gruesas sueltas y cuyo diámetro es superior a 70 mm. Según su procedencia, las cualidades del material pétreo que las constituye y el espesor o grueso de la capa que forman pueden recibir una carga de 3 a 8 kg/cm².

Grava o gravilla

Está formada por fragmentos o trozos de piedra de 2 a 63 mm; la gravilla es la fracción comprendida entre 2 y 6,3 mm; la grava mediana, la comprendida entre 6,3 y 20 mm; y la grava gruesa, la comprendida entre 20 y 63 mm.

En tanto que la grava y gravilla que se suele encontrar en los valles y cauces de los ríos es, en su mayor parte, de superficies redondeadas y lisas, la que se encuentra en los acarreos y depósitos de los glaciares suele presentar las más de las veces formas angulares. Con la grava y la gravilla puede contarse aproximadamente con una aptitud portante de unos 4 kg/cm². Aumenta en capas más profundas porque allí, por efecto de la carga de las capas superiores y de la eventual acción de las aguas subterráneas, se produce una mayor compacidad de las capas.

Grava y arena

Es decir, una mezcla de grava o gravilla con arena. Admitiendo que se halle formada con 1/3 en volumen de grava o gravilla, puede recibir una carga igual que la asignada a este material.

Arena

Está formada por partículas o granitos pétreos de menos de 2 mm de diámetro. Como la grava y la gravilla, se encuentra principalmente en el cauce de los ríos o en las morrenas de los glaciares.

Admitiendo una presión sobre el suelo de 3 kg/cm² y con un tamaño granulométrico de 0,6 a 2 mm, la arena gruesa se clasifica todavía entre los terrenos buenos para cimentar; en cambio, la arena fina y la arena mediana, con tamaños granulométricos de 0,06 a 0,6 mm, sólo puede admitir una presión de 2 kg/cm². Lo mismo que sucede con la grava y la gravilla, la aptitud portante aumenta en las capas más profundas.

La relación entre el volumen de la parte sólida y el volumen de los huecos se denomina "volumen de poros". Se suele expresar por el tanto por ciento de huecos que contiene un material. En el caso de la arena de grano homogéneo, este tanto por ciento suele oscilar entre el 25 y el 50%; en la arena y grava de grano desigual, varía del 15 al 30%.

Terrenos cohesivos

La arcilla, el barro y la marga son materias térreas coherentes. La cohesión es la tendencia a adherirse o pegarse unos granos con otros y aumenta al crecer el contenido de arcilla. La capilaridad puede producir una tendencia análoga a la aglomeración en los conjuntos granulares. Según las proporciones de fracciones granulométricas de tamaño pequeño y muy pequeño se producen poros finísimos que dan origen a efectos de capilaridad muy marcados. Debido a estos poros muy estrechos, los terrenos dotados de gran consistencia ofrecen mucha resistencia a la penetración del agua. Las tierras que contienen impurezas, como las que llevan arena mezclada, pueden presentar una permeabilidad mucho mayor. Los terrenos que sólo tienen arcilla o barro no dejan penetrar el agua más que muy lentamente, pero también son lentos para acomodarse a las cimentaciones, por el efecto de la presión sobre éstas ejercida. Al aumentar la propor-

ción de humedad, los terrenos consistentes van siendo cada vez más blandos y su aptitud para soportar cargas disminuye notablemente. Para juzgar si un terreno debe ser clasificado como bueno, mediano o malo para cimentar en él, puede determinarse la contracción que experimenta al desecarse. Según el procedimiento "Scheidig", un cilindro del material térreo con su humedad natural es desecado y luego se calcula el valor o medida de su contracción en tanto por ciento.

Contracción menor de un 5%, buen terreno para cimentar.

Contracción comprendida entre un 5 y un 10%, terreno medianamente bueno para cimentar.

Contracción de más de un 10%, terreno malo para cimentar.

Contracción de más de un 15%, terreno muy malo para cimentar.

El volumen de poros de las arcillas viene a ser desde el 70% en las arcillas blandas hasta el 15% en las duras; en el barro oscila entre el 40% y el 25%.

Arcilla

Existe casi en todas partes. Cuando está seca y se halla en capas de un grueso no inferior a 3 m, constituye un buen terreno para cimentar que puede cargarse con 3 kg/cm². La arcilla debe protegerse contra la humedad, que la reblandece, y contra las heladas, que la desintegran. También pierde firmeza (aptitud portante) bajo los efectos de una desecación exagerada, p. ej., en instalaciones de calefacción o cocción.

La arcilla húmeda puede ser cargada con una presión de 0 a 1,5 kg/cm², según la proporción de agua que contiene.

La arcilla debe contener de un 50% a un 80% de partículas de menos de 0,01 mm de diámetro. Si el contenido de estas partículas es menor se califica como arcilla magra o barro. En las arcillas magras, los granitos de arena, que son los que producen la aridez, son demasiado pequeños para poder ser notados. En el barro son ya algo mayores y se notan al tacto.

Barro

Es también una mezcla íntima de arcilla y arena. Cuando la proporción de arcilla que contiene es baja, se dice que es magro o áspero, y cuando es alta se denomina graso. Si está seco y la capa tiene buen espesor, el barro, lo mismo que la arcilla, puede soportar 3 kg/cm². Al aumentar la dosis de agua que contiene se reduce la presión que puede admitir como terreno.

Marga

Es una mezcla de arcilla, barro y caliza cuya proporción puede variar, en esta última, entre un 10% y un 90%. La marga seca presenta la misma resistencia a la presión que la arcilla o el barro. Si la dosis de caliza es alta, incluso puede superarla. Es, desde luego, muy sensible a la acción del agua porque la caliza se empaña.

Terrenos de naturaleza orgánica

Los terrenos de naturaleza puramente orgánica están formados por restos de plantas más o menos descompuestas y restos de organismos animales. Según su grado de descomposición se distingue entre "turba no descompuesta" y turba moderadamente descompuesta", cuando todavía se advierte en ella una gran proporción de restos vegetales (musgo y plantas análogas), y "turba intensamente descompuesta", cuando sólo está integrada por partes componentes sueltas, por lo general de tonalidad oscura, no identificables ya individualmente. Los terrenos con contenido orgánico notable, por lo común de constitución fina y semejante a la de la arcilla o del limo, reciben el nombre de "marjales".

En terrenos de naturaleza orgánica con adiciones minerales, las características de estas últimas se expresan mediante los adjetivos apropiados, como son por ejemplo: marjal arcilloso; marjal muy arenoso, turba poco arenosa, etc.

Por el contrario, si son los elementos orgánicos los que aparecen como adiciones o impurezas en el terreno, se aplican a éste los adjetivos "turboso" o "pantanosos", y si el caso lo requiere también los adverbios "débilmente" o "intensamente". Cabe emplear asimismo la designación genérica "orgánico".

La capa superior del suelo, sometida a la acción del aire, que contiene humus y microorganismos vivientes, recibe el nombre de "tierra vegetal". Sólo raras veces se compone la tierra vegetal

de humus puro; normalmente es una mezcla de humus y tierras minerales.

Tierras vertidas o amontonadas

Sólo alcanzan una aptitud portante de 2,5 kg/cm² cuando contienen mezcladas con ellas arena o grava. La arcilla o el barro vertidos o amontonados no son utilizables como terrenos para cimentar. Con tales tierras o materiales vertidos o amontonados (tierras removidas) hay que contar siempre con asientos más o menos importantes.

Estudio del terreno

Es condición previa e indispensable, para determinar la clase y profundidad de una cimentación, el exacto conocimiento de la naturaleza del terreno en que hay que cimentar. A este fin, ya desde el principio y antes del proyecto de la obra debería efectuarse un estudio del terreno, pues cuando las circunstancias son desfavorables para cimentar aumenta considerablemente el coste de la obra. Por el contrario, el coste de un estudio detallado del terreno no incide sensiblemente en el presupuesto.

Proceso del estudio

Únicamente a base de un conocimiento suficiente de las circunstancias locales que presenta el terreno, o bien si se trata de construcciones ligeras, puede prescindirse de un estudio completo del mismo.

Para el estudio previo de un terreno de grandes dimensiones se recurre a sondeos de reconocimiento. Con este fin se practican ante todo una serie de perforaciones principales, dispuestas según un tablero de ajedrez y bastante distanciadas una de otra, hasta la profundidad necesaria para encontrar una capa resistente de suficiente espesor. Con objeto de interpretar con más exactitud los resultados obtenidos se ejecutan entonces perforaciones adicionales o sondeos intermedios. A este respecto se tendrá en cuenta:

- Las relaciones entre las formaciones geológicas que afloran (mapas geológicos a escala 1 : 25000).
- El nivel de aguas subterráneas y sus fluctuaciones en el transcurso de las estaciones.
- La experiencia obtenida con otras obras ya realizadas, si tal es el caso.

Las excavaciones y perforaciones para cada obra se efectúan dentro del recinto del solar del edificio y en sus inmediaciones. En planta hay que repartirlas para que descubran incluso las eventuales desigualdades que en cada capa del terreno puedan existir. Su distancia no debe exceder de 25 m.

Sobre la profundidad mínima de perforación, la norma DIN 1054 especifica lo siguiente:

3.22. Cuando se trata de terreno virgen no rocoso, basta en general una profundidad —medida a partir del fondo de la cimentación— igual a tres veces el ancho de la base, para cimentaciones en bloques aislados (y también para cimentaciones en fajas, cimentaciones bajo vías de grúa, muros de muelle, estribos de puentes, y análogas), e igual a vez y media el ancho de la base, para cimentaciones en losas o placas; en ambos casos, no obstante, debe ser como mínimo igual a 6 m.

En obras con varios bloques de cimentación, cuya influencia se superpone en las capas más profundas, la profundidad de perforación —contada a partir del fondo de la cimentación— debe ser igual a tres veces el ancho del mayor de los bloques de cimentación o a vez y media el ancho de la obra; se elegirá el más desfavorable de ambos valores. Por otra parte, la profundidad de perforación debe llegar por lo menos 6 m por debajo del fondo de la cimentación.

3.25. Como en cimentaciones sobre pilotes las profundidades se cuentan a partir del plano de la punta de los pilotes hincados, la profundidad de perforación definida en el apartado 3.22. puede rebajarse en un tercio, aproximadamente.

Extracción de muestras

Según DIN 4021, deben extraerse muestras cada vez que cambia la naturaleza del terreno, pero como mínimo cada metro o metro y medio. Los resultados deben consignarse en dibujos estratigráficos según DIN 4022. En tanto que cuando se trata de construcciones pequeñas la capacidad de soportar cargas de las capas del terreno casi siempre puede ser determinada mediante los valores que da la norma DIN 1054 (véase página 7), en obras de mayores dimensiones e importancia y en terrenos inseguros es necesario extraer muestras inalteradas del terreno y determinar la aptitud portante de las capas por medio de un estudio físico de las materias térreas.

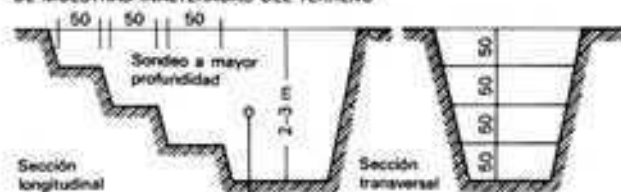
Las prescripciones para la toma de muestras y el envasado de éstas deberían ser dadas a conocer antes del principio de los estudios del terreno, por los institutos de Ensayos donde deban hacerse tales estudios.

Zanjas de exploración

La forma más simple e instructiva de efectuar el estudio del terreno es excavando en él zanjas de exploración. A causa del tiempo y del trabajo que exige su excavación, así como de la necesidad eventual de entibaciones y desagües, las zanjas sólo pueden utilizarse hasta profundidades de 2 a 3 metros. Estas profundidades resultan insuficientes para el estudio de terrenos previstos para la cimentación de edificaciones, ya que la profundidad mínima exigida en DIN 1054 es de 6 m, y a lo sumo bastan para la prospección de terrenos para obras viarias.

Las zanjas de exploración tienen la ventaja de que permiten una comprobación y ensayo inmediatos de las capas del terreno. Además, al hacer las extracciones de muestras no se produce ninguna mezcla de las clases de tierras y son fáciles de reconocer las circunstancias de las capas o yacimientos, así como las eventuales entradas de agua, con toda precisión.

ZANJA PARA EXTRACCIÓN DE MUESTRAS INALTERADAS DEL TERRENO



No utilizables a mayores profundidades debido al gran volumen a excavar, a causa de los taludes, o a la necesidad de apuntalarlos.

Sondeos

El procedimiento más simple para realizar reconocimientos previos a pequeñas profundidades, por ejemplo sobre roca, es efectuar sondeos introduciendo sondas por percusión. Las sondas, que suelen ser barras de acero de 2 a 4 m de longitud con punta aguzada, se hincan en el terreno, fácil y rápidamente, a golpes, pero sólo permiten extraer escasas cantidades de muestra de las capas de terreno atravesadas.

Los sondeos por hincado se efectúan con auxilio de una sonda de cabeza ensanchada y un martinete. Contando el número de golpes a estados y midiendo la profundidad de penetración, el progreso del hincado permite sacar conclusiones sobre la compacidad y resistencia del terreno sin necesidad de extraer muestras. De todos modos, para profundidades superiores a 8 m, el peso propio de la barra y el rozamiento lateral en la sonda y en la cabeza de hincado repercuten desfavorablemente sobre el efecto de percusión y, por tanto, sobre los resultados.

También ofrecen dificultades las piedras de gran tamaño existentes en el fondo, las cuales inducen a suponer una falsa resistencia elevada. Los sondeos por hincado son especialmente aplicables en conexión con perforaciones, para lo cual antes de cada nueva etapa de perforación se efectúan ensayos de resistencia

con sondas especiales y se extraen muestras de terreno inalterado.

En sondeos a presión se mantiene constantemente aplicada contra el terreno una sonda de medición. Con ello pueden obtenerse ya, sin necesidad de extraer muestras, buenos valores orientativos sobre la resistencia del terreno, ya que la presión de punta, el rozamiento lateral y la resistencia global pueden ser evaluados con exactitud.

Las sondas de aletas sirven para averiguar la resistencia a la cortadura de sucesiones de estratos inalterados en terrenos cohesivos.

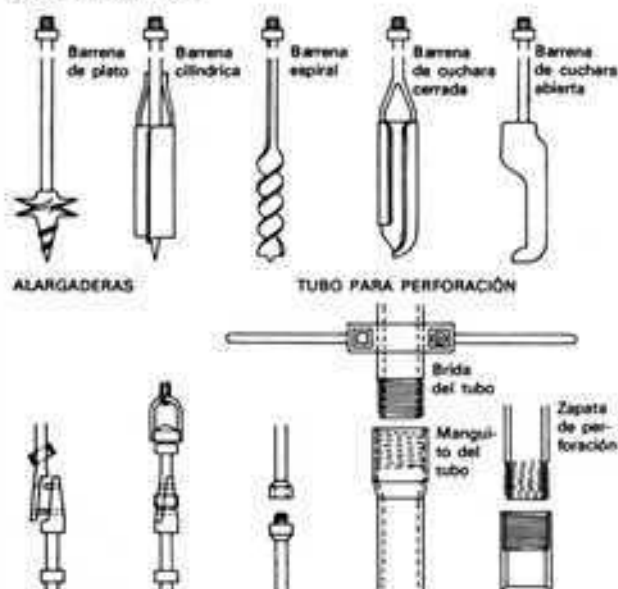
Perforaciones

Las perforaciones permiten un trabajo rápido, cuestan poco relativamente y pueden emplearse en todas partes. Permiten llegar a grandes profundidades y el agua que en el subsuelo pueda existir no estorba los trabajos. De todos modos, con este método no es posible determinar las circunstancias de las capas del terreno tan exactamente como con las zanjas de exploración. Si para la prospección del terreno bastan exiguas profundidades de perforación, se recurre al empleo de aparatos de perforación manuales o de perforadoras rotativas ligeras, montadas sobre vehículos. Sin embargo, para la extracción de muestras de roca inalteradas (testigos de sondeo) es imprescindible ejecutar las perforaciones con máquinas.

El aparato de perforación consta de barrena, barras, tubos perforadores, caballete de perforación y aparato elevador. Según la naturaleza del terreno existente y la profundidad de la perforación, se emplean diferentes tipos de barrenas:

- Barrenas de plato, sólo para perforaciones previas en tierra vegetal, arena y grava.
- Barrenas cilíndricas, igualmente para clases de terreno poco consistentes.
- Barrenas espirales, para perforaciones previas en suelos duros o en cantos rodados.
- Barrenas de cuchara cerradas, para suelos mixtos compuestos de arena, barro y materias análogas.
- Barrenas de cuchara abiertas, para suelos sólidos consistentes a base de barro, arcilla y marga.

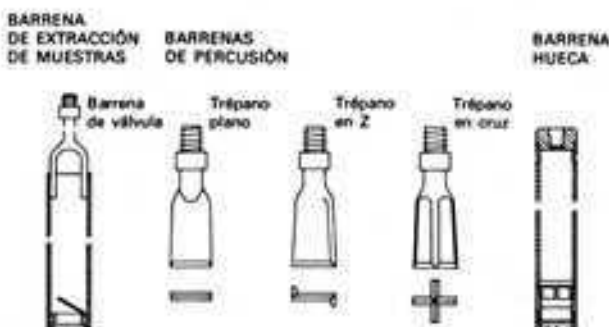
BARRENAS ROTATIVAS



Estas barrenas se introducen en el terreno haciéndolas girar a mano (según el caso, de 2 a 4 personas por aparato) o mediante máquinas, y se tira de ellas con auxilio del cabrestante para extraer la muestra. Las capas duras deben esponjarse previamente mediante un trépano de caída libre.

Las barrenas, según la profundidad de la perforación, pueden ser alargadas con barras alargaderas para seguir penetrando en el terreno. Las alargaderas de barrenas son casi siempre barras de

acero de 5 m de longitud que se van empalmando entre sí por medio de uniones de pestillos o de rosca. Para evitar que las paredes del orificio se desmoronen si el terreno es de mala calidad, se hace la "entubación" del mismo. El empalme de los tubos con que se hace esa entubación, que tienen de 1,5 m a 5 m de longitud, se lleva a cabo mediante manguitos roscados que se atornillan valiéndose de unas bridas o mordazas especiales. Para que la entubación descienda a medida que profundiza la barrena, se carga progresivamente aquélla o se le da un movimiento giratorio de válvén utilizando un travesaño de madera que le sirve de brazo de palanca. Una vez concluida la perforación y extraída la muestra, se vuelve a sacar la entubación. Para perforaciones en capas de terreno muy blandas y acuíferas es oportuno el empleo de una barrena de válvula (cápsula de barro) o perforadora de émbolo, que se deja caer varias veces hasta el fondo del agujero, con lo cual se llena la cápsula de tierra (perforación por caída libre). Al tirar hacia arriba se cierra la válvula, y retiene el émbolo la muestra o porción de tierra recogida. El tubo cilíndrico o cápsula llena de tierra puede entonces ser extraído del orificio y vaciado.



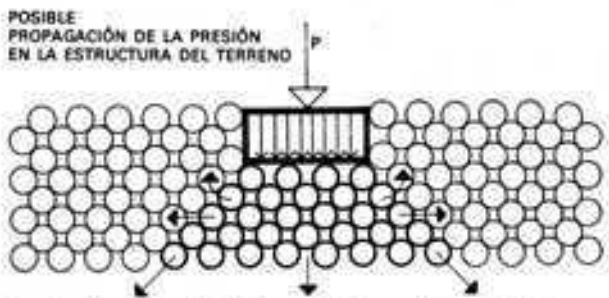
Para perforar capas de roca se utilizan los trépanos. Van atornillados a una barra que cuelga de una cuerda o de un cable y que sirve de peso, y se levantan y dejan caer de pequeña altura (perforación por caída libre). La extracción de la piedra triturada se efectúa luego mediante barrenas de válvula o de émbolo. Se obtienen muestras inalteradas fresando la roca a máquina con auxilio de la barrena hueca.

Comportamiento del terreno

A causa de los esfuerzos provocados sobre él por la carga de la obra construida, el terreno se deforma en función de su compresibilidad y de su resistencia a la cortadura. La propagación de la presión en el terreno muestra que las tensiones debidas a la carga de la obra disminuyen a medida que aumenta la profundidad y son máximas debajo de la parte central de las superficies de cimentación.

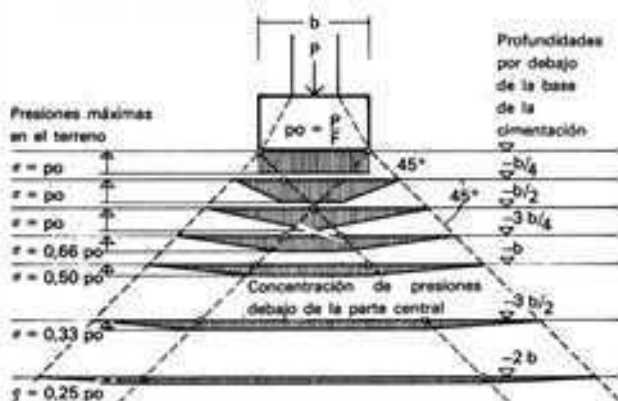
Propagación de la presión

La hipótesis generalmente admitida de que la presión de un macizo de cimientos se difunde dentro de un ángulo de 45° con uniformidad, está de acuerdo, en líneas generales, con el modo real de propagarse y repartirse esas presiones. Se calcula, en

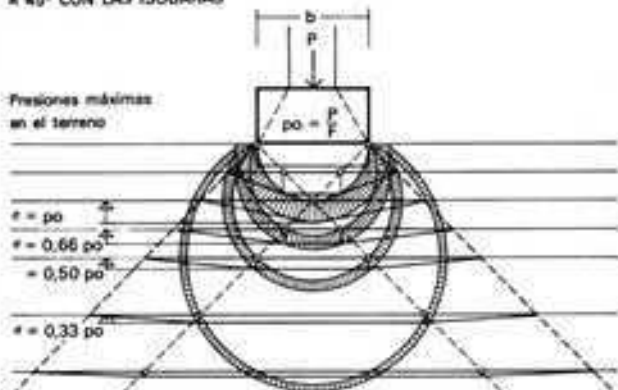


La coherencia y el rozamiento del terreno distribuyen y descomponen las tensiones en la base de la cimentación, en componentes de compresión, de tracción, verticales y horizontales.

PROPAGACIÓN DE LA PRESIÓN A 45° (HIPÓTESIS DE SIMPLIFICACIÓN)



COMPARACIÓN DE LA PROPAGACIÓN DE PRESIONES A 45° CON LAS ISÓBARAS



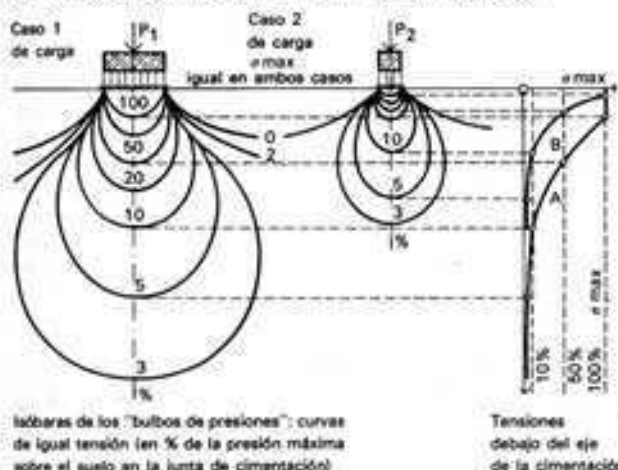
vista de ello, que las presiones van decreciendo con uniformidad hacia abajo, por capas sucesivas. Estudios e investigaciones minuciosas de Köglér y Scheidig indican, no obstante, que el curso o trazado exacto de las curvas de iguales presiones (isóbaras) es mucho más complicado.

Las isóbaras tienen una forma aproximadamente circular. Su diámetro crece con la extensión de la superficie cargada. Se ha demostrado que de dos superficies de distinta extensión y a igualdad de presión sobre el terreno, la mayor actúa en sentido de la profundidad en medida mucho más intensa que la menor. A igualdad de presión sobre el terreno, la importancia del asiento crece, pues, con la superficie de los cimientos. Por lo tanto, una prueba de carga muy difícilmente dará una idea del asiento que posteriormente sufrirá la obra.

Una comparación demuestra que admitiendo la distribución de las presiones según un ángulo de 45°, se está dentro del necesario margen de seguridad.

COMPARACIÓN DE "BULBOS DE PRESIONES"

A pesar de ser igual la presión de la base de la cimentación sobre el terreno, el efecto de la cimentación más ancha alcanza mayor profundidad.



Sin embargo, puesto que el terreno no es perfectamente elástico en el sentido de la ley de Hooke, las isóbaras resultan más o menos deformadas, por cuyo motivo el conjunto de las mismas también se acostumbra llamar "bulbo de presiones".

Asientos

Las causas de los asientos de las obras residen en primer término en la compresibilidad de las capas cargadas del terreno, que varía según su naturaleza y potencia o espesor. Los asientos fuertes y desiguales son peligrosos; los de carácter uniforme, en cambio, no lo son. La magnitud de los asientos, sin embargo, puede aumentar aún muy notablemente por causa de las siguientes circunstancias:

- Escorrimiento lateral del terreno por efecto de la compresión.
- Aumento de compacidad de la estructura del terreno por efecto de las trepidaciones o sacudidas (vehículos, máquinas, etc.).
- Elevación o descenso de la capa de agua subterránea.
- Deseccación del terreno (debajo de hornos y calderas).
- Cavidades o socavaciones naturales o artificiales.
- Hundimientos o corrimientos.
- Modificaciones químicas del subsuelo.
- Levantamientos del terreno por las heladas y descensos por las descongelaciones.

La duración de los movimientos ocasionados por los asientos es muy variable. En tanto que, en terrenos no consistentes, el proceso de los asientos suele casi siempre detenerse una vez acabada la obra y aplicada a ella la carga útil, en terrenos consistentes puede prolongarse más allá de la terminación de la obra, frecuentemente durante decenios, e incluso siglos si varían las condiciones de las aguas subterráneas. La causa y el grado de "consolidación" de un terreno cohesivo está en la fluctuación de un contenido variable de agua intersticial.

Asientos uniformes

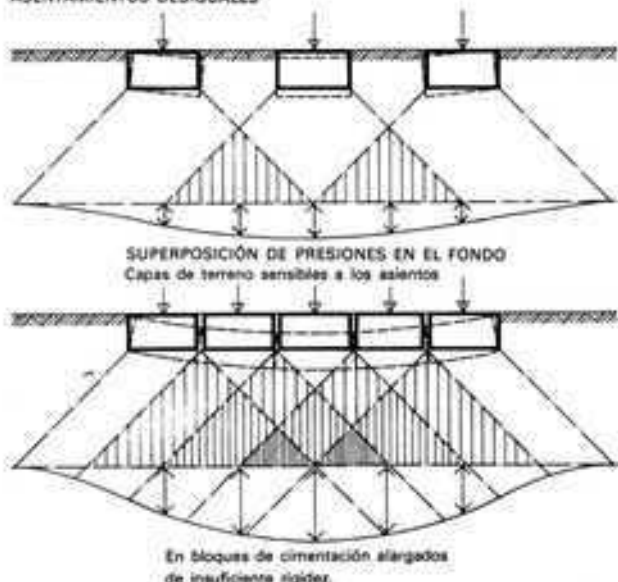
En general, los asientos uniformes de una obra son inofensivos. Suelen ser más o menos intensos según se cumplan peor o mejor las condiciones siguientes:

Cimientos apoyados en terrenos no congelables.

ASIENTOS UNIFORMES



ASENTAMIENTOS DESIGUALES



Terreno de cimentación firme, de capas uniformes de potencia o espesor suficiente.

Que las presiones repartidas procedentes de cargas vecinas no se superpongan o solapen.

Que todas las partes de la obra tengan cargas propias y cargas útiles equivalentes y de igual magnitud y estén cimentadas a igual profundidad.

A igualdad de clases de terrenos, iguales tipos de cimentaciones.

A igualdad de hipótesis de cargas, iguales presiones sobre el terreno.

El terreno no debe escurrirse lateralmente bajo el efecto de la presión.

Si se producen modificaciones del terreno de cimentación por causa de acciones químicas, hundimientos, desecación, etc., es necesario que se repartan por igual en toda la obra.

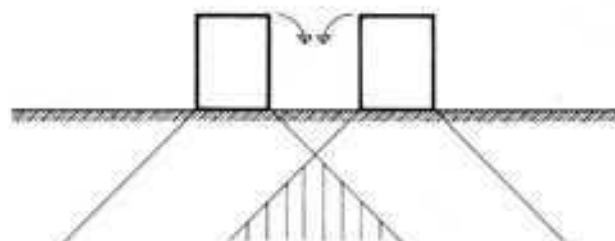
Con una sola de esas condiciones que deje de cumplirse, ya basta para que deban temerse asientos importantes y desiguales, que pueden ser muy peligrosos porque una pequeña diferencia que en ellos se produzca es suficiente para ocasionar la rotura de los cimientos y la formación de grietas. En tal caso, la reparación de esos daños es muy difícil y siempre ocasiona gastos considerables.

Asientos desiguales

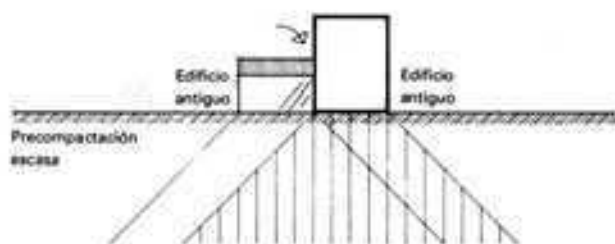
Prescindiendo de asientos y formaciones de grietas debidos a una disposición heterogénea de los estratos del terreno, siempre que hay superposición de presiones debajo de dos edificaciones vecinas son de temer asientos desiguales, incluso si el terreno es uniforme.

También pueden quedar afectadas por asientos desiguales edificaciones distanciadas, pero que discurren paralelas entre sí, porque en el terreno, a partir de una profundidad aproximadamente

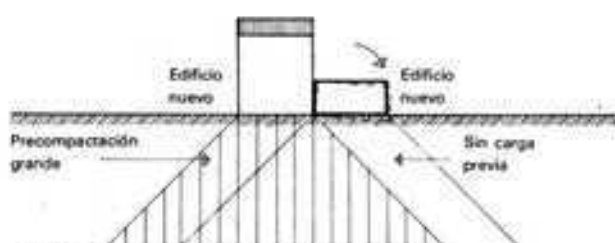
INFLUENCIA RECÍPROCA DE EDIFICACIONES PRÓXIMAS EN TERRENO SENSIBLE A LOS ASIENTOS



Dos edificios levantados simultáneamente se inclinan uno hacia el otro.



Inclinación del edificio antiguo hacia el nuevo (daños por grietas)



Asientos desiguales del edificio nuevo

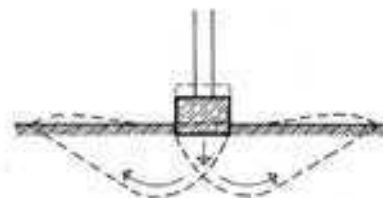
igual a la distancia que las separa, hay superposición de tensiones. Ambos edificios se inclinan entonces uno hacia el otro. De forma especial esto también ocurre cuando los edificios están directamente adosados entre sí. En tales casos, el comportamiento en cuanto a asientos depende sobre todo del tamaño de las edificaciones y de sus distintas épocas de construcción. Debajo de edificios antiguos el terreno se halla ya compactado. Si se levanta un nuevo edificio parcialmente sobre terreno ya compactado, el lado del mismo que descansa sobre terreno no compactado se asentará más pronunciadamente. Sólo en caso de que la masa del nuevo edificio sea substancialmente mayor que la del antiguo, la influencia de este último sobre el asiento dejará de ser apreciable. Entonces el edificio antiguo tenderá a inclinarse hacia el nuevo, con la consiguiente aparición de grietas.

Los edificios de forma alargada se comportan como edificios individuales adosados directamente, es decir, a consecuencia de la superposición de presiones, las tensiones que aparecen debajo de la parte central de la edificación son máximas, lo cual puede determinar mayores asientos y, por tanto, daños en esta parte del edificio si el terreno, a pesar de uniforme, es sensible a los asientos.

Rotura del terreno

Cuando la carga crece, la presión sobre el terreno y el asiento aumentan no sólo verticalmente. A causa de la propagación de la presión, el terreno queda también comprimido lateralmente; debajo del bloque de cimentación se forma una cuña de terreno

ROTURA DEL TERRENO



ROTURA EN UN TALUD



ROTURA EN UN DESNIVEL BRUSCO



compactado, la cual desplaza lateralmente el resto del terreno, lo comprime e incluso puede llegar a alabejar su superficie. La seguridad contra la rotura del terreno crece con el peso específico y la resistencia a la cortadura del subsuelo, así como con el ancho de la cimentación y la profundidad de empotramiento de la misma, ya que cuanto más ancha es una cimentación a mayor profundidad actúa, y la carga lateral debida a la presión del subsuelo en el terreno circundante, aumenta con la profundidad de empotramiento.

La elevación del nivel freático y la excentricidad de la carga disminuyen la seguridad a la rotura. Si ésta se produce en una pendiente o en un desnivel brusco del terreno, puede originar un corrimiento o deslizamiento de tierras.

Presión admisible sobre el terreno

Cuando se ha puesto bien en claro la naturaleza del terreno, se procede a determinar las presiones admisibles en las capas del mismo, situadas debajo del nivel de la solera de cimentación. La

presión admisible en una clase de terreno siempre ha de ser tan sólo una fracción de su aptitud portante (carga de rotura por aplastamiento). Cuando se rebasa esa aptitud portante, que corrientemente se denomina resistencia del terreno, éste se rompe. Se produce un asiento brusco, el terreno se desplaza lateralmente y experimenta un empuje en torno de la obra. En las superficies de cimentación pequeñas el desplazamiento del suelo se hace más fácilmente que en las grandes. Las presiones admisibles dependen por lo tanto también de la profundidad de la cimentación y de su anchura. Por otra parte, a causa de la propagación de la presión la magnitud del asiento aumenta, a igualdad de presión sobre el terreno, con el ancho de la cimentación, ya que las tensiones actúan a mayores profundidades. Por lo tanto, las presiones admisibles sobre el terreno no dependen solamente de la naturaleza de éste, sino también de la sensibilidad a los asientos de la obra a edificar, así como del ancho de sus cimentaciones y de su profundidad de empotramiento.

Las presiones admisibles sobre el terreno se determinan según especifica la norma DIN 1054, apartados 4.2. y 4.3.

Se distingue entre "casos normales", para los cuales son suficientes los valores tomados de las tablas, y casos en los que la presión admisible debe calcularse partiendo de un estudio previo del asiento y la rotura del terreno.

Estas determinaciones debe confiarlas el arquitecto siempre a especialistas muy experimentados. Compete al técnico en estática y —en casos difíciles— al especialista en mecánica del suelo la tarea de estudiar las circunstancias existentes con el fin de fijar la presión admisible sobre el terreno y la configuración correcta de las cimentaciones. A veces puede mejorarse también la constitución natural del terreno por compactación mecánica o por consolidación química.

A continuación se reproducen, extractados, las indicaciones que especifica la norma DIN 1054 para determinar las presiones admisibles sobre el terreno.

En caso de carga vertical, la carga admisible debida a cimentaciones someras queda limitada por los asientos o las diferencias de asiento que la obra es capaz de soportar, y por la seguridad contra la rotura del terreno, habida cuenta de la excentricidad e inclinación de las resultantes y de la velocidad de carga. En caso de carga oblicua debe existir además suficiente seguridad contra los deslizamientos.

Cuando se trata de casos normales, la carga admisible en cimentaciones someras (placas o fajas) puede determinarse mediante los valores de las tablas que figuran en el apartado 4.2, y no es preciso efectuar cálculo alguno relativo a la rotura del terreno. Sólo es necesario calcular el asiento cuando la influencia de cimentaciones próximas es grande. Cuando las hipótesis expuestas en 4.2. no se cumplen o son excedidas, debe realizarse una comprobación más precisa, de acuerdo con el apartado 4.3.

4.2. Determinación de la presión admisible sobre el terreno, en casos normales, con auxilio de valores tomados de tablas

Si las propiedades del terreno pueden ser estimadas de forma segura mediante reconocimientos del subsuelo, las presiones admisibles pueden ser determinadas según se expone en los apartados 4.2.1. y 4.2.2. siempre que:

- Las características del terreno sean aproximadamente uniformes por lo menos hasta una profundidad —por debajo de la base de la cimentación— igual a 2 veces el ancho de la cimentación.
- La cimentación no esté solicitada dinámicamente de modo preponderante o regular.
- El nivel máximo del agua subterránea se halle a una profundidad —por debajo de la base de la cimentación— que, en caso de terreno no cohesivo, sea por lo menos igual al ancho de la cimentación, y en caso de terreno cohesivo, al doble de dicho ancho (véanse no obstante apartados 4.2.1.4a y 4.2.2.3.)

Si la profundidad de empotramiento alrededor de todo el bloque de cimentación es superior a 2 m, la presión admisible puede incrementarse en la carga que representa el peso del terreno correspondiente al exceso de profundidad sobre los 2 m.

Caso de no cumplirse las hipótesis a) y b), hay que proceder según se indica en el apartado 4.3., siempre y cuando no se trate de roca.

4.2.1. Presión media admisible sobre terreno no cohesivo

Estos datos son válidos para terrenos no cohesivos, según apartado 2.1.1.1., cuya compactación sea como mínimo media.

Nota: Esta condición debe decidirse de acuerdo con la experiencia local, por medio de un sondeo o bien comprobando si el valor de la compactación

$$D = \frac{n_0 - n}{n_0 - n_{\text{m}}}$$

es > 0,3 en caso de terreno uniforme (UK 3) ó: 0,45 en caso de terreno no uniforme (UK 3).

Los símbolos tienen el siguiente significado:

n Volumen existente de poros.

n_0 Volumen máximo de poros determinado en el ensayo.

n_{m} Volumen mínimo de poros determinado en el ensayo.

U Grado de no uniformidad.

Si se suscitan dudas en cuanto a suficiencia de compactación del terreno, debe mejorarse ésta apisonando el terreno hasta que se satisfaga la condición $D > 0,3$ o, respectivamente, $D > 0,45$. De no proceder así, la presión admisible se determinará según el apartado 4.3.

Por otra parte, los valores de las tablas 1 y 2 sólo son válidos para cimentaciones con sollicitación vertical (véase no obstante apartado 4.2.1. 4b).

4.2.1.1. Obras sensibles a los asientos (ver tabla 1)

Para obras cuyas cimentaciones no pueden asentarse independientemente unas de otras, sino que se influyen recíprocamente en el proceso de asentamiento a causa de la estructura sustentada (edificaciones con apoyos estáticamente indeterminados, como por ejemplo casas de viviendas o establecimientos comerciales), o para aquellas en que unos asentamientos desiguales pueden repercutir perjudicialmente o perturbar sus funciones, deben tomarse —considerando cimentaciones en fajas— las presiones medias admisibles sobre el terreno que figuran en la tabla 1.

TABLA 1. TERRENO NO CONSISTENTE Y OBRA SENSIBLE A LOS ASENTAMIENTOS

Profundidad de empotramiento m ¹⁾	Presión media admisible sobre el terreno (kg/cm ²) para cimentaciones en fajas con anchos de					
	0,5 m	1 m	1,5 m	2 m	2,5 m	3 m
0,5	2	3	3,3	2,8	2,5	2,2
1	2,7	3,7	3,6	3,1	2,7	2,4
1,5	3,4	4,4	3,9	3,4	2,9	2,6
2	4	5	4,2	3,6	3,1	2,8
Para obras pequeñas véase apartado 4.1.1, inciso 1. (con anchos a partir de 0,2 m y profundidades de cimentación a partir de 0,3 m)						

Para valores intermedios debe hacerse una interpolación lineal en la tabla.

Las presiones indicadas pueden provocar asientos no superiores a 1 cm, en caso de cimentaciones cuyo ancho no exceda de 1,5 m, o no superiores a 2 cm, en caso de mayores anchos de cimentación. En caso de notable influencia recíproca entre cimentaciones próximas, los valores de los asientos pueden aumentar.

Para anchos de cimentación comprendidos entre 3 y 5 m, los valores de la última columna de la tabla 1 deben reducirse en un 10% por metro de anchura adicional si tales cimentaciones se dimensionan orientativamente con auxilio de valores tomados de la tabla. Para anchos todavía mayores hay que proceder como indica el apartado 4.3.

4.2.1.2. Obras no sensibles a los asientos (ver tabla 2)

Para cimentaciones en franjas cuyo asentamiento no repercute perjudicialmente en la estructura de la obra pueden emplearse los valores de la tabla 2.

TABLA 2. TERRENO NO COHESIVO Y OBRA NO SENSIBLE A LOS ASIENTOS

Profundidad de empotramiento m	Presión media admisible sobre el terreno (kg/cm ²) para cimentaciones en fajas con anchos de			
	0,5 m	1 m	1,5 m	2 m
0,5	2	3	4	5
1	2,7	3,7	4,7	5,7
1,5	3,4	4,4	5,4	6,4
2	4	5	6	7
Para obras pequeñas véase apartado 4.1.1, inciso 1. (con anchos a partir de 0,2 m y profundidades de cimentación a partir de 0,3 m)				

Para valores intermedios es preciso interpolar linealmente en la tabla. Los valores indicados para un ancho de cimentación de 2 m pueden también aplicarse a anchuras mayores. Las presiones especificadas pueden provocar asentamientos de hasta 2 cm, en caso de anchos de cimentación hasta 1,5 m, y asentamientos sensiblemente superiores en caso de mayores anchuras. En caso de notable influencia recíproca entre cimentaciones próximas, los valores de los asentamientos pueden experimentar un aumento.

4.2.2. Presión media admisible sobre terreno cohesivo

Los valores que figuran en las tablas 3 a 6 son válidos para cimentaciones en fajas sobre terreno cohesivo cuyo estado, rígido, semiduro o duro, no debe quedar afectado por las medidas constructivas. A efectos del estado de consistencia, véase en DIN 4022, hoja 1, edición de noviembre de 1969, el apartado "Método para reconocer el estado del terreno (ensayo de consistencia)".

Nota: El estado de consistencia de un terreno puede determinarse "in situ" de la forma siguiente:

- Es *fluido* un terreno cuando, al apretar dentro del puño la materia de que se compone, se escurre entre los dedos.
- Es *blando* un terreno cuyo material se puede amasar fácilmente.
- Es *rígido* un terreno cuyo material resulta difícil de amasar, pero que permite todavía amollar con la mano barritas de 3 mm de diámetro sin que se rajen ni desmenucen.
- Es *semiduro* un terreno cuyo material se raja y desmenuza al tratar de amollar con él barritas de 3 mm de diámetro, pero que todavía conserva suficiente humedad para volverlo a aglomerar en forma de bola.
- Es *duro* un terreno que está muy desecado y presenta, en general, una coloración clara. No se puede amasar su material, sino únicamente desmenuzarlo, y no es posible volver a aglomerar los terrones en una sola masa.

En un terreno con estado de consistencia "rígido", la aplicación de los valores de las tablas presupone que la carga de la cimentación aumenta sólo de forma gradual. Si la cimentación se carga completamente en el transcurso de un breve intervalo de tiempo o el estado de consistencia del terreno no llega a rígido, la presión admisible debe determinarse según se especifica en el apartado 4.3 y teniendo en cuenta la sobrepresión resultante del agua intersticial. Para terrenos cohesivos en estado fluido y blando no puede indicarse a este respecto ningún valor de validez general.

Por otra parte, los valores que figuran en las tablas 3 a 6 no son aplicables a clases de terreno donde sea de temer un colapso súbito de la estructura granular, como ocurre por ejemplo en sedimentos de limo arcilloso.

Los terrenos pueden clasificarse —por ejemplo, para evaluar su contenido de arena, limo y arcilla— mediante sencillos ensayos "in situ", siguiendo las instrucciones especificadas en DIN 4022, hoja 1, edición de noviembre de 1969, apartados 7.2.4 y 7.2.5.

4.2.2.1 Terrenos cohesivos frecuentes

Las presiones indicadas en las tablas 3 a 6 pueden provocar asentamientos de las cimentaciones que, según la clase de terreno y por orden creciente de magnitud, son los siguientes (véase apartado 2.3.1):

Limo puro (ver tabla 3)	2 cm
Suelos de granulación mixta (ver tabla 4)	3 cm
Limo arcilloso (ver tabla 5)	4 cm
Arcilla (ver tabla 6)	4 cm

En caso de notable influencia recíproca entre cimentaciones próximas, los valores de los asentamientos pueden experimentar un aumento.

Para anchos de cimentación comprendidos entre 2 y 5 m, los valores de las tablas 3 a 6 deben reducirse en un 10% por metro de anchura adicional, siempre que tales cimentaciones se dimensionen aproximadamente con auxilio de valores tomados de las tablas 3 a 6.

TABLA 3. LIMO PURO

Profundidad de empotramiento m	Presión media admisible sobre el terreno (kg/cm ²) para cimentaciones en fajas con anchos de 0,5 a 2 m y consistencia rígida a semidura del terreno
0,5	1,3
1	1,8
1,5	2,2
2	2,5

TABLA 4.

SUELOS DE GRANULACIÓN MIXTA, CON TAMAÑOS DE GRANO A PARTIR DEL DE LA ARCILLA HASTA EL DE LA ARENA, GRAVA O PIEDRA (POR EJEMPLO, MARGA ARENOSA O DE CANTOS RODADOS, BARRO DE ARRASTRES GLACIARES).

Profundidad de empotramiento m	Presión media admisible sobre el terreno (kg/cm ²) para cimentaciones en fajas con anchos de 0,5 a 2 m y terreno de consistencia		
	rígida	semidura	dura
0,5	1,5	2,2	3,3
1	1,8	2,8	3,8
1,5	2,2	3,3	4,4
2	2,5	3,7	5

TABLA 5. LIMO ARCILLOSO

Profundidad de empotramiento m	Presión media admisible sobre el terreno (kg/cm ²) para cimentaciones en fajas con anchos de 0,5 a 2 m y terreno de consistencia		
m	rígida	semidura	dura
0,5	1,2	1,7	2,8
1	1,4	2,1	3,2
1,5	1,6	2,5	3,6
2	1,8	2,8	4

TABLA 6. ARCILLA

Profundidad de empotramiento m	Presión media admisible sobre el terreno (kg/cm ²) para cimentaciones en fajas con anchos de 0,5 a 2 m y terreno de consistencia		
m	rígida	semidura	dura
0,5	0,9	1,4	2
1	1,1	1,8	2,4
1,5	1,3	2,1	2,7
2	1,5	2,3	3

Para profundidades de empotramiento distintas de las que figuran en las tablas 3 a 6, los valores facilitados por éstas quedan complementados con los obtenidos por interpolación lineal.

Como adición a las tablas 3 a 6, en caso de pequeñas edificaciones (véase apartado 4.1.1) sobre cimentaciones en fajas con anchos $b \geq 0,2$ m y profundidades de empotramiento $t \geq 0,5$ m puede contarse con una presión media admisible sobre el terreno de $0,8 \text{ kg/cm}^2$.

4.2.4. Presiones admisibles sobre terreno rocoso en caso de cimentaciones someras

Si el terreno está formado por un espesor suficiente de roca firme y uniforme, las presiones sobre él pueden alcanzar —en caso de cimentaciones someras— los valores especificados en la tabla 7, siempre y cuando

TABLA 7. ROCA

Estructura de la roca	Presiones admisibles sobre el terreno (kg/cm ²) en caso de cimentaciones de superficie y para roca	
	no quebradiza, no erosionada o sólo poco erosionada	quebradiza, o con claras señales de erosión
Roca de estructura compacta y homogénea	40	15
Roca en estratos alternados o con hendidas	20	10

dicha roca posea las propiedades detalladas en la tabla, esté garantizada una buena transmisión de las cargas a las capas más profundas y quede excluido todo menoscabo de las propiedades de la roca a causa de las medidas constructivas.

Pueden interpolarse valores intermedios de acuerdo con las experiencias locales.

Las presiones admisibles sobre el terreno deben fijarse en función del dictamen emitido por un Organismo competente en la materia cuando

- la clasificación del terreno como roca no está bien clara;
- concurran circunstancias geológicamente complejas;
- la roca está sumamente alterada;
- en pendientes, la inclinación de los estratos rocosos y de las hendiduras de las rocas difiere muy poco de la del terreno;
- la superficie de la roca está inclinada más de 30°;
- se desea adoptar presiones superiores a las que figuran en la tabla 7.

También debe recurrirse siempre al dictamen de un organismo competente oficial cuando no puede excluirse el peligro de una rotura del terreno, por ejemplo, al cimentar en aristas rocosas.

4.3. Determinación de la presión admisible sobre el terreno por el estudio de los asentamientos y de la rotura

Los valores admisibles que figuran en las tablas 1 a 6 pueden sobrepasarse cuando los asentamientos que es lícito esperar de ellos no son perjudiciales y la seguridad estática de la obra ha sido verificada con auxilio del cálculo. Idéntica verificación debe llevarse a cabo cuando el terreno no cumple las condiciones especificadas en el apartado 4.2.

4.3.1. Determinación de los asentamientos

Para la verificación de los asentamientos remitimos a las recomendaciones que figuran en DIN 4019, hojas 1 y 2. Dada la exigua importancia (mencionada en el apartado 2.3.1.2) de los esfuerzos de corta duración, en caso de terrenos cohesivos basta tener en cuenta únicamente, al determinar las cargas, las sobrecargas permanentes y las de probable larga duración. En el cálculo de los asentamientos hay que considerar además las tensiones en el terreno provocadas por eventuales cimentaciones, obras y terraplenados vecinos.

4.3.2. Determinación de la seguridad a la rotura del terreno

Para la determinación de la seguridad del terreno a la rotura, en caso de cimentaciones someras, remitimos a las recomendaciones expuestas en DIN 4017, hojas 1 y 2; para la comprobación de la seguridad contra la rotura en desniveles bruscos, véase DIN 4084, hoja 1. En caso de cimentaciones someras de gran profundidad de empotramiento (por ejemplo, cimentaciones en pozos), no es preciso, por regla general, verificar la seguridad a la rotura del terreno.

No hace falta tener en cuenta los rebajes o cavidades existentes dentro de la superficie del fondo de la cimentación, siempre que pueda excluirse todo corrimiento del terreno hacia el interior de los mismos.

4.3.3. Pruebas de carga

Pruebas de carga con objeto de determinar el coeficiente de rigidez del terreno sólo deben efectuarse en conexión con el estudio del terreno especificado en el apartado 3. Se tendrá en cuenta a tal efecto DIN 4020. Es preciso tomar nota de la magnitud de los asentamientos y de su variación con el tiempo, tanto al cargar como al descargar el terreno. En todas las etapas de carga se esperará a la completa extinción del asentamiento.

El coeficiente de rigidez se calcula entonces en función de los asentamientos medidos. Puesto que las pruebas de carga, a causa de su exiguo efecto de profundidad, sólo dan por regla general idea sobre el comportamiento de la capa superficial del terreno, resulta totalmente inadmisibles establecer una relación directa entre los asentamientos medidos durante las pruebas y los que experimentará realmente la obra. Por el mismo motivo, sólo pueden utilizarse pruebas de carga para el cálculo de los asentamientos cuando es posible garantizar, como resultado de perforaciones, que la capa de terreno más sensible a los asentamientos es justamente la que se halla en la superficie.

En caso de pequeñas superficies de carga debe prestarse atención a un cedimiento lateral del terreno.

4.3.4. Observaciones de asentamientos

Como resultado de las mediciones según DIN 4107 de los asentamientos producidos en edificaciones próximas ya concluidas, es posible sacar conclusiones —a igualdad de naturaleza del terreno— sobre el comportamiento del terreno respecto a asentamientos y sobre la magnitud aproximada de los que son de prever. Con auxilio de los asentamientos medidos en diferentes épocas durante el levantamiento de dichas edificaciones y de los resultados suministrados por perforaciones, puede calcularse también el coeficiente medio de rigidez para las capas del terreno —eventualmente de desigual constitución— sometidas a la carga adicional. Para ello deben conocerse no obstante las cargas efectivas de la obra les

decir, no solamente las introducidas en el cálculo estático y en determinados casos la duración de su acción. Este coeficiente de rigidez puede utilizarse entonces para calcular el asiento previsible del edificio a levantar, teniendo en cuenta su efecto de profundidad.

Heladas

La temperatura del subsuelo a pocos metros por debajo de la superficie del terreno es constante (unos 7° C) e independientemente de las oscilaciones de la temperatura exterior con las estaciones del año.

Las capas superiores del terreno, por el contrario, se hielan cuando la temperatura del aire exterior cae por debajo de 0° C; la helada penetra tanto más profundamente cuanto más baja es la temperatura exterior, cuanto más largo es el período durante el cual se mantiene y cuanto mayor es la conductibilidad térmica del suelo. El agua del subsuelo se hielan entonces también y aumenta de volumen en un 1/11 = 9%.

HELADA EN TERRENOS COHESIVOS, SEGÚN BRESKOW



La manera de formarse el hielo y los efectos por éste producidos son diferentes según se trate de terrenos cohesivos o no cohesivos. En terrenos que contienen fracciones arcillosas se forman, perpendicularmente a la dirección de la penetración de la helada, trozos de hielo con formas de lentes y de cintas que ocasionan levantamientos y corrimientos de las capas del terreno. En terrenos sin cohesión, como son los de arena, gravilla y grava, los granos pétreos quedan envueltos individualmente en una cubierta o cáscara de hielo, con lo cual ni siquiera terrenos de esta clase empapados de agua sufren levantamientos; por esta razón, en los terrenos no cohesivos la profundidad de cimentación puede disminuirse un poco.

La base de apoyo de los cimientos debe estar más abajo que el límite del terreno congelable. Este límite varía según las circunstancias del clima de la localidad, y en Alemania oscila entre 1,30 m y 1,80 m. Las profundidades antes admitidas de 0,80 m y 1,20 m para dicho límite de congelación han resultado ser demasiado escasas, como han permitido comprobarlo los duros inviernos de 1928/29 y de 1941/42, a costa de graves daños. Con respecto a la exigencia, formulada en DIN 1054, de que la base de la cimentación debe hallarse al abrigo de heladas, se ve pues que la profundidad mínima allí indicada de 0,8 m por debajo del terreno puede no ofrecer en general suficiente seguridad contra las heladas. Si se da el caso deben rellenarse las ranuras de cimentación y tapiarse las aberturas de los muros de sótano ya durante la época apta para el trabajo, antes de que se produzcan las heladas.

Excavaciones para cimientos

Cuando se ha limpiado el solar, y se han arrancado árboles, malezas, etc., y se han cercado y protegido los árboles que deben ser conservados puede procederse al exacto replanteo de las líneas de la edificación. Una vez señaladas las tierras a excavar y marcadas con cordeles puede iniciarse la excavación.

Ejecución de la excavación

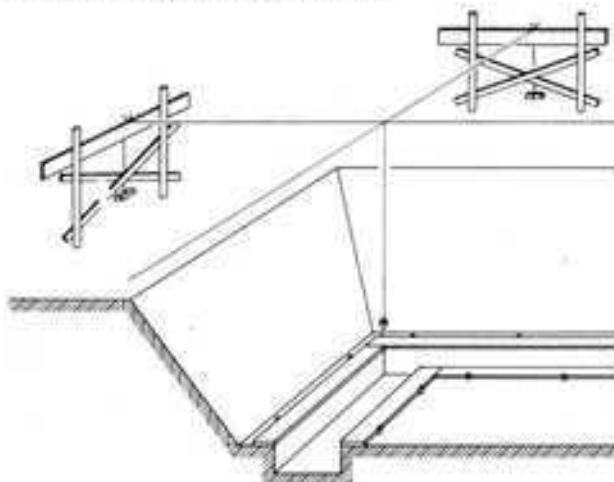
Se levanta primero la capa de humus o tierra vegetal depositándola en pilas o montones a fin de que no se mezcle con los materiales del desmonte. Los montones se colocan en dirección Norte-Sur y se cubren, en verano, con ramaje o con pellas de césped para protegerlos contra los rayos solares.

Los trabajos de excavación se ejecutan actualmente, incluso en caso de pequeños proyectos, con auxilio de máquinas: a este respecto se emplean excavadoras de cuchara, niveladoras oruga, y también grúas y vehículos provistos de almejas o dispositivos de palas. Sólo se realizan todavía a mano los retoques posteriores o las estrechas franjas de cimentación bajo el fondo de la excavación general. Las fundaciones deben efectuarse sobre terreno inalterado. Por ello es a veces necesario, tras la excavación con máquinas, igualar la base de cimentación con arena o grava y compactarla cuidadosamente con el vibrador.

En terreno despejado suele abrirse la zanja con talud. Sólo en caso de profundidades no superiores a 1,25 m y según las circunstancias del terreno puede renunciarse al talud o al apuntalado de las paredes de la zanja. Para mayores profundidades es preciso darles, según DIN 4124, los siguientes taludes, que varían con la clase de terreno:

a) Terreno no cohesivo o de cohesión blanda	45°
b) Terreno cohesivo rígido o semiduro	60°
c) Roca ligera	80°
d) Roca pesada	90°

PAREDES DE ZANJA CORTADAS CON TALUD, CON LAS CAMILLAS Y LOS CORDELES DEL REPLANTEO



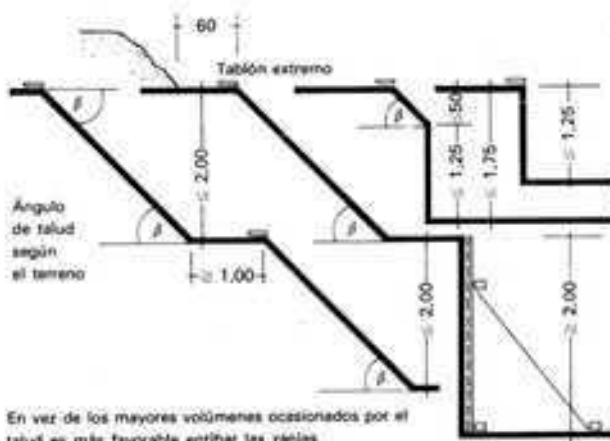
Cuando se excavan a pala y pico zanjas más profundas de lo que permite el lanzamiento directo de las tierras al exterior, se van dejando unas bermas o retallos de 50 a 100 cm de anchura a la altura conveniente para lanzar allí las tierras, protegiendo sus aristas con tabloncillos para evitar el desmoronamiento de las mismas. Cuando no es posible dar talud a los paramentos de las zanjas, por ejemplo si se trata de zanjas en calles, o si la masa de tierras a remover resulta demasiado grande, entonces se apuntalan las paredes parcial o totalmente.

Para levantar los muros exteriores de sótano es preciso dejar fuera de todo el contorno de la excavación un espacio libre de trabajo de 50 cm como mínimo. Este espacio se mide entre el borde exterior del encofrado del sótano y el pie del talud (o el borde interior del revestimiento de la zanja, caso de haberlo), con objeto de garantizar la necesaria libertad de movimientos.

Entibaciones

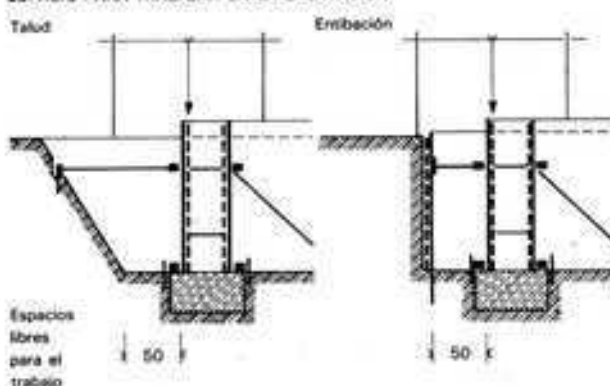
Cuando concurren circunstancias de terreno reducido —por ejemplo, en huecos entre edificaciones o en alineaciones de calles— o en zanjas de gran profundidad donde, a causa de su volumen, los trabajos de excavación y posterior relleno supo-

PERFIL DE LA EXCAVACIÓN SEGÚN DIN 4124



En vez de los mayores volúmenes ocasionados por el talud es más favorable entibar las zanjas.

ESPACIO PARA TRABAJAR EN LA EXCAVACIÓN



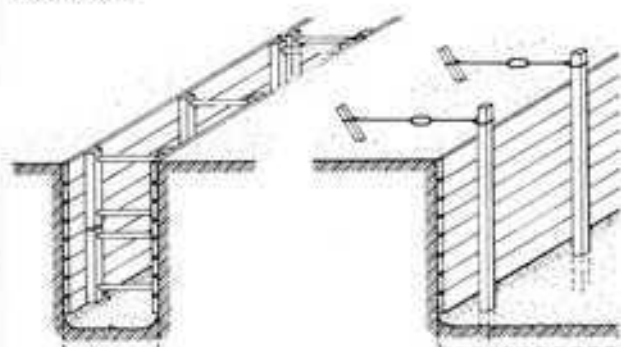
nen un gasto desproporcionado es preciso entibar y apuntalar total o parcialmente las paredes de la excavación.

Entablados

Se distingue entre entibaciones horizontales y verticales. Las entibaciones horizontales se realizan colocando, horizontalmente y en contacto, tabloncillos, uno debajo del otro, a medida que progresa la excavación. La entibación no debe quedar a menos de uno a dos anchos de tabloncillo del fondo de la zanja, y debe asegurarse mediante estampas y codales, puntales o anclajes. Para terrenos de estructura suelta o bien blandos, que no se sostienen en la altura de un tabloncillo, se elige una entibación vertical. Con este objeto se hincan verticalmente en el terreno tabloncillos de madera o planchas acanaladas, antes de iniciar la excavación. La profundidad de hincarse por debajo del fondo de la zanja debe ser, en cada etapa de trabajo, de 30 cm como mínimo. Sólo en zanjas de cimentación estrechas y en minas es posible asegurar la entibación por medio de codales entre paredes opuestas. El uso de puntales merma el espacio libre, y ello tanto más cuanto mayores son el ancho y la profundidad de la zanja. Mediante una entibación entre pilotes previamente hincados es posible anclar el revestimiento en el suelo contiguo, por fuera de la zanja. En caso de zanjas abiertas de mayor profundidad, y especialmente en huecos entre edificios vecinos, es preciso disponer sistemas de apuntalamiento más resistentes.

Paredes de vigas y tabloncillos

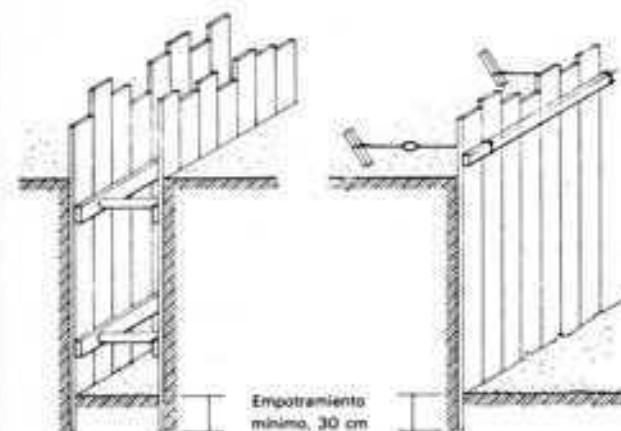
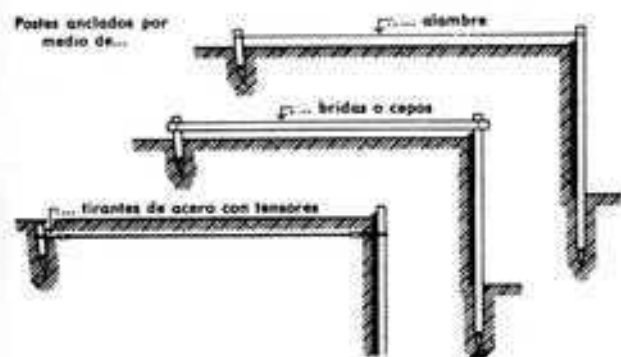
Esta entibación horizontal a base de tabloncillos o maderos escuadrados o rollos dispuestos entre vigas de acero hincadas o eventualmente introducidas en perforaciones previas, se llama también "entibación berlina". Una vez concluidas las obras de cimentación, se quitan los tabloncillos y se arrancan las vigas antes de proceder al relleno y compactación del relleno.



Entibación horizontal

Anciaje por detrás de postes previamente hincados

Postes anclados por medio de...



Entibación vertical

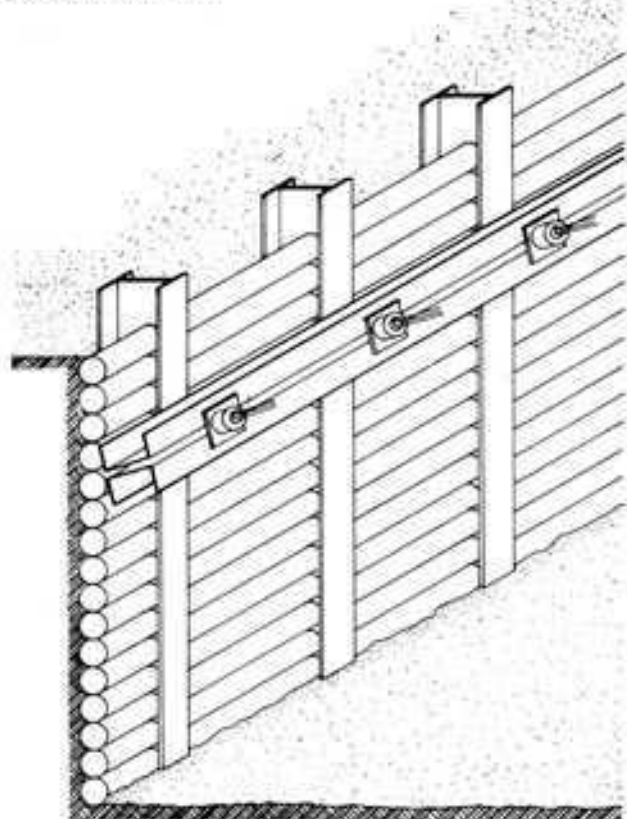
Anciaje por detrás

Empotramiento mínimo, 30 cm

Tablestacados

Los tablestacados de acero han reemplazado a los tablestacados de madera con juntas a tope o con ensambles, antiguamente en uso. Estos se introdujeron como consecuencia de la evolución de la entibación vertical aplicada a zanjas de cimentación afectadas por aguas subterráneas, donde se exigía una buena impermeabilización contra la afluencia de agua y el deslavado del terreno.

Los tablestacados de acero son más resistentes, pueden utilizarse varias veces e hincarse o arrancarse fácilmente, a causa de su reducida sección. Junto a una mayor capacidad de carga permiten mayores longitudes, es decir, mayores profundidades de zanja al ser hincados en el terreno. Sus uniones garantizan una elevada estanquidad y una buena transmisión de esfuerzos entre los perfiles contiguos. Como aparellaje de hincado se emplean, según el caso y la naturaleza del terreno, martinetes de percusión rápida o arietes vibratorios. Con aparellaje vibratorio

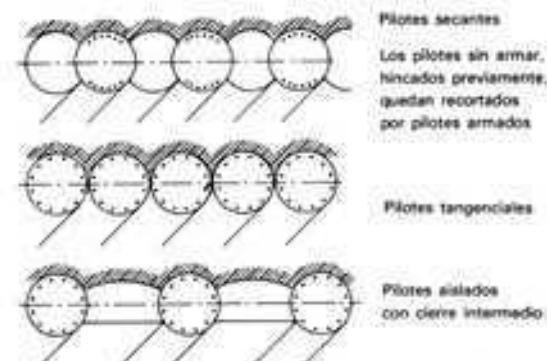


sólo es preciso vencer, además de la resistencia de punta, un exiguo roce de deslizamiento. En arena, grava o terrenos de ligera consistencia estos aparatos trabajan, pues, en caso de elevada velocidad de hincado (hasta 10 m/min), bastante menos ruidosamente que los martinetes de golpeo o de caída libre. Una vez los tablestacados han cumplido su misión de estructura sustentante provisional, se arrancan de nuevo. Esto resulta tanto más difícil cuanto más largo es el tiempo que permanecieron hincados. Se recurre entonces al auxilio de dispositivos extractores de acción estática y dinámica, o al de arietes vibratorios.

Muros de pilotes de perforación

Los muros de pilotes de perforación y los muros pantalla provocan las mínimas molestias en cuanto a ruido y oscilaciones. Al contrario de cuanto ocurre con las entibaciones a base de revestimientos y tablestacados, pueden dejarse incluidos luego, como elementos sustentantes, en la estructura de la obra a edificar. Según la disposición de los pilotes cabe distinguir entre: muros de pilotes tangentes, muros de pilotes secantes, muros de pilotes aislados con cierre intermedio.

MUROS DE PILOTES DE PERFORACIÓN

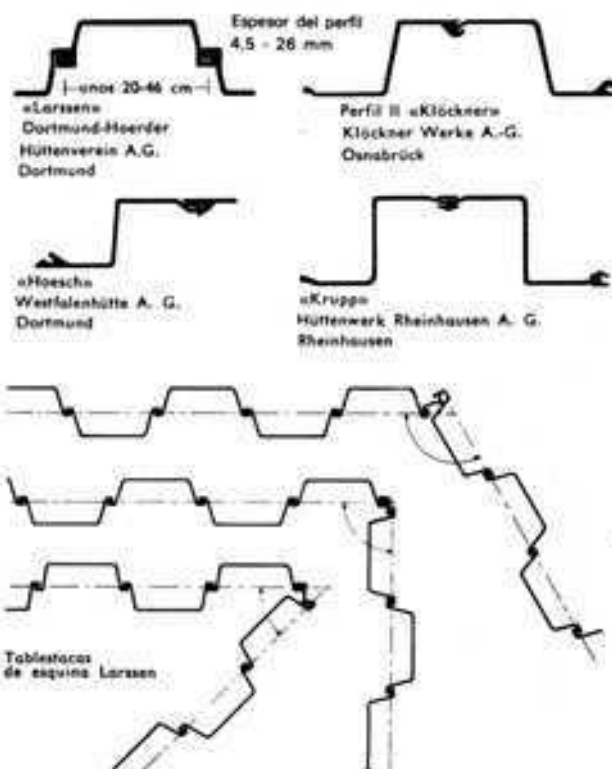


Pilotes secantes
Los pilotes sin armar, hincados previamente, quedan recortados por pilotes armados

Pilotes tangenciales

Pilotes aislados con cierre intermedio

TABLESTACAS DE ACERO



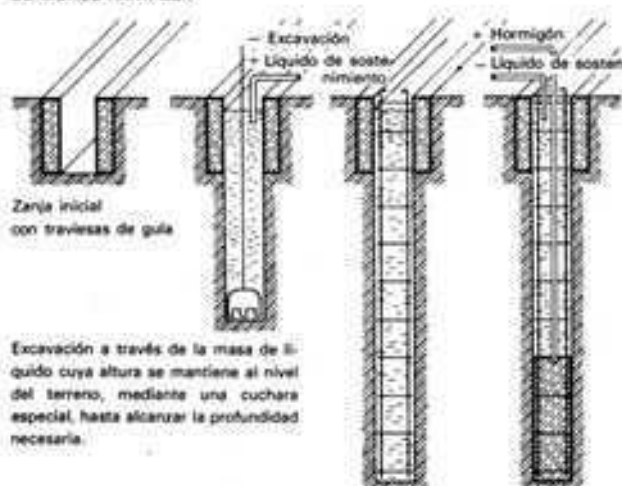
Con esta finalidad se construyen grandes pilotes de perforación, cuyo diámetro puede oscilar entre 50 cm y más de 2 m, que se dimensionan y arman de acuerdo con las exigencias estáticas de cada caso (presión del terreno, cargas del edificio, posibilidad de anclaje o de apuntalamiento, etc.).

Además de estructuras de contención contra elevadas cargas de terreno y de cimentación a lo largo de zanjas profundas, pueden quedar ya como elemento sustentante y de fundamentación. La distancia mínima entre el eje de pilotes y una alineación constructiva existente, técnicamente impuesta por la ejecución a máquina de los grandes pilotes de perforación, es de unos 80 cm. Para más detalles sobre la ejecución de pilotes, véase página 20.

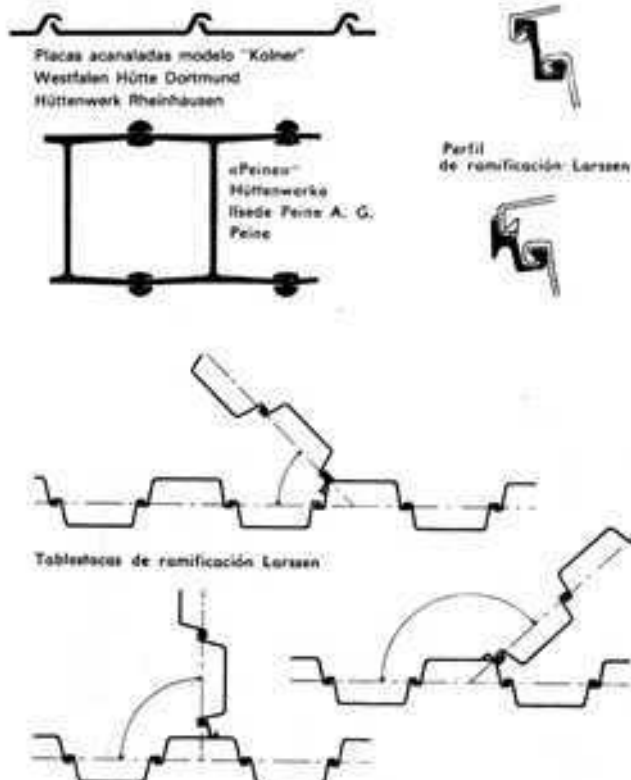
Muros pantalla

Condición indispensable para la fabricación y la rentabilidad de muros pantalla es el empleo de un líquido capaz de sostener el

PROCESO DE CONSTRUCCIÓN DE MUROS PANTALLA



Proceso de hormigonado como el que se sigue para el hormigonado bajo el agua, con aspiración simultánea del líquido de sostenimiento



terreno mientras se excava en él la hendidura y durante el proceso de hormigonado, sin necesidad de revestimiento alguno. Igual que los muros de pilotes de perforación, también los muros pantalla pueden dimensionarse en cuanto a armadura y espesor (no inferior a 50 cm) de modo que permitan asegurar zanjas de prácticamente cualquier profundidad.

Las hendiduras se excavan mediante cucharas especiales a través de la masa de líquido, cuya altura debe mantenerse siempre al nivel del terreno, y tras la colocación de la armadura se rellenan de nuevo por etapas, como en el hormigonado bajo el agua. El líquido expulsado por el hormigón es entonces aspirado y preparado para su nuevo uso posterior.

Según el espesor y la altura de muro necesarios constructiva y estáticamente, a medida que progresa la excavación es preciso ir asegurando el muro pantalla con codales o anclajes. Puede prescindirse de un recalde de construcciones contiguas con cimentaciones poco profundas. Un muro pantalla puede ejecutarse no sólo como elemento de cierre, de apuntalamiento y de sostén, sino también como elemento impermeable al agua a presión.

Líquidos de sostenimiento

Estos líquidos, llamados también tixótrópos, son suspensiones gelatinosas de arcilla o sustancias, como la bentonita, que se caracterizan por su elevada capacidad de expansión y de aglutinación en el agua. La presión hidrostática del líquido en cuestión contrarresta la presión ejercida por las capas de terreno al ser cortadas durante la excavación. Es importante adaptar la suspensión a un límite de fluencia que deberá elegirse en cada caso según la clase de terreno y el tamaño del grano. La suspensión sostiene el terreno a partir de un determinado tamaño de grano e impide el escurrimiento del mismo a todo su alrededor. Tan sólo mientras no se alcanza un estado fluctuante de equilibrio penetra todavía la suspensión más o menos profundamente en el terreno adyacente.

Elio explica por qué este procedimiento puede aplicarse a toda clase de terrenos naturales y a la mayoría de terraplenados artificiales. El agua subterránea se tiene en cuenta por medio del cálculo: la presión de líquido resultante de restar de la presión de la suspensión de bentonita la presión del agua subterránea, es la

que se aplica al terreno sometido a sustentación. El agua subterránea en circulación puede tratarse a este respecto como estacionaria. La erosión provocada por esta agua en circulación eleva ciertamente el consumo de suspensión, pero no altera la estabilidad.

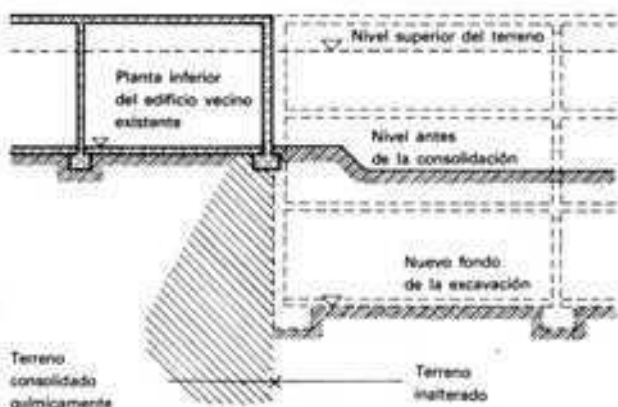
Los líquidos de sostenimiento no sólo se usan en la construcción de muros pantalla, sino también en la de grandes pilotes de perforación sin envoltura y en la perforación de pozos grandes, a fin de reducir el roce entre el terreno y la envoltura que hay que hacer penetrar en él.

Consolidación del terreno

En caso de terrenos no cohesivos, la consolidación química de los mismos constituye otra alternativa para la entibación de excavaciones y el recalce de cimentaciones poco profundas de edificaciones contiguas. Dada la estrechez de las parcelas interurbanas, la consolidación química permite un óptimo aprovechamiento del terreno disponible entre edificaciones ya existentes, incluso si hay que prever sótanos cimentados a cierta profundidad.

Todos los terrenos no cohesivos permeables al agua pueden consolidarse mediante inyecciones químicas. Según la composición granulométrica del terreno se eligen distintos procedimientos (métodos Monosol, Monodur, de Joosten y de cementación): los productos químicos o los cementos se introducen a presión en el terreno, debajo de las cimentaciones existentes, a través de tubos inyectoros. Se forma entonces un bloque pétreo artificial cuya forma, tamaño y resistencia en probeta cúbica óptimos deben determinarse previamente mediante un cálculo estático en cuanto los sondeos y ensayos de laboratorio permiten conocer las características locales del terreno.

SOSTENIMIENTO Y CONSOLIDACIÓN DE UNA EXCAVACIÓN MEDIANTE LA CONSOLIDACIÓN DEL TERRENO



En el transcurso de la excavación puede cortarse verticalmente el terreno consolidado situado debajo de las alineaciones de las edificaciones contiguas. Fuera de un apuntalamiento o anclaje eventuales, estáticamente puede prescindirse de cualquier otra entibación. Si se da el caso, los trabajos de recalce y entibación, a causa del aparellaje relativamente sencillo que requieren (comparado con el de los muros de pilotes o los muros pantalla), pueden ya efectuarse antes de la excavación de las plantas de sótano contiguas.

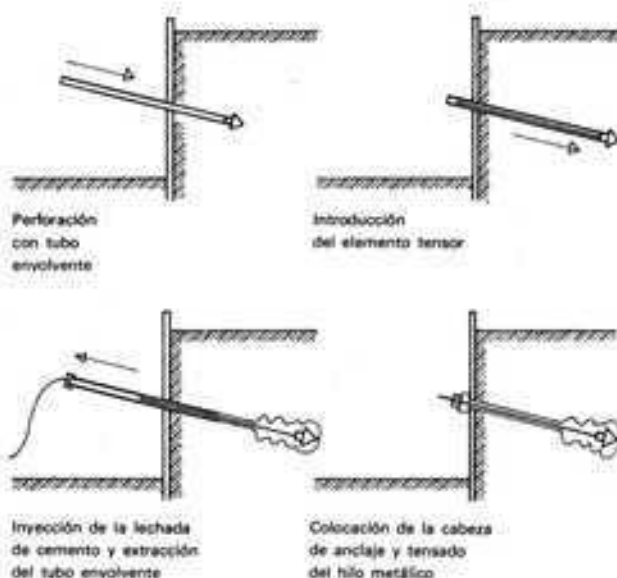
Con respecto a la consolidación de excavaciones por consolidación del terreno sea dicho, no obstante, que en toda la zona de la base de la cimentación es preciso conservar o crear unas condiciones homogéneas de terreno, pues de lo contrario habrá que contar con desigualdad de asentamientos.

Apuntalamiento y anclaje

En caso de grandes profundidades de excavación y elevadas cargas suele resultar antieconómico dimensionar una entibación de modo que resista únicamente por su empujamiento en el

terreno. Sólo en caso de fosas estrechas es posible un apuntalamiento por codales entre paredes opuestas; en los demás casos las necesarias dimensiones de un tornapuntas de gran luz o apoyado contra el fondo restringen el espacio libre que una excavación mediante máquinas requiere especialmente.

SUJECCIÓN MEDIANTE ANCLAJES DE INYECCIÓN



Por el contrario, anclando el revestimiento en el terreno adyacente, la zanja queda completamente libre. Introduciendo varias filas de anclajes durante el transcurso de la excavación, puede alcanzarse sin ningún impedimento prácticamente cualquier profundidad —respaldada por un cálculo estático. El especialista en estática determina, en función de las circunstancias locales, el número y la longitud de los anclajes necesarios para contrarrestar de modo seguro la presión del terreno adyacente, así como impedir la rotura de éste en taludes o desniveles bruscos. Se distingue entre los llamados anclajes de inyección de aplicación transitoria y los de aplicación permanente (pilotes de anclaje), que deben poseer ante todo una notable seguridad contra la corrosión. Para solicitaciones de corta duración y longitudes de anclaje hasta de más de 20 m se utilizan cables tensores flexibles de acero.

La longitud de anclaje exigida por el cálculo estático se perfora o hince previamente, según la clase de terreno, pero siempre entubando el taladro. Tras introducir los cables tensores y empalmar el tornillo tensor al extremo saliente de la entubación, se inyecta lechada de cemento en el taladro y se tira lentamente del tubo hasta que todo el trayecto portante de anclaje (4 a 6 m de cable) queda íntegramente inmerso en el terreno unido por el cemento. Tras unos 5 días de fraguado se efectúa hidráulicamente el tensado de los cables. Los esfuerzos que ello determina en las cabezas de anclaje (hasta más de 50 ton) son transmitidos directamente, a través de placas o bandas de refuerzo a la estructura de entibación y al terreno que debe sostenerse.

Agotamiento de zanjas

Cuando las zanjas atraviesan la región de aguas subterráneas es preciso, o bien hacerlas estancas, en todo su perímetro y por debajo, a la entrada del agua, o bien tomar medidas para que el nivel de las aguas subterráneas descienda por debajo de la base de la cimentación. Cuando dicho nivel sólo es ligeramente inferior al de dicha base, basta a veces una impermeabilización lateral combinada con un sistema de agotamiento al descubierto, es decir, drenaje de la excavación e instalación de un pozo para bomba.

Descenso del nivel del agua subterránea por medio de pozos con filtro tubular

Mediante la instalación de un conveniente número de pozos con filtro tubular en torno de la excavación se hace descender el nivel del agua subterránea de 30 a 50 cm por debajo de la base de cimentación, con lo cual pueden hacerse en seco los trabajos de cimentación e impermeabilización. Se economiza así el trabajo de impermeabilización del recinto y de la base de la excavación y, además, se elude el peligro del esponjamiento e hinchazón del suelo del fondo.

El descenso del nivel del agua subterránea sólo es posible cuando se trata de terrenos de estructura granular como arena, grava, arena arenosa o grava.

Mediante pozos con tubo filtrante y bomba aspirante para la extracción se puede lograr en general un descenso de 3 ó 4 m en el nivel del agua.

Para establecer un pozo de esta clase hay que efectuar los siguientes trabajos:

Se practica una perforación con un tubo que ha de servir de revestimiento o de envolvente (tal como fue ya descrito en el apartado "Estudio del terreno");

luego se introduce el tubo filtrante;

se atornilla en su parte superior una alagardera de tubo de longitud suficiente para que sobresalga del terreno;

en terrenos arcillosos: se rellena con grava el hueco entre el tubo-envolvente y el tubo filtrante;

se extrae el tubo-envolvente;

se suspende, en su interior, el tubo aspirante con la válvula de retención;

se conecta la bomba aspirante.

Para profundidades de más de 3 a 4 m tienen que establecerse pozos escalonados. Cada escalón consta de varios pozos con filtro tubular y bomba aspiradora, dispuestos alrededor de la excavación y a la misma altura y que aspiran el agua subterránea haciéndola bajar 3 ó 4 metros. Entonces puede excavarse hasta esa profundidad, estableciendo en seguida un segundo anillo de pozos que permite rebajar el nivel del agua otros 3 ó 4 metros. Sin embargo, a partir de tres o más escalones este sistema de pozos ya resulta antieconómico. Para grandes profundidades es preferible casi siempre emplear pozos con una bomba sumergida accionada eléctricamente, que impulsa el agua bajo presión.

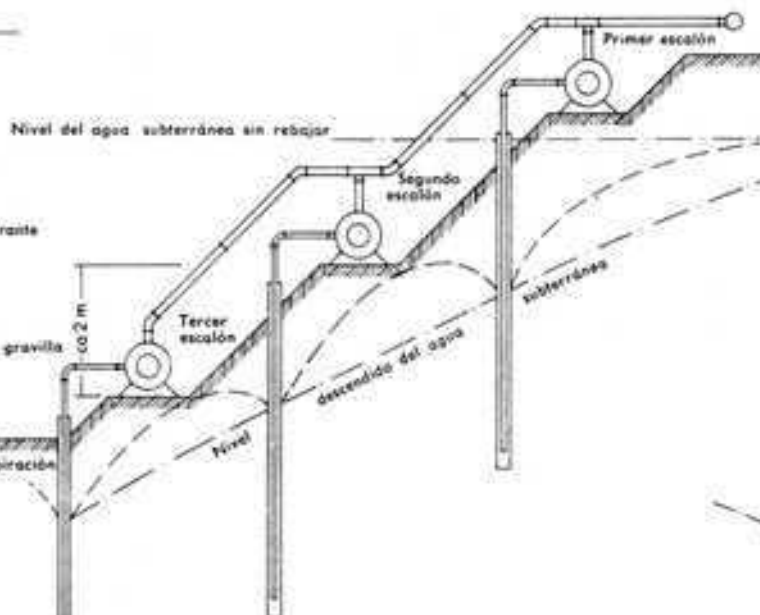
Por medio de pozos de vacío

El agua subterránea que aflora en la arena fina o en el limo ya no circula más por efecto solo de la gravedad, sino que queda retenida por adhesión en los huecos existentes entre granos. Para ello es preciso practicar el vacío, con lo cual dicha agua es arrastrada hacia el tubo filtrante. Esto presupone una red de tuberías absolutamente estanca al aire. Puesto que al efectuar esta operación la arena fina se compacta más, el radio de acción y con él la separación máxima de los diversos filtros de vacío quedan limitados a 1 m aproximadamente. Los filtros tubulares para los pozos de vacío deben introducirse (por impulso hidráulico, no por perforación) hasta que el borde superior del filtro se halle aproximadamente 1 m por debajo de la solera de la cimentación.

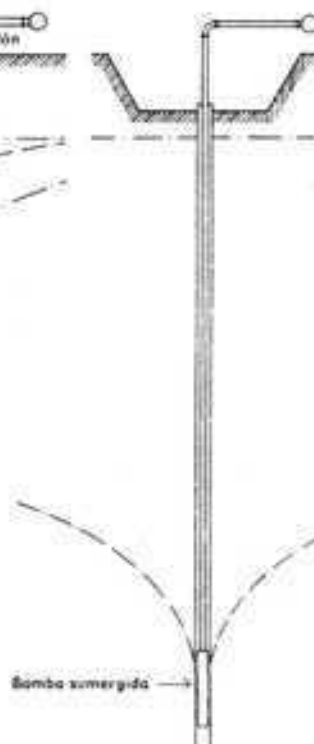
POZOS CON FILTRO TUBULAR



POZOS ESCALONADOS



POZOS PROFUNDOS



Por electroósmosis

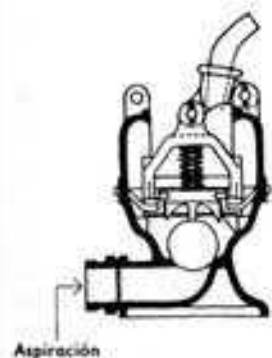
Para suelos coherentes de poros todavía más finos ha sido desarrollado un método por electroósmosis, en virtud del cual el agua es puesta en circulación, no por depresión atmosférica o vacío como antes, sino por la "pendiente" de una corriente continua eléctrica hacia el cátodo (tubo filtrante de un pozo tubular). Según la naturaleza del terreno y la caída de tensión existente, el radio de acción puede alcanzar hasta 2,5 m. Sin embargo, este método resulta caro y sólo se emplea cuando fallan los demás.

Agotamiento al descubierto con pozo para bomba

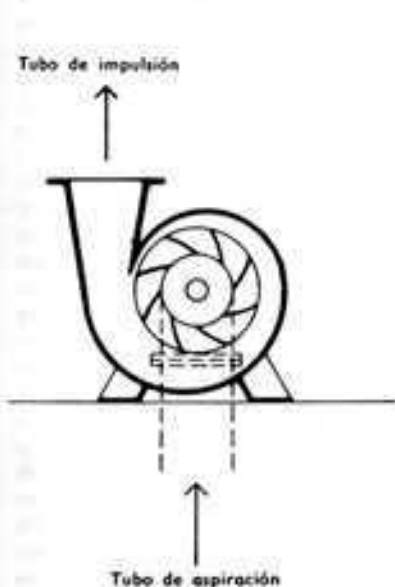
El agotamiento al descubierto mediante un pozo en el que se coloca una bomba se utiliza en los casos siguientes:
Reducidas profundidades de descenso del nivel del agua subterránea;

escasa infiltración de agua, o infiltración moderada;
terrenos consistentes, acuíferos o de granulometría gruesa (en los de arena fina, no, por el peligro de las arenas movedizas). Al llevar a cabo la excavación se llevan siempre algo adelantados los pozos de aspiración de las bombas, para poder recoger en ellos las aguas que caen en aquella y achicarlas o agotarlas con las bombas según la cantidad acumulada. Estos pozos se disponen en forma de entrantes en el recinto de la excavación. Su nú-

BOMBA ASPIRANTE «DIA» PARA ACCIONAMIENTO A MANO



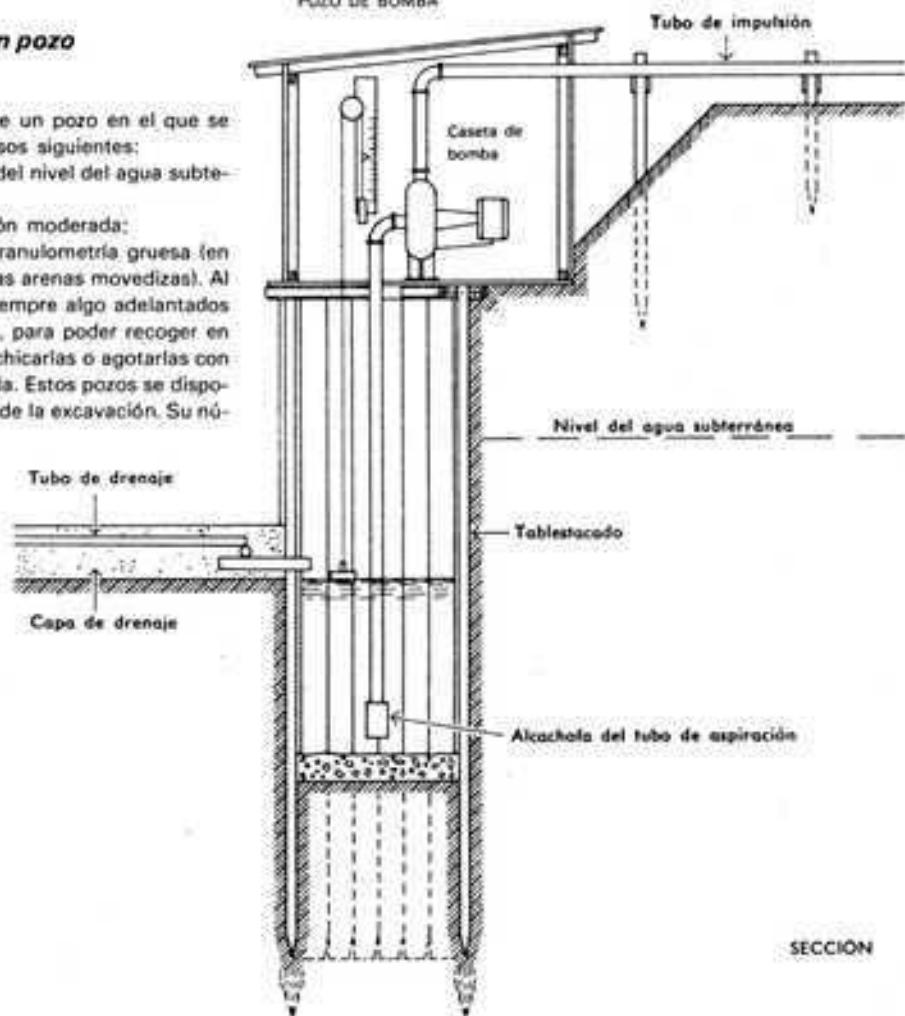
BOMBA CENTRIFUGA



mero, dimensiones y profundidad deben estar de acuerdo con las cantidades de agua que se calcula han de extraerse.

Para lograr una excavación bien seca, conviene disponer una capa de drenaje hecha con gravilla, escorias o materiales análogos, de unos 20 cm de espesor, encima de la solera de fondo de toda la excavación; a través de dicha capa puede escurrir el agua que cae en el interior de la fosa y pasar así al pozo de agotamiento. El efecto de la capa de drenaje puede aún mejorarse mediante la inclusión, en ella, de tubos captadores o de drenaje.

POZO DE BOMBA



SECCIÓN

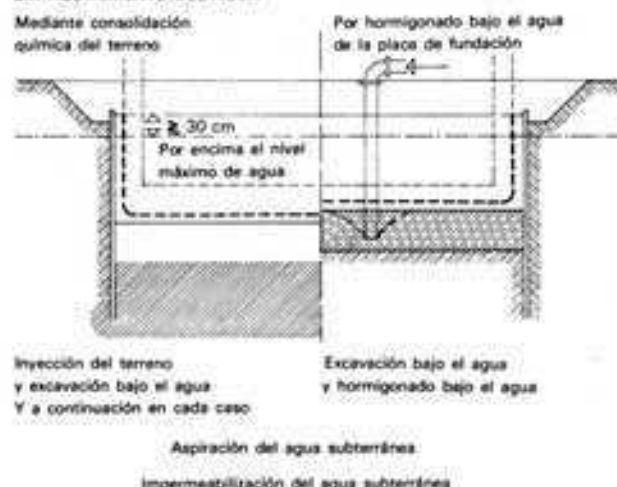


PLANTA

Impermeabilización de las paredes de las excavaciones

Las paredes de las excavaciones deben asegurarse suficientemente no sólo contra desmoronamientos, sino también contra la afluencia lateral de agua y la erosión del terreno, mediante una entibación estanca (como p. ej. un tablestacado, un muro de pilotes de perforación o un muro pantalla). Lo mismo vale para cercos de excavaciones realizados por el procedimiento de congelación en terrenos no estables y muy acuíferos. Estos cercos tomados de la minería, han dado buenos resultados, principalmente en caso de grandes profundidades, excavaciones estrechas y peligro de socavación de las capas de grano fino. Mediante la correspondiente disposición de perforaciones de congelación, análoga a la utilizada para inyecciones en el terreno, puede obtenerse un muro o bloque de congelación, autosustentante y hermético al agua subterránea, alrededor de la fosa a excavar.

IMPERMEABILIZACIÓN DEL FONDO DE LA EXCAVACIÓN SIN AGOTAMIENTO DEL AGUA



Impermeabilización de la base de las excavaciones

Según la profundidad y las dimensiones que debe tener la excavación, la composición del terreno y la afluencia de agua subterránea, habrá que estimar comparativamente si es más conveniente tomar medidas adecuadas para impermeabilizar la solera o bien drenar el terreno.

Por consolidación del suelo

En suelos de arena y grava con gran afluencia de agua subterránea, la consolidación de los mismos puede resultar económica y ventajosa no sólo para el sostenimiento de la excavación (véase página 13) al elevar la resistencia del terreno, sino para impermeabilizar el fondo. Esta consolidación es por otra parte compatible con otros tipos de cerco hermético de zanjas. El agua subterránea que se va acumulando en la excavación con este procedimiento se va extrayendo con bombas a medida que progresa la excavación.

Por hormigón bajo el agua

También es posible ahorrarse los costes que implica el agotamiento del agua si, tras ejecutar el cerco perimetral de la zanja, se procede a excavar y a sumergir en el agua una placa de fundación impermeabilizante, siempre y cuando, de todos modos, haya sido propuesto este tipo de cimentación.

A medida que crece la profundidad de empotramiento aumenta también, a causa del empuje y de la presión del agua, el espesor necesario de la placa de fundación (inversión de la carga), por lo cual este procedimiento se aplica ante todo en caso de pequeñas superficies o de sólo una moderada inmersión en el agua.

Cuanto mayor es la altura de agua, es decir, la inmersión en el agua subterránea, tanto más gruesa debe ser la capa de hormigón a colocar. Esto es válido para toda clase de cimentaciones sumergidas, expuestas al empuje del agua, independientemente de las cargas de la construcción y de la resistencia del terreno. Al hormigonar bajo el agua hay que tener en cuenta especialmente:

- que no penetre en la zanja ninguna corriente de agua, lo cual presupone la ejecución de un cerco estanco alrededor de aquélla;
- que el nivel del agua subterránea dentro y fuera del terreno de la excavación tenga igual altura, pues de lo contrario la corriente que se produciría deslazaría el hormigón y arrastraría el aglomerante;
- que el hormigón no tenga que caer o descender libremente en el agua, sino protegido por embudos, tolvas, cucharas o tubos que lo dejen depositado en el nivel debido;
- que la masa de hormigón, gracias a una adecuada composición granulométrica de los áridos y a la adición de una dosis suficiente de aglomerante y de materias que favorezcan la compacidad, resulte lo más compacta e impermeable posible;
- que el agua, en la excavación, no sea extraída con las bombas hasta tanto que el hormigón haya fraguado y su endurecimiento sea suficiente.

Clases de cimentaciones

A través de las cimentaciones son transmitidas las cargas de la obra construida a terreno firme. Según la situación de este terreno firme con respecto a la base de la edificación es preciso ejecutar cimentaciones someras o cimentaciones profundas.

Cuando una obra descansa directamente sobre terreno firme es posible edificarla sobre una cimentación somera. Cuando, por el contrario, sólo se encuentran capas de terreno firme de suficiente espesor a cierta profundidad, las cargas de la obra deben transmitirse a dichas capas a través de una cimentación profunda. Si no es posible alcanzar capas de terreno firme mediante recursos económicamente sostenibles, la única solución que queda, y también la más cara, es la llamada cimentación flotante. Esto deja bien claro de qué forma tan acusada inciden sobre los costes de cimentación la naturaleza del terreno y la carga del edificio, y por qué a causa de ellos en muchos casos puede llegarse a poner en tela de juicio el lugar del emplazamiento e incluso el propio proyecto.

Materiales para cimentaciones

Los bloques de cimentación se encuentran bajo la acción permanente de la humedad y en muchos casos bajo la acción de sustancias químicamente agresivas. Para cimientos sencillos se emplean principalmente hormigón apisonado (a profundidad sin peligro de congelación), bloques de hormigón ordinario, piedra natural, ladrillo muy bien cocido, clinker y bloques de cal y arena. Las obras de fábrica de ladrillo ordinario (MZ 100 y MZ 150) "se pudren", es decir no se conservan bien con la humedad. Los aglomerantes que se emplean tienen que ser hidráulicos, porque tienen que fraguar y endurecerse bajo la acción de la humedad y, con frecuencia, dentro de agua. Cuando se trata de mampostería u obra de fábrica con una humedad normal, basta un mortero de cal hidráulica o de cal y cemento. Para trabajos debajo del agua solamente debe emplearse mortero de cemento solo (cemento portland).

Cimentaciones someras

Con excepción de la roca, la capacidad de carga del terreno es por lo común inferior a la del material de construcción sustentante. Por este motivo es preciso repartir sobre una mayor superficie de terreno la carga de la obra a soportar mediante ensanchamientos en forma de zapatas o losas de cimentación.

situadas debajo de los muros y la estructura sustentante. A causa de ello se las llama, además de "cimentaciones planas", "cimentaciones de superficie".

Según las condiciones del terreno, la estructura de la obra y la carga que representa, para la transmisión de la carga a terreno directamente alcanzable cabe distinguir las siguientes cimentaciones someras:

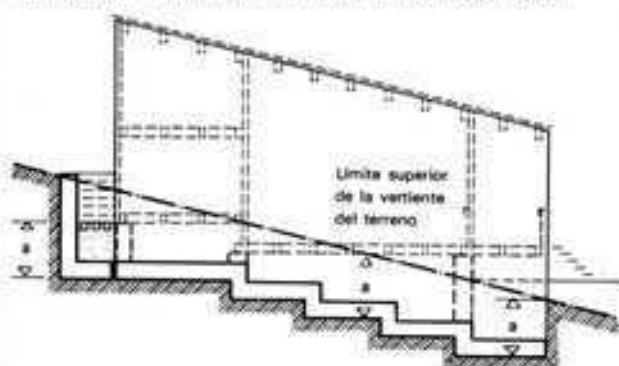
- Cimentaciones en fajas, bajo muros.
- Cimentaciones aisladas, debajo de pies derechos y máquinas.
- Cimentaciones en forma de losas o placas y emparrillados para mejorar la repartición de las cargas.

Base de la cimentación

En la ejecución de la base de las cimentaciones someras hay que tener presente:

La base no debe quedar expuesta a heladas, es decir, que según las condiciones locales de peligro de que se produzcan tiene que enterrarse por lo menos de 80 a 150 cm por debajo el nivel del terreno. Durante el período de construcción correspondiente es preciso, en casos dados, tomar medidas especiales de aisla-

PROFUNDIDAD DE CIMENTACIÓN MÍNIMA EXENTA DE HELADAS INDEPENDIENTE DEL TERRENO Y DE LA FORMACIÓN DEL SUBSUELO.



miento en la zanja excavada y todavía por llenar. La base de cimentación es normalmente horizontal; sólo cuando sobre la obra actúan esfuerzos horizontales importantes se inclina perpendicularmente al esfuerzo resultante de las cargas, con objeto de elevar la seguridad al deslizamiento (muros de contención). Sobre un terreno en pendiente es posible escalonarla, con objeto de reducir la excavación, siempre que ello permita la utilización del sótano. Lo propio es válido también cuando el suelo firme no está dispuesto horizontalmente debajo del terreno.

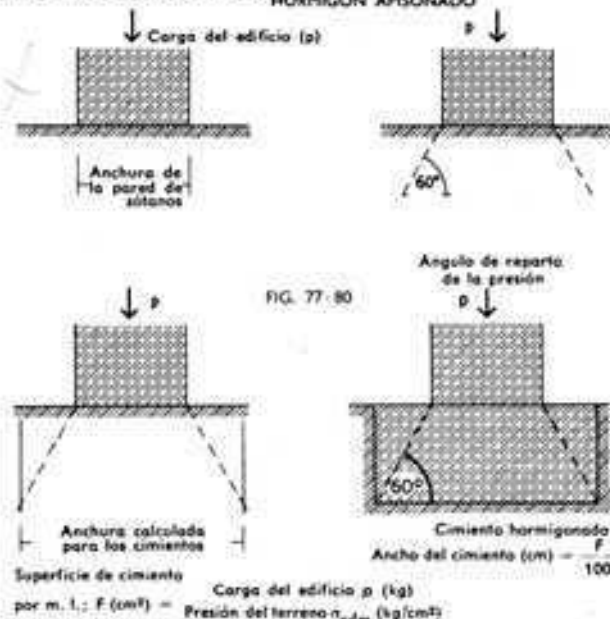
Por regla general se dispone debajo de la base de la cimentación propiamente dicha una capa "de limpieza" de 5 a 10 cm de espesor por ejemplo, hormigón magro, capa plana de ladrillos o vertido compactado de arena y gravilla, como seguridad contra el debilitamiento de la sección y el ensuciamiento procedente del terreno.

Cimentaciones en fajas y en bloques aislados

Las cimentaciones en fajas se aplican normalmente a muros, y las en bloques aislados a pies derechos. Las secciones pueden ser rectangulares, escalonadas o estrechadas cónicamente. La anchura de los bloques de cimientos está en relación con la carga que han de soportar, la resistencia a la compresión del material y la presión admisible sobre el terreno (DIN 1054). De todos modos, hay que tener en cuenta las profundidades de cimentación, las superficies edificadas, el asiento admisible, etc., tal como se trata con detalle en "Presión admisible sobre el terreno". Cuando la anchura necesaria para los cimientos es conocida, la altura de los bloques de cimentación se determina como sigue:

El ángulo de reparto de las presiones en la obra de fábrica hecha con mortero de cemento y cal en la obra de hormigón apisonado es $= 60^\circ$; en la obra hecha con ladrillos de cal y arena (silicocal-

DETERMINACIÓN DE LA ALTURA DE LOS CIMIENTOS DE HORMIGÓN APISONADO



cáreos) y mortero de cemento portland, $= 45^\circ$. Por razones prácticas se adopta como altura mínima de los cimientos de hormigón la de 30 cm aproximadamente (que viene a ser la de una capa apisonada).

Para alturas mayores de cimientos se da forma escalonada a las caras de los mismos, teniendo en cuenta el ángulo de reparto de las presiones.

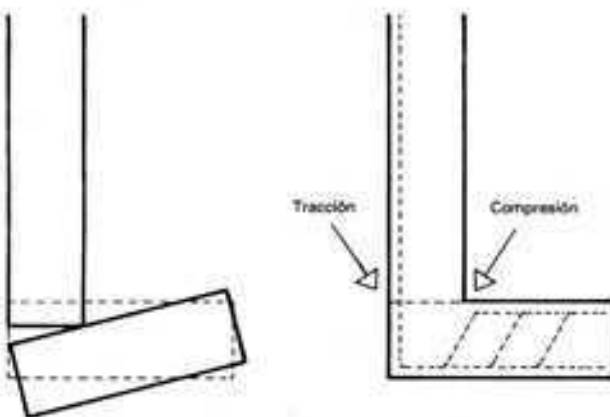
Los cimientos de hormigón apisonado, la mayor parte de las veces pueden hormigonarse sin necesidad de encofrado. Se cortan bien verticales las paredes de las zanjas de cimientos y se va hormigonando por capas no mayores de 30 cm. Si las paredes tienden a desmoronarse o bien en el caso de tener que escalonar los cimientos es preciso usar encofrados.

Es posible un ligero ensanchamiento de los cimientos, si el terreno es firme, introduciendo la obra por debajo. El escalonamiento en el caso de fábrica de ladrillo macizo se hace a 45° . Cuando, a pesar del escalonado, el bloque de cimientos resulta demasiado grande todavía, serán más económicas las placas o losas de cimentación.

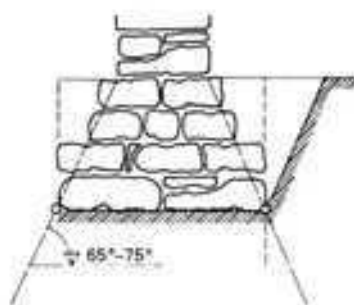
Los cimientos hechos según fajas, no es necesario que tengan que descansar, en toda su longitud, a la misma profundidad si el terreno de cimentación que ha de soportar las cargas presenta desigual comportamiento superficial; en tales casos pueden hacerse escalonamientos verticales en la cimentación.

Quando los trabajos de cimentación tienen que interrumpirse, es conveniente cortar en escalones la junta vertical con objeto de lograr un buen enlace, además de colocar algunos hierros de

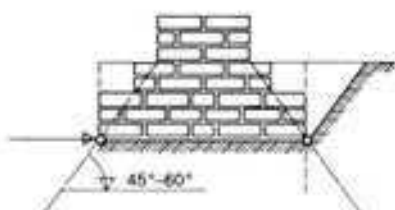
EN CASO DE CARGA EXCÉNTRICA SOBRE LA CIMENTACIÓN, UNIÓN RESISTENTE A LA FLEXIÓN CON LA PARED QUE DESCANSA SOBRE SU EXTREMO



Fábrica de mampostería con mortero hidráulico de cal o cemento

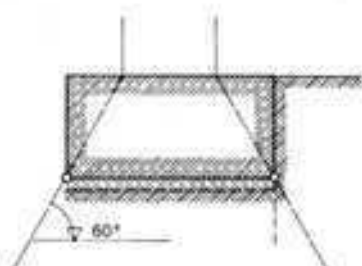


Fábrica de ladrillo normal o recocido con mortero de cemento.
Como mínimo 5 hiladas en lecho de mortero

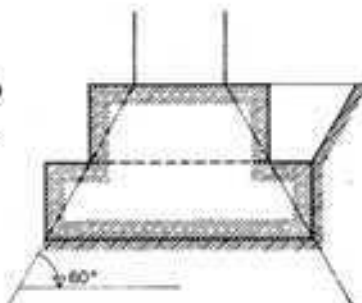


Hormigón apisonado Bn 50 o Bn 100 sobre terreno firme

Capa de limpieza, por lo general sólo en caso de hormigón armado

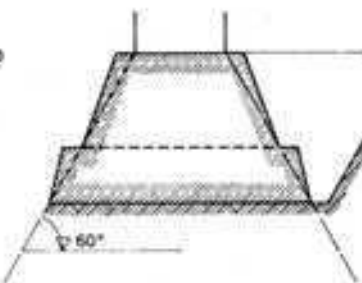


HORMIGÓN APISONADO ESCALONADO PARA CIMENTACIONES DE GRAN ALTURA



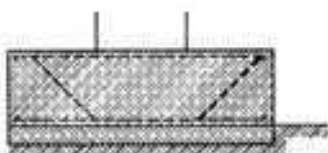
HORMIGÓN APISONADO ACHAFLANADO

Ancilar el encofrado contra el empuje hacia arriba



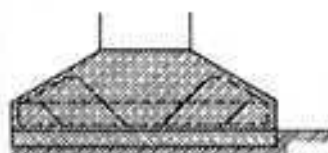
PLACA O LOSA DE HORMIGÓN ARMADO

Capa de base según DIN 1045



HORMIGÓN ARMADO ACHAFLANADO

Dimensionado y armado según la masa mínima posible estáticamente.



armadura. Antes de reanudar el hormigonado se limpian las superficies de unión y se embadurnan con lechada de cemento. Las cimentaciones que sobresalen de la obra por un solo lado deben estar siempre unidas de forma rígida a la flexión con la pared que descansa sobre su extremo, con objeto de prevenir todo posible ladoo y con él el peligro de asentamientos a causa de una desigualdad de tensiones en la solera.

Por lo demás, uniendo todas las fajas de cimentación formando un emparrillado y enlazando éste con los muros de hormigón armado que van encima se puede aumentar la rigidez, con el fin de forzar unos asentamientos uniformes.

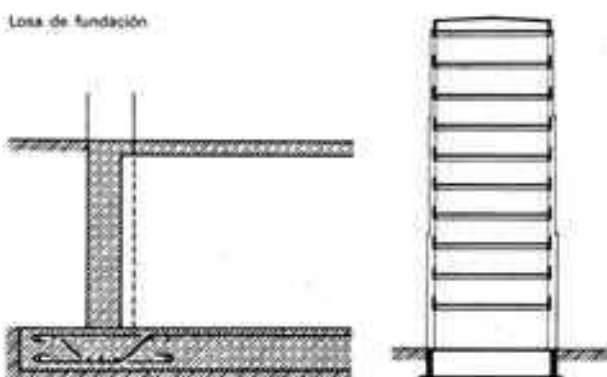
Cimentos de losas o placas

Se usan:

cuando la base de cimientos calculada resulta de tal anchura que la transmisión de la carga vertical a 45° (para la distribución uniforme sobre el terreno) implica una profundidad excesiva; cuando son previsibles asentamientos irregulares por ser el terreno de estratificación desigual;

cuando hay que construir un edificio en terreno flojo de gran espesor y una cimentación sobre pilotes rígidos implicaría un gasto excesivo por la exagerada longitud de los pilotes. Es posible reducir el asiento con una cimentación de placa o zameado sobre un emparrillado de pilotes flotantes.

Losa de fundación



Con este tipo de cimentación, la carga total del edificio se reparte sobre una placa de hormigón armado que la transmite a la superficie total del terreno y de este modo pueden evitarse o reducirse asentamientos importantes y desiguales.

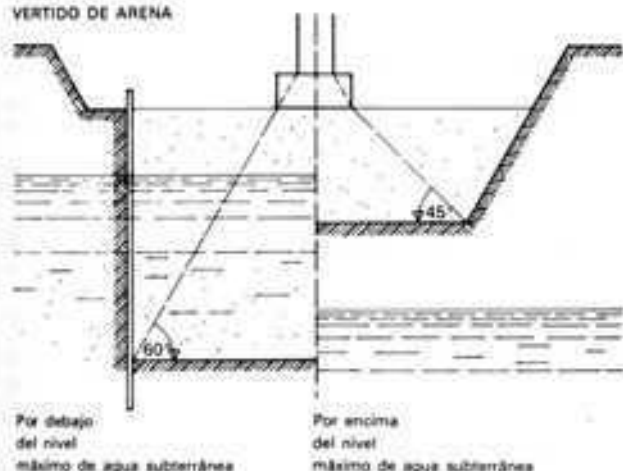
Mientras exista en las edificaciones el peligro de que puedan producirse asentamientos a consecuencia de haber cedido alguna capa blanda del terreno situada inmediatamente debajo de la obra, con tendencia a escurrirse lateralmente, puede alcanzarse cierto grado de seguridad hincando un recinto de tablestacas ensambladas.

Las placas o losas de cimentación, en contraposición a las de forjado, llevan una armadura principal en la parte superior para contrarrestar la contrapresión del terreno y el empuje del agua subterránea, y una armadura inferior, debajo de las paredes portantes y pies derechos, para excluir en lo posible la producción de flechas desiguales. Mayores luces exigen mayores espesores de losa o bien la colocación en la parte superior de nervaduras de rigidización. Se consigue la máxima rigidez con poco consumo de material procediendo de modo análogo a los forjados de piezas huecas, es decir, envolviendo en hormigón un sistema de piezas huecas o piezas de relleno.

Vertidos de arena, grava y piedra

En aguas subterráneas, suelos pantanosos u otros terrenos no resistentes con componentes perjudiciales para el hormigón, puede conferirse al terreno mayor firmeza o reducirse la profundidad de cimentación propiamente dicha mediante un vertido de arena, grava o piedra.

Se excava la porción de terreno inadecuado y se reemplaza por el vertido o relleno. En terreno blandos y en caso de agua subte-



ranea es preciso proteger previamente el vertido de todo desplazamiento lateral mediante tablestacados. Los vertidos de piedra en bruto en terrenos pantanosos y en agua al descubierto se hunden por su propio peso hasta encontrar un fondo resistente.

Cimentaciones profundas

Cuando el terreno firme para cimentar se halla a mucha profundidad se tratará previamente de llegar a esa capa por medio de pilotes o de pozos. Al cimentar sobre pilares, que es un tipo de cimentación muy antiguo, la excavación y entibación de las zanjas y pozos, así como la construcción de los pilares, ocasionan elevados gastos. Por consiguiente, hoy día se prefiere la cimentación sobre pilotes o mediante pozos.

Cimentación sobre pilotes

Se diferencian en esta clase de cimentación dos tipos: la cimentación rígida (que puede ser de primer orden o de segundo orden) y la cimentación flotante.

En la cimentación rígida de primer orden, las puntas de los pilotes se clavan en una capa de terreno firme, por debajo de la cual no hay ya más capas de terreno blando o flexible. Este tipo de cimentación es la mejor y más segura de todas las cimentaciones sobre pilotes. Las fuerzas de sustentación actúan principalmente sobre la punta del pilote (pilotes de punta comprimida), y en cuantía mucho menor mediante el rozamiento de la superficie lateral del pilote con el terreno.

Se dice que una cimentación sobre pilotes es flotante cuando los pilotes no se apoyan sobre ningún terreno firme, sino que permanecen sostenidos sólo por el rozamiento en capas de terreno fuertemente compresibles. En esta clase de cimentaciones hay que contar siempre con asentamientos de larga duración. Por ello se deben hincar los pilotes lo más profundamente posible en el terreno blando. La experiencia demuestra que los pilotes cuya longitud es menor que la anchura de la obra no soportan su carga.

Las cimentaciones con pilotes flotantes deben evitarse si es posible. De todos modos se emplean cuando las capas blandas se vuelven más firmes y resistentes a medida que crece la profundidad, con lo cual cabe esperar asentamientos más reducidos que en caso de una cimentación somera.

Dimensionado de cimentaciones sobre pilotes

Extracto de la DIN 1054:

5.2.1. Las cimentaciones sobre pilotes deben dimensionarse generalmente de modo que las cargas verticales de la obra sean transmitidas al terreno sólo a través de los pilotes. Las cargas horizontales importantes pueden contrarrestarse, no sólo inclinando los pilotes (pilotes inclinados, grupos de pilotes), sino también mediante dispositivos de anclaje puestos de plano (como por ejemplo pilotes, placas o muros de anclaje) y, en casos especiales, dando a los pilotes una configuración rígida a la flexión. A este respecto hay que tener en cuenta todos los posibles sentidos de desplazamiento horizontales.

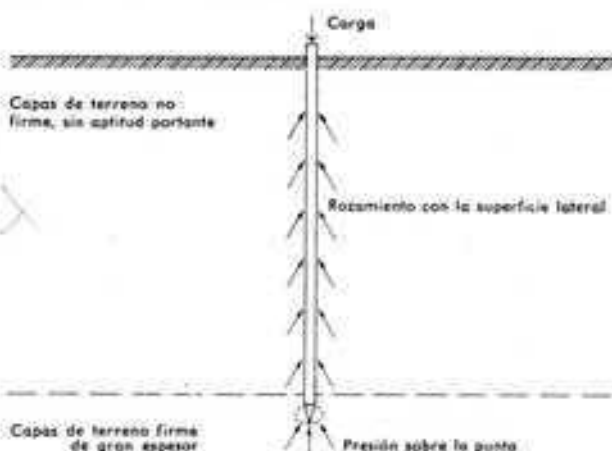
5.2.3. En caso de grupos de pilotes, la suma de los esfuerzos de compresión no debe constituir para el terreno una carga superior, por término medio, a la que sería admisible para una cimentación somera situada a la profundidad competente para contrarrestar dichos esfuerzos.

A este respecto la resistencia del terreno bajo la punta de los pilotes debe estimarse de acuerdo con las directrices que figuran en los apartados 3 y 4.

5.2.5. Los pilotes de cimentación deben cargarse preponderantemente en la dirección de su eje. Hay que comprobar la transmisión de las cargas de la obra a los pilotes. Las uniones deben configurarse cuidadosamente.

5.2.7. Los pilotes deben estar hincados a profundidad suficiente y en terreno firme (por ejemplo, en caso de terreno de grava y arena en capas semicompactas o compactas bastan en general unos 3 m), a menos que por otros motivos no sea necesaria una mayor profundidad de hinca o bien, en terrenos muy compactos o firmes, baste o sea recomendable una más pequeña.

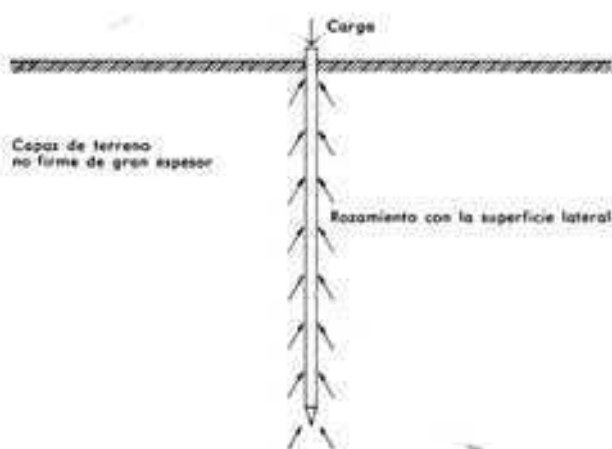
CIMENTACIÓN RÍGIDA DE PRIMER ORDEN



CIMENTACIÓN RÍGIDA DE SEGUNDO ORDEN



CIMENTACIÓN FLOTANTE



Debe procurarse que la profundidad de cimentación sea lo más regular posible. Si no se puede evitar un escalonamiento de pilotes contiguos en cuanto a profundidad, los pilotes más profundos deben hincarse antes de los menos profundos.

5.2.10. Los pilotes aislados deben estudiarse con respecto a su seguridad contra el pandeo, para lo cual las longitudes expuestas a pandeo y las condiciones de apoyo deben tomarse correctamente. Incluso las capas de terreno pastosas contribuyen a impedir el pandeo.

5.3. Influencias determinantes sobre la resistencia de los pilotes

La resistencia de un pilote depende la clase de terreno y de sus propiedades, de la existencia de agua subterránea, de la longitud de hincia en las capas firmes, del espesor de las capas de cubierta, de la forma y superficie de la sección del pilote, del material del pilote, del estado de la superficie lateral y de la configuración de la punta del pilote, de la posición del pilote y de la distancia a los demás pilotes, así como de la manera de hincarlo.

También es preciso tener en cuenta, según el caso, las influencias del tiempo, del rozamiento negativo lateral, de la carga lateral por unidad de superficie y de la sollicitación dinámica.

5.3.1. Influencia del tiempo

La capacidad sustentante de pilotes hincados, a la cual contribuye de modo preponderante el rozamiento lateral, puede aumentar todavía mucho tiempo después del hincado, especialmente en terrenos de arena fina, limosos o arcillosos.

5.3.2. Rozamiento negativo lateral

Un pilote puede quedar sometido a una sollicitación adicional a causa del rozamiento negativo lateral, cuando las capas superiores del terreno se asientan. La acción del rozamiento negativo sobre la obra puede disminuirse dando la correspondiente configuración a los pilotes y eligiendo mayores distancias entre ellos.

5.3.3. Influencia de la carga lateral específica

Si en las proximidades de una cimentación de pilotes se dispone irregularmente sobre una capa de terreno blando, por encima del subsuelo firme, una carga de cierta extensión superficial (algo así como un terraplén), pueden propiciarse movimientos horizontales del terreno blando. En tal caso los pilotes quedan además sometidos a flexión.

5.3.4. Influencia de sollicitaciones dinámicas

Oscilaciones o trepidaciones importantes pueden provocar una disminución de la capacidad portante de los pilotes o un aumento de los asentamientos.

5.4. Carga admisible sobre pilotes deducida de ensayos

Caso de no disponer de resultados comparativos que sirvan de orientación, los pilotes que trabajan a compresión se someterán a ensayos de carga siempre que:

- deban sostener una carga superior a la que toleran las normas sobre carga admisible de los pilotes de hincia (DIN 4026) o de los pilotes de perforación (DIN 4014);
- el terreno firme no esté formado por lo menos de un espesor suficiente de terreno no coherente en capas lo bastante compactas, o de terreno coherente aproximadamente semiduro;
- al hincar los pilotes a la profundidad prevista surjan dudas en cuanto a su capacidad portante.

La resistencia de los pilotes que trabajan a tracción y de los pilotes de anclaje debe verificarse siempre —prescindiendo de casos de exigua sollicitación— mediante cargas de ensayo (según DIN 4014 y DIN 4026). Constituyen una excepción los pilotes hincados que trabajan a tracción, según DIN 4026.

5.5. Partiendo de valores experimentales

Cuando las condiciones del terreno no son complicadas y se trata de tipos de pilote frecuentemente usados, son válidas las cargas que figuran en DIN 4014 (pilotes de perforación) y en DIN 4026 (pilotes hincados).

En cimentaciones sobre roca, las presiones calculadas para las superficies sustentantes del pilote pueden sobrepasar los valores de la tabla 7 (véase página 8) hasta en un 100%. Dentro de lo posible el pilote debe hincarse por lo menos 0,5 m en la roca.

5.6. Partiendo de procesos de cálculo

La carga admisible sobre pilotes no puede determinarse en general con auxilio de procesos de cálculo empíricos o basados en la Mecánica del Suelo.

Sólo pueden admitirse sistemas empíricos cuando están acreditados a la luz de experiencias locales realizadas bajo presupuestos exactamente establecidos o pueden considerarse como fidedignos por comprobación mediante cargas de ensayo.

Para fórmulas relativas a hincado, véase DIN 4026, sección 9.2.

5.7. Partiendo del comportamiento de los asentamientos

Al dimensionar los pilotes hay que tener presente que el asiento de un grupo de pilotes puede ser mayor que el de un pilote aislado, a igualdad de carga en cada pilote. Por consiguiente, la carga unitaria admisible para los pilotes de un grupo puede ser más reducida que la aplicable a un pilote aislado.

En cimentaciones sobre pilotes flotantes, los asentamientos se producen lentamente. Lo propio sucede, si bien en menor escala, en cimentaciones de pilotes rígidos sobre terrenos cohesivos de consistencia aproximadamente semidura y de elevada plasticidad. En consecuencia, el ensayo de carga del pilote no da en tales casos, habida cuenta de la duración corriente del mismo, ningún indicio suficiente sobre la magnitud de los asentamientos que cabe esperar transcurrido un tiempo mayor. El ensayo de carga debe complementarse entonces mediante un cálculo de los asentamientos producidos en las capas comprensibles del terreno cargadas por el pilote o el grupo de pilotes, de igual modo que se procede con las cimentaciones someras.

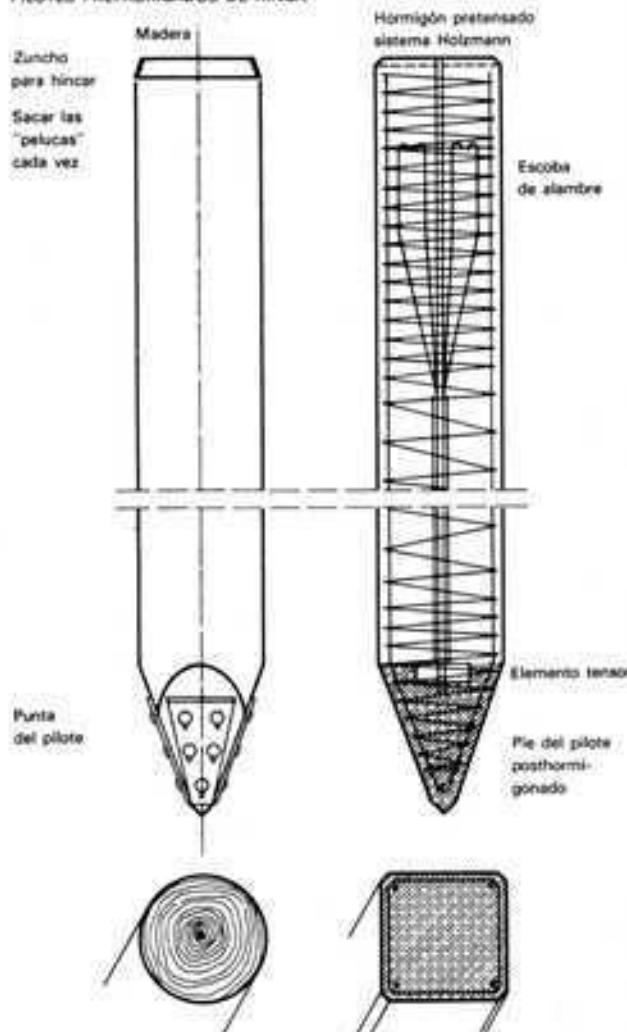
Confección de pilotes

Según la manera de confeccionarlos o fabricarlos, los pilotes pueden ser prefabricados y hormigonados en obra.

Pilotes prefabricados

Los pilotes de madera de los palafitos constituyen la forma más antigua de pilote prefabricado. Actualmente se construyen por regla general pilotes de acero o de hormigón armado de elevada capacidad sustentante y muy resistentes a la putrefacción y al ataque de parásitos, los cuales se hincan a golpes o a presión, se introducen al chorro de agua o se atornillan en el terreno. Las trepidaciones producidas al hincar pilotes con el martinete pueden provocar asentamientos y grietas en edificaciones o vías férreas vecinas. Las hincas de pilotes deben ir precedidas de perforación.

PILOTES PREFABRICADOS DE HINCA



raciones de exploración hechas con todo cuidado para precisar la posición exacta de las capas firmes del terreno que quedarán debajo de las edificaciones que hay que construir. Si no se conocen bien todas las irregularidades de la capa de cimentación, hay que contar con que no todos los pilotes llegarán a apoyarse en el terreno firme y en consecuencia habrá que lamentar luego asentamientos nocivos para la obra. La cimentación sobre pilotes está también condenada al fracaso cuando las puntas de los pilotes tropiezan con grandes trozos de roca o con capas duras intermedias de escaso espesor.

Pilotes de madera

En la actualidad sólo rara vez se emplean. Tienen el inconveniente de que es preciso que queden siempre sumergidos en agua si se quiere evitar la putrefacción de la madera. En cambio, en esas condiciones son de gran duración, como lo prueban obras hechas hace siglos, cimentadas sobre pilotes de madera. Hace sólo algunos decenios que se han producido deterioros en esas cimentaciones por causa del descenso del nivel del agua subterránea.

Pilotes de acero

Raras veces se recurre a su empleo a causa de su elevado coste. Como secciones se emplean normalmente tablestacas de doble pared (perfil Peiner, perfil de cajón) o tablestacas de pared sencilla.

Pilotes de hormigón armado

Pueden soportar más carga que los de madera y tienen, como los de acero, la ventaja de que la profundidad de su introducción en el terreno no depende en manera alguna del nivel de la capa de agua subterránea. Se fabrican macizos o huecos y en diferentes longitudes. Únicamente hay que tener en cuenta el peligro del pandeo cuando están hincados en terrenos de fango, pantanosos o de naturaleza blanda parecida. Con los pilotes de hinca de hormigón armado existe el peligro de que por el transporte y la hinca se formen grietas capilares por las cuales pueden penetrar agua ácidas o salinas capaces de corroer las armaduras. Para aminorar el riesgo de grietas durante los procesos de transporte e hinca, los pilotes suelen construirse hoy día de hormigón pretensado; cuando se trata de grandes dimensiones se prefabrican huecos, y en varias piezas. Así, por ejemplo, en la cimentación del puente de Maracaibo se utilizaron pilotes huecos de hasta 60 m de longitud, con un diámetro exterior de 91,4 cm.

Pilotes hormigonados en obra

Se ejecutan, por el contrario, en el propio terreno, en un agujero previamente practicado por medio de hinca o perforación. Ofrecen ante todo la ventaja de poder ajustar sus dimensiones de acuerdo con la resistencia a la hinca o con el estado de las capas perforadas; por otra parte, queda suprimido el difícil transporte de los pilotes prefabricados.

Los diferentes sistemas de fabricación de estos pilotes tienden a conseguir un aumento de la capacidad portante:

- Mejora de la capacidad portante del terreno situado debajo de la punta del pilote por compactación o consolidación.
- Fresado de una zapata.
- Inyección del hormigón de relleno a alta presión para crear una zapata y una superficie lateral de pilote abotagada, con lo cual al propio tiempo queda compactado el terreno circundante.

Gracias a la zapata y a la presión ejercida por el pozo del pilote contra el terreno se obtiene la posibilidad de utilizar pilotes no solamente como elementos de apoyo, sino también como elementos pretensados aptos para tracción.

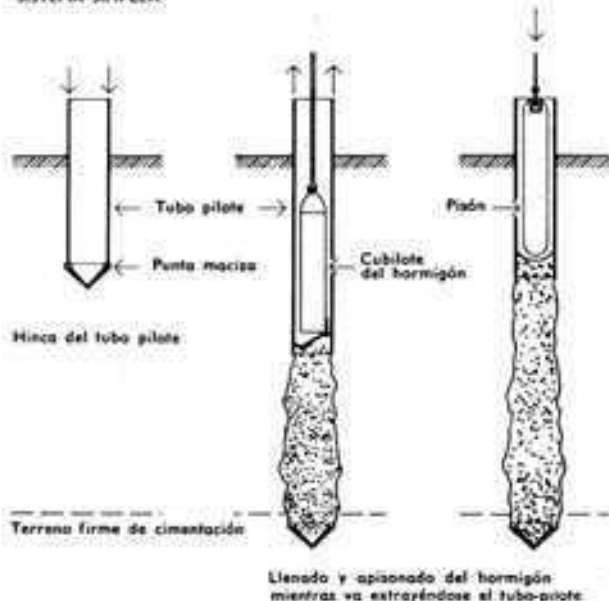
Pilotes hormigonados en obra hincados o introducidos a presión

A tal efecto se hinca a golpes o a presión un tubo funda provisto de punta de pilote o de tapón de hormigón, con lo cual se obtiene el agujero para el pilote y el sostén del terreno. Este queda entonces compactado bajo la punta del pilote y empujado lateralmente. Introduciendo finalmente hormigón apisonado en el hueco y tirando simultáneamente del tubo funda se logra un rozamiento periférico substancialmente mayor que el que proporcionan los pilotes prefabricados hincados.

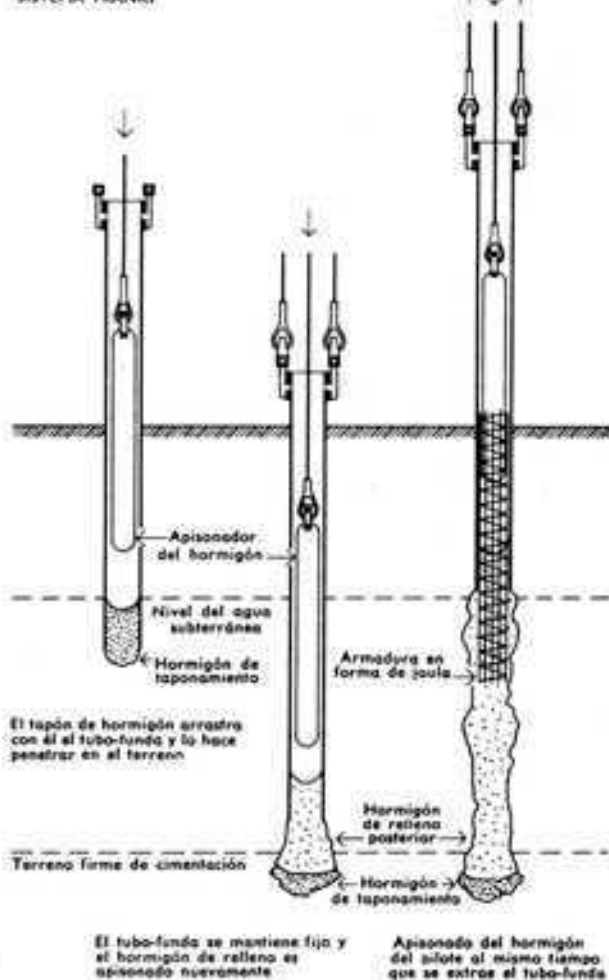
Pilotes de perforación o barrenados

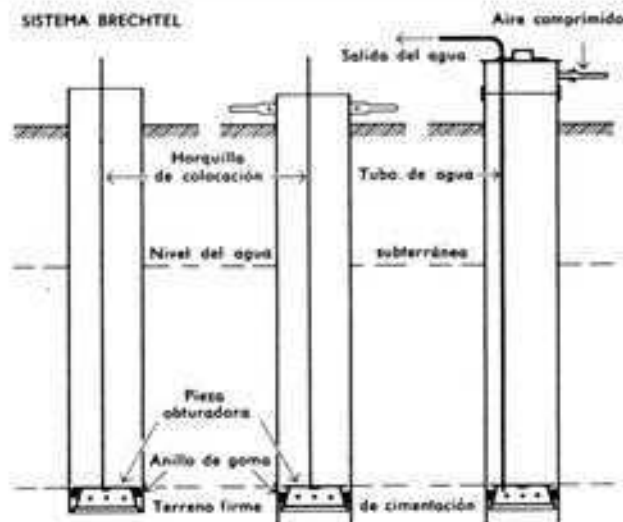
Con respecto a los pilotes de hinca, los pilotes de perforación hormigonados en obra ofrecen nuevas ventajas. Ante todo, sólo exigen como aparato de perforación un sencillo caballete trípode, sin necesidad de pesadas mazas. Se evita toda trepidación del terreno, por lo cual los pilotes de perforación pueden ser empleados en las inmediatas proximidades de los edificios. Mediante el empleo de aparatos perforadores especiales es, incluso, posible colocar pilotes en sitios de espacio limitado, como p.ej. en sótanos o bodegas para la construcción de cimentaciones basadas en ellos.

SISTEMA SIMPLEX.



SISTEMA FRANKI

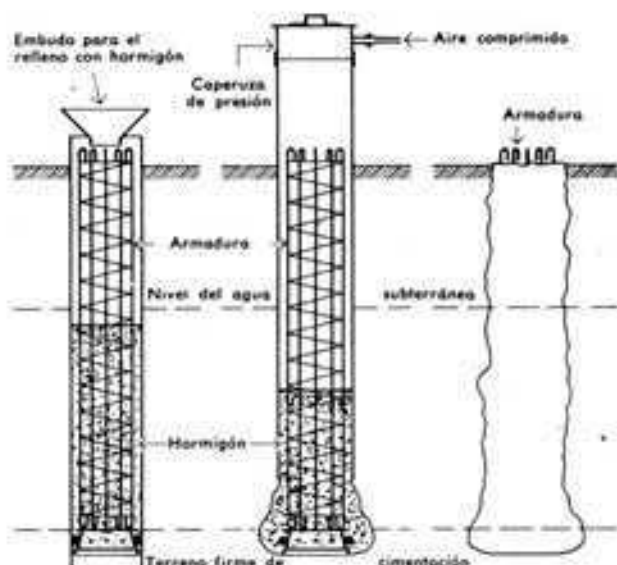




Colocación de la pieza obturadora cuando el tubo pilote ha sido introducido hasta el terreno firme de cimentación

Tracción sobre la pieza obturadora a fin de lograr una obturación perfecta del tubo pilote impidiendo la entrada de agua

Expulsión del agua por medio de aire comprimido



Colocación de la jaula-armadura y llenado con hormigón

Compresión del hormigón por medio de aire comprimido y levantamiento del tubo-pilote

Pilote de hormigón comprimido acabado

Mediante la perforación, las capas del terreno puede considerarse que siguen intactas y las longitudes de los pilotes correspondientes a ellas pueden ser determinadas con toda precisión. Los trozos de roca o las capas intermedias duras que en el terreno puedan existir no constituyen obstáculo alguno para los pilotes de perforación, ya que con las herramientas perforadoras adecuadas son fáciles de atravesar.

Igual que en las perforaciones de reconocimiento o sondeo, al efectuar perforaciones destinadas a pilotes se va también introduciendo, a medida que progresa en profundidad la cuchara excavadora o el elemento perforador, un tubo funda cuyo objeto es impedir que el agujero practicado se desmorone. A causa de la elevada resistencia de rozamiento que presentan las perforaciones para pilotes de gran calibre, se emplean con este fin dispositivos vibratorios, de percusión o bien hidráulicos (giratorios y de presión).

El empleo de un líquido tixotrópico de sostenimiento (véase página 12) hace innecesarias la introducción y posterior extracción de tubos funda, incluso en zona atravesada por aguas subterráneas. A causa de la rugosidad de la pared así obtenida, sin entubación alguna, y gracias al apisonamiento del hormigón vertido, se logra un notable rozamiento periférico. Sin embargo, y a pesar de esto, normalmente se hace un entubado por debajo del

nivel de aguas subterráneas. Entonces se vierte el hormigón mediante un embudo, siguiendo el procedimiento de hormigonado submarino, o bien se bombea el agua de la entubación durante el proceso de hormigonado.

En caso de pilotes de hormigón comprimido, tras la introducción de la armadura y la colocación de una caperuza de cierre se expulsa el agua del agujero por medio de aire a presión. Al propio tiempo el tubo funda es levantado y el hormigón se comprime contra la pared de la perforación, evitando que el terreno se desmorone y obstruya la sección del pilote.

Emparrillado de pilotes

El conjunto de pilotes dispuestos debajo de una obra se designa con el nombre de emparrillado de pilotes. Las cabezas de los pilotes soportan las cargas de la obra, sea directamente, sea a través de una estructura de cimentación que las distribuya. La armadura de los pilotes y la de los elementos que constituyen los cimientos (fajas, bloques aislados o losas) deben estar enlazadas. Si se emplean pilotes prefabricados de hormigón armado es preciso dejar con este fin al descubierto la armadura situada en la cabeza de los mismos, una vez acabados de hincar. Los pilotes deben colocarse de forma que sólo trabajen en la dirección de su eje, y no a flexión. Por regla general se disponen verticales debajo de las edificaciones; sin embargo, cuando son de gran longitud y los esfuerzos horizontales son importantes (más del 3% de las cargas verticales) se disponen también pilotes inclinados. Puesto que los esfuerzos horizontales, obtenidos al combinarse los debidos al viento, al empuje de tierras, a las sobrecargas, a la presión y a la circulación de agua, pueden ser variables, los pilotes inclinados suelen estar formados por pares en los que un pilote de compresión y otro de tracción están acoplados entre sí.

Exceptuando el caso de muros de pilotes, los pilotes deben disponerse a la máxima distancia posible uno de otro y, si están en hileras próximas, en posición alternada, con objeto de repartir con el máximo de uniformidad la carga en el terreno.

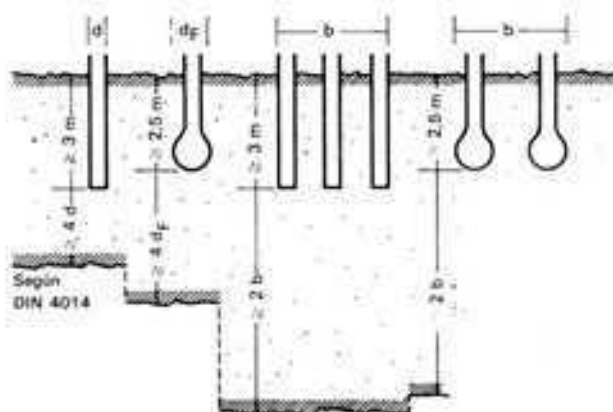
Pilotes barrenados de grandes diámetros

La evolución de la técnica de la perforación permite actualmente la construcción de grandes pilotes barrenados con diámetros de hasta 2,50 m, cuya capacidad portante es varias veces superior a la de todo un haz de pilotes (hasta más de 1000 ton). Por su ejecución deberían figurar más bien en el apartado sobre "cimentación en pozos" que como pilotes de perforación. Además de unos costes de fabricación sensiblemente más bajos por ton de capacidad portante, los pilotes de gran diámetro ofrecen también una mayor seguridad para absorber esfuerzos horizontales y momentos flectores.

Los tubos funda, de acero, van siendo hincados a medida que progresa la excavación por efecto de movimientos giratorios y

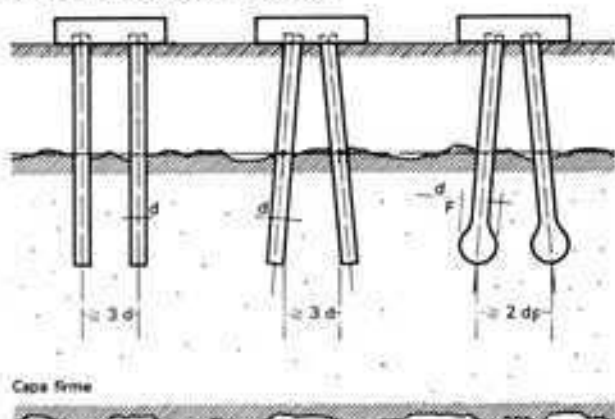
HIPÓTESIS SEGÚN DIN 4014

PROFUNDIDAD MÍNIMA DE HINCA DE PILOTES BARRENADOS EN CAPAS DE TERRENO FIRME



Espesor mínimo de capas de terreno firme debajo de los pilotes barrenados

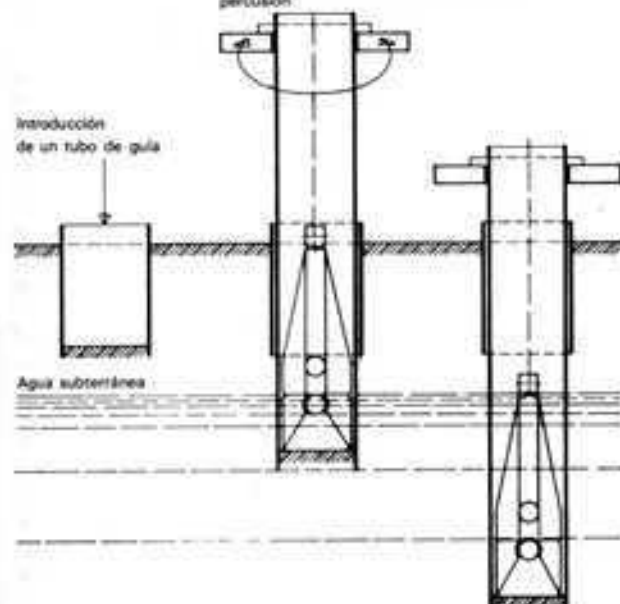
**DISTANCIA MÍNIMA ENTRE PILOTES BARRENADOS
(NO VÁLIDA PARA MUROS DE PILOTES)**



Cada firme

**SISTEMA HOCHSTRASSER-WEISE
PILOTES HW**

Hincado del tubo funda durante la excavación mediante vibradores giratorios de percusión



vibratorios debidos a dispositivos hidráulicos de palanca o a vibradores giratorios accionados mediante aire comprimido, los cuales eliminan momentáneamente el rozamiento periférico. El empleo de vibradores giratorios no exige ningún andamiaje o caballete, sino meramente un equipo de compresor y excavadora. Sin embargo, incluso recurriendo a protecciones sonoras son mucho más ruidosos que los dispositivos hidráulicos de guía y entubación a causa de las oscilaciones percusoras de válvula. La excavación se efectúa con dragas de cuchara, y en caso de terrenos duros, mediante pesados trépanos de caída libre; si hay penetración de agua y la granulación de la tierra es adecuada, se usan también bombas para la evacuación de escombros. El proceso de hormigonado y la extracción simultánea del tubo funda se realizan como en los pilotes barrenados ordinarios.

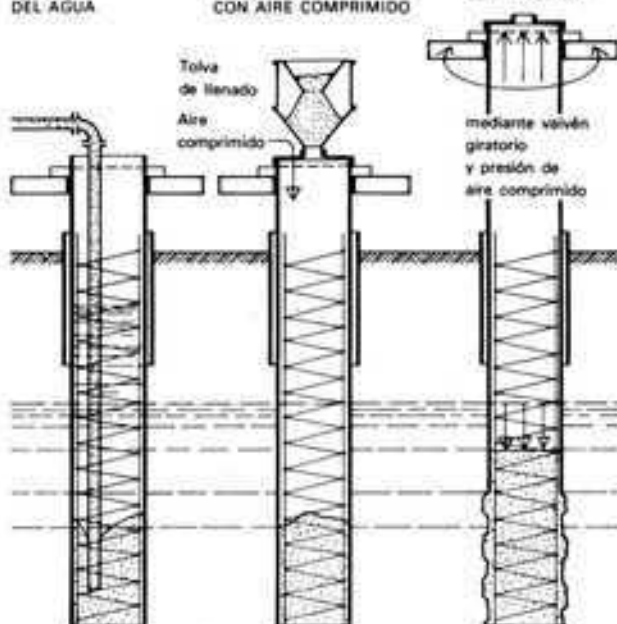
Cimentación en pozos

La cimentación en pozos excavados es un sistema antiguo de cimentación que en la actualidad, aun empleando otros materiales, todavía se utiliza en numerosas ocasiones. Así como, antiguamente, los pozos se revestían de obra de fábrica, hoy día se emplean cilíndricos huecos de hormigón armado o de acero. Los

**HORMIGONADO
DEBAJO
DEL AGUA**

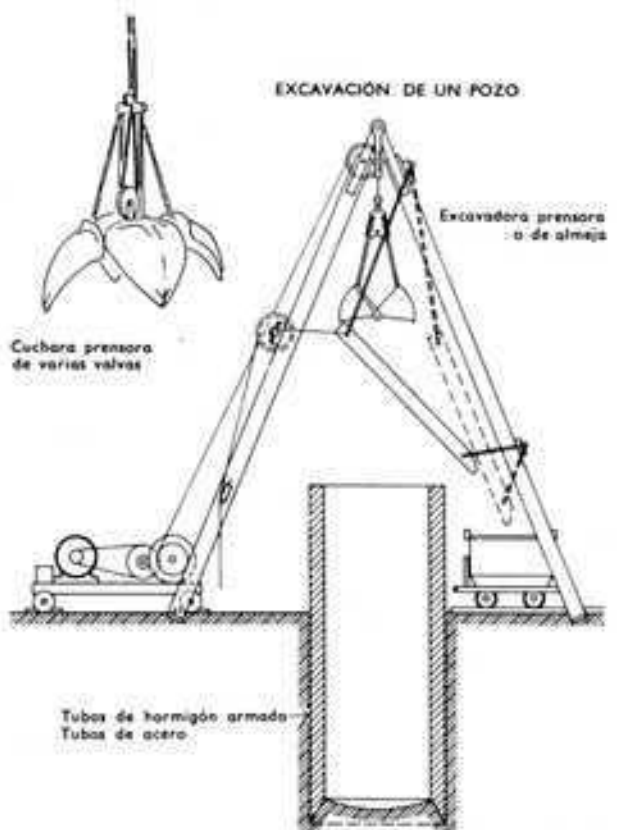
**O BIEN TRAS EXPULSAR
EL AGUA
CON AIRE COMPRIMIDO**

**Extracción
del tubo funda**



tubos de hormigón armado se introducen en el terreno hasta alcanzar las capas firmes, mediante las correspondientes perforaciones, y después se rellenan con hormigón apisonado. El consumo de acero es muy escaso, porque sólo se necesita armadura en los tubos de la envolvente y la cabeza del pilar como entace con las losas de cimiento colocadas encima. En cambio, el consumo de hormigón es grande.

La ejecución de pozos con tubos de acero, que a medida que avanza el proceso de hormigonado van siendo extraídos, es exactamente igual a la construcción de pilotes barrenados de gran diámetro (ver anteriormente).



Medidas de seguridad

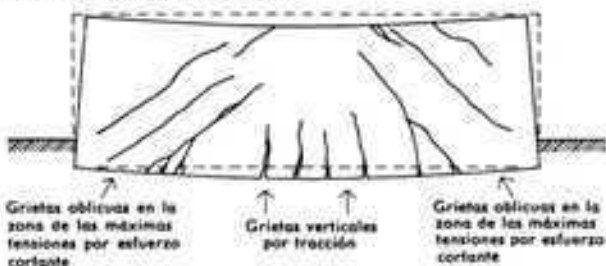
Para evitar daños causados por asentamientos, no sólo en los edificios a levantar, sino también en edificaciones ya existentes o próximas, resumimos a continuación todas aquellas medidas o precauciones relativas a la zona de cimentaciones de una obra y encaminadas a evitar o subsanar desperfectos.

Medidas protectoras contra los asentamientos perjudiciales

Cuando sean de temer fuertes asentamientos por causa de las elevadas cargas de los edificios construidos y de la escasa aptitud portante del terreno, la construcción de los cimientos variará según sea el espesor de la capa de este terreno poco firme. Si el estudio del terreno ha permitido comprobar que el terreno firme se halla ya a una profundidad de 1 ó 2 m, lo mejor es desmontar la capa superior y cimentar sobre firme a la profundidad correspondiente.

Si el terreno firme está a profundidad mayor es necesario considerar si, para evitar los fuertes asentamientos que podrían producirse, será mejor recurrir a una cimentación sobre pilotes o en pozos o bien a cimientos que descansen sobre losas o placas. La reducción de la presión sobre el terreno o, lo que es lo mismo, el aumento de la superficie de apoyo solamente da buen resultado cuando se trata de asentamientos claramente superficiales. En terrenos sin consistencia pueden evitarse esos fuertes asentamientos dando mayor compactación a esas capas de terreno o consolidándolas.

ACUMULACIÓN DE LAS PRESIONES BAJO LA PARTE CENTRAL DE LA OBRA



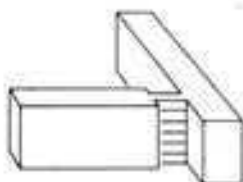
SUBDIVISIÓN DE UN CUERPO DE EDIFICIO POR MEDIO DE JUNTAS DE ASIENTO



DIVERSAS ANCHURAS DE LOS CIMIENTOS CUANDO HAY PRESIONES SOBRE EL TERRENO DE DIFERENTE MAGNITUD



EFFECTO DE LAS ARTICULACIONES ENTRE LOS CUERPOS DE EDIFICIO



Asiento independiente de cada uno de los cuerpos de edificio

Los terrenos de arena, gravilla o grava pueden ser mejorados en su compactación por medio de vibradores, hasta 1 m de profundidad, y por métodos de compresores vibratorios hasta unos 30 metros.

Es posible consolidar esos terrenos mediante la inyección de determinados productos químicos según los procedimientos del Dr. Joosten.

La arena fina o polvillo arenoso, la marga arenosa y el limo sólo pueden consolidarse eliminando el agua y cargándolos previamente.

En terrenos consistentes es posible reducir la importancia de los asentamientos construyendo lentamente a fin de que las partículas de agua incluidas tengan tiempo de irse escurriendo bajo la presión por abajo y por los lados.

La parte central de los cuerpos de edificio de forma alargada está expuesta a fuertes asentamientos como consecuencia de la adición o acumulación de las presiones; las partes extremas de dichos cuerpos de edificio ya no lo están en tanto grado. Para evitar los perjuicios ocasionados por los mencionados asentamientos existen las siguientes posibilidades:

Subdivisión del cuerpo de edificio en cuestión por medio de juntas de asiento. Las partes de la obra pueden entonces hacer su respectivo asiento por separado. Sin embargo, la formación de tales juntas es a veces muy difícil, porque han de tener mayor anchura todavía que las juntas de dilatación, si han de resultar eficaces en toda clase de circunstancias.

Las dimensiones en anchura de los cimientos, en lo que se refiere a las partes extremas de los edificios, se calculan a base de la presión admisible sobre el terreno en que hay que asentarlos. Por lo que se refiere a las porciones centrales se partirá de una presión algo menor, a fin de alcanzar el terreno iguales solicitaciones y un asiento del mismo orden.

La mejor solución consiste en interponer entre los diversos cuerpos de edificio articulaciones cuando resulta posible, como por ejemplo en las cajas de escaleras. Si a causa de las diferentes magnitudes de las cargas de las construcciones son de temer asentamientos desiguales en un terreno de capas uniformes, puede recurrirse a empezar las obras por aquellos cuerpos de edificios más pesados (siempre que se disponga de tiempo suficiente) y dejar que vayan haciendo su asiento antes de empezar a construir las demás partes de la obra con las que se han de enlazar. Si el tiempo disponible es demasiado corto para poder recurrir a esa solución, también es posible dimensionar las anchuras de los cimientos de acuerdo con las diferentes presiones sobre el terreno en los distintos cuerpos de edificios o disponer articulaciones entre los mismos.

Recalce de cimentaciones

Cuando es preciso construir los cimientos de una nueva edificación por debajo de la cimentación de unos edificios antiguos contiguos, hay que recalzar previamente los cimientos de estos últimos, es decir, ahondarlos hasta la profundidad de los nuevos o bien sostenerlos de forma permanente mediante una estructura adecuada. Como elementos de sostén se utilizan, según las circunstancias, tablestacados, muros pantalla, muros

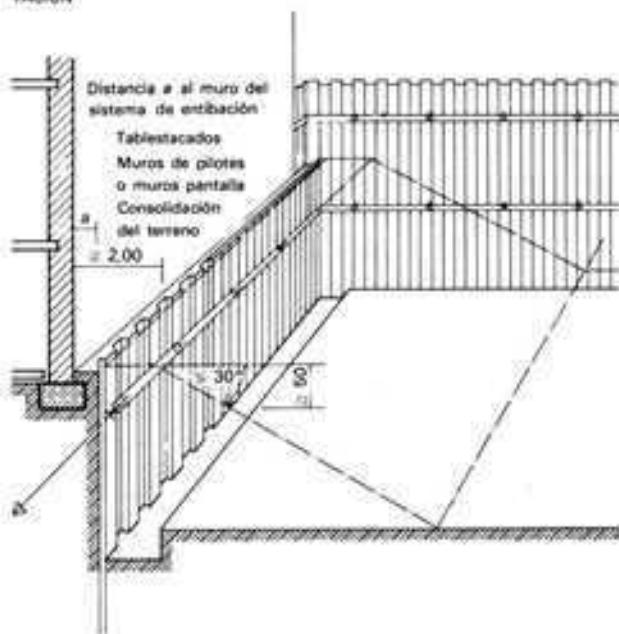
de pilotes barrenados, o consolidaciones químicas del terreno, si conviene reforzadas con anclajes, los cuales han sido ya descritos detalladamente en el apartado "Entibaciones" (pág. 10). Tanto si se ahondan los antiguos cimientos como si se sostienen mediante una estructura, debe procederse a un cálculo estático en el que, además de verificar la seguridad en cuanto a la rotura y estabilidad del terreno, se tendrán en cuenta posibles asientos de la edificación antigua a causa de superposición de presiones o de descensos eventuales del nivel de aguas subterráneas. Sin previo apuntalamiento no debe dejarse ninguna cimentación al descubierto a lo largo de toda su altura. Hay que dejar por lo menos hasta 50 cm por encima de la base una berma de 2 m de ancho, a partir de la cual puede rebajarse la altura según un bisel a 30°.

Para efectuar el recalce del muro se practican varias perforaciones espaciadas a lo largo del mismo, que se entiban si exceden de 1,25 m de profundidad, y luego se construyen macizos de hormigón o de fábrica de ladrillo sobre la nueva solera de cimentación. La longitud de cada tramo de recalce no debe exceder de 1,25 m, y la distancia entre dos tramos próximos tiene que ser como mínimo igual a 1,5 veces la profundidad de perforación necesaria.

Con objeto de reducir al mínimo el asiento posterior de cimentaciones recalzadas, es preciso presionar cada uno de los macizos contra el fondo de la antigua cimentación por medio de gatos hidráulicos o de cuñas. Entonces se empieza por atacar con hormigón la junta de unión; una vez el hormigón ha fraguado, se retiran los gatos hidráulicos y se rellena la abertura dejada por los mismos.

En caso de grandes profundidades de perforación y a causa del retraso en la ejecución de la obra que supone el recalce por tra-

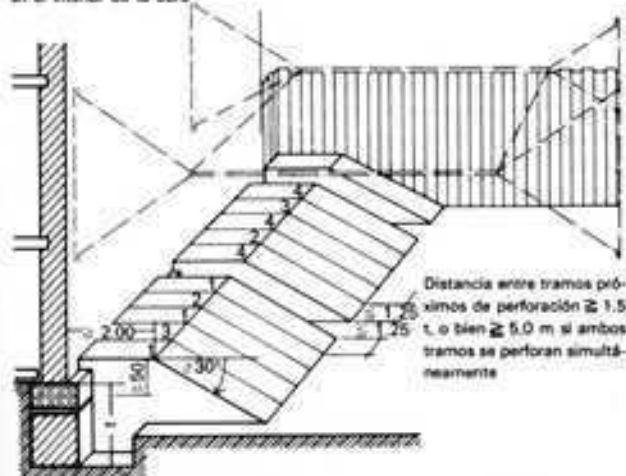
APUNTALAMIENTO DE UN MURO MEDIANTE ENTIBACIÓN RESISTENTE. EN CASO DE GRAN PROFUNDIDAD DE CIMENTACIÓN



mos, cuando el muro a recalzar debe a la vez apuntalarse se toman otras medidas: se construye una entibación resistente, que puede anclarse hacia atrás en el terreno, la cual hace innecesario todo recalce y deja el espacio de la zanja libre para movimientos. Tal entibación exige, no obstante, un importante equipo de maquinaria.

APUNTALAMIENTO Y RECALCE DE UN MURO YA EXISTENTE

Antes del recalce debe apuntalarse el muro o bien anclarse en el interior de la obra



Manera de asegurar un muro mediante tramos de recalce, en caso de escasa profundidad de cimentación

Medidas para subsanar asientos ya producidos

También se incluye aquí la seguridad de edificaciones en las que, en el transcurso del tiempo, se han producido asientos inesperados a causa de un exceso de carga sobre el terreno o de un descenso del nivel de las aguas subterráneas. Cuando una consolidación del terreno, una elevación del nivel hidráulico y una presión sobre la base de cimentación no promete éxito alguno, es preciso transferir la carga de la obra a capas más resistentes del subsuelo efectuando una cimentación suplementaria más profunda. De este modo pueden recalzarse obras edificadas tanto sobre cimentaciones someras como sobre cimentaciones profundas y eventualmente devolverlas de nuevo mediante prensas hidráulicas a la altura o al nivel primitivos.

Puesto que estos trabajos deben efectuarse siempre en circunstancias de limitación de espacio y, en lo posible, es preciso evitar vibraciones, sólo cabe el empleo de pilotes barrenados hormigonados en obra, que se disponen debajo del bloque de cimentación existente o bien junto a él. Las cargas de la obra se transmiten a las cabezas de los pilotes a través de unas vigas de recalce que allí se introducen. Para elevar la obra se disponen, como se ha dicho antes, prensas hidráulicas colocadas entre ella y el recalce, y las diferencias de alturas se compensan con un relleno de hormigón.

Protección de las obras

El hombre busca y encuentra protección en las obras que edifica. Pero debe a su vez protegerlas contra toda una serie de influencias perjudiciales y peligrosas.

La conservación de las edificaciones está amenazada exteriormente por:

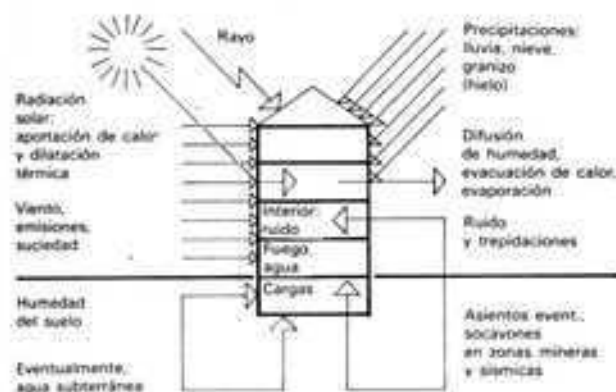
- los efectos de la intemperie
- las sustancias nocivas contenidas en el aire
- la humedad y el agua existentes en el subsuelo
- las trepidaciones y ruidos
- el incendio y la caída de rayos

En el interior de los edificios pueden producirse daños y molestias por:

- escapes o inundaciones de agua (procedente de instalaciones sanitarias o de la instalación de agua caliente)
- exceso de humedad en el aire ambiente y en varios elementos constructivos
- trepidaciones y ruidos en el propio edificio
- incendio y explosión

La aparición de nuevas necesidades y una enorme expansión en el mercado de la construcción, acompañadas de un acusado retroceso simultáneo en la capacidad de las nuevas generaciones de artesanos obligaron a racionalizar y tecnificar el proceso de la construcción. Así surgieron nuevos procedimientos, distintos de los tradicionales sancionados por el tiempo, pero también muy exigentes en cuanto a esfuerzo, y nuevos materiales, y con ellos el peligro de nuevas imperfecciones y nuevos daños. La prevención y eliminación de unas y otros compete a la Física de la Construcción. Sin conocimientos de esta ciencia ni investigaciones resulta ya imposible hoy día resolver los problemas que plantea la protección de las obras.

SOLICITACIONES DE UNA EDIFICACIÓN



Protección contra la humedad

La mayor parte de los desperfectos que se producen en las construcciones son atribuibles a la acción nociva de la humedad. Ésta perjudica la buena conservación de las partes y elementos de la obra y disminuye su protección térmica.

Los problemas de la protección contra la humedad, por consiguiente, consisten en preservar las obras del contacto de la humedad o impedir el efecto nocivo inmediato del agua y de la humedad sobre las partes de dichas obras o los materiales que las integran y en completar y aumentar la protección térmica.

Desperfectos producidos por la humedad

El grado en que la humedad puede influir en las construcciones depende de las propiedades de los materiales y de la forma como están empleados. La causa de los daños, en los materiales tanto pétreos como vegetales, reside en la capacidad o aptitud de absorción de su estructura porosa y eventualmente en la solubilidad de sus componentes sólidos. Los materiales de construcción metálicos son víctimas de la corrosión. Por su naturaleza, rara vez la humedad sola es un peligro inmediato si no tiene la cooperación de otros fenómenos que la acompañan y la siguen como consecuencia. Obliga, por consiguiente, a la adopción de medidas de precaución.

La humedad en las paredes y techos puede traducirse en la mojadura de los mismos y en producir la destrucción de yesos, enfucidos y estropear alfombras o tapicerías; pone en peligro maderas y metales y estropea los géneros o mercancías almacenados. También da origen a eflorescencias en la piedra y el mortero y fomenta el desarrollo de gérmenes de enfermedades y de diferentes clases de hongos y moho. Si las heladas alcanzan las partes de obra impregnadas de humedad, el aumento de volumen del agua contenida en poros y grietas, al helarse, puede tarde o temprano conducir a la destrucción de los materiales y comprometer la duración y estabilidad de la obra. A estos daños se agrega siempre la elevada pérdida de calor (con el consiguiente mayor consumo de combustible) que ocasionan los elementos humedecidos que delimitan los locales. Al impregnarse de humedad un material de construcción, el aire es expulsado de los poros del mismo y sustituido por el agua, que además sufre en ellos un proceso de evaporación. Como el agua tiene una conductividad térmica 25 veces mayor que el aire, cuando éste está subdividido en poros minúsculos, la impregnación de humedad aumenta considerablemente la conductividad del material y disminuye en igual medida su protección térmica. Esto se deja sentir al máximo al humedecerse los materiales aislantes. Es, pues, conveniente que al proyectar alguna protección contra la humedad en una construcción se procure al mismo tiempo la conservación o el aumento de su protección térmica.

Los perjuicios antedichos se producen tanto en los materiales pétreos como en los de origen vegetal; en las maderas sucede, además, que según su contenido de humedad se hinchan y resquebrajan. Las piezas constructivas de madera, los muebles, los pavimentos y los arriaderos o revestimientos de paredes pueden torcerse y alabearse; detrás de los armarios adosados a paredes exteriores puede formarse moho, siendo su peor consecuencia que, en tal caso, hay que temer la putrefacción y el crecimiento de fungosidades del tipo del moho.

Así como los repetidos cambios de humedad y sequedad estropean la madera, la que está completamente sumergida en agua de manera permanente dura mucho tiempo y se conserva duran-

te siglos, como se comprueba en los pilotes de roble sumergidos hace más de mil años en el agua subterránea sosteniendo antiguas construcciones.

La conservación de muchos metales, especialmente el acero normal usado en construcción, queda directamente amenazada por efecto de la humedad, de materias nocivas contenidas en el aire y de la unión con otros metales más nobles. El elevado grado de aprovechamiento de, por ejemplo, elementos sustentantes de acero, sólo es posible a condición de que estén protegidos cuidadosa y permanentemente contra la corrosión (véase página 360). El comportamiento electroquímico de los metales se explica por el hecho de que dos metales distintos, unidos conductivamente con un electrolito (solución ácida, básica o salina), constituyen un elemento galvánico (pila eléctrica). Se generan corrientes en el electrolito, y el desplazamiento de iones descompone el metal menos noble (más oxidable) con tanta mayor intensidad cuanto más distantes entre sí se hallan ambos metales en la serie de tensiones electrolíticas:

Metales oxidables **Metales inoxidables (nobles)**
— Mg, Al, Mn, Zn, Cr, Fe, Ni, Sn, Pb, (H), Cu, Ag —

Se habla de corrosión por contacto. Puesto que el agua de la lluvia es ácida (ácido carbónico del aire y ácido sulfúrico de los tubos de escape) y que al calentar aguas duras las incrustaciones de la caldera desprenden también ácido carbónico, debe procurarse, sobre todo en instalaciones a la intemperie y en las de calentamiento de agua, que metales distintos no entren directamente en contacto.

Clases de humedad

El agua y la humedad pueden ocasionar perjuicios en las obras de las maneras siguientes:

Humedad que penetra en el edificio desde el exterior;
Humedad de las precipitaciones, agua superficial, filtraciones de agua, humedad del terreno, agua del subsuelo, agua en capas, agua a presión.
Humedad que se halla ya en el edificio:
Humedad de construcción; humedad permanente.
Humedad que se produce en el edificio, procedente de agua de servicios, de agua de condensación.
Aclaraciones de conceptos:

Humedad procedente de precipitaciones: Luvia y nieve que caen directamente sobre la obra.

Agua superficial: Procedente de lluvias y otras precipitaciones, agua de fusión de hielos y nieves y que corre por la superficie del suelo, o brota del mismo después de haberse infiltrado.

Agua de fusión: Agua procedente de las nieves o hielos en fusión.

Agua de infiltración: Agua infiltrada en el terreno al correr por su superficie y encontrar capas del terreno inclinadas o verticales por entre las que penetra y se incorpora al agua subterránea.

Humedad del terreno: La humedad contenida en el terreno procedente de la aspiración que éste produce en el agua subterránea y que también puede ser ocasionada por lluvias y otras precipitaciones (aguas superficiales).

Agua subterránea: Es el agua que llena las cavidades de las capas del terreno y de las rocas. Cuando se abren perforaciones

o zanjas forma una superficie libre que se denomina nivel del agua subterránea.

Según la naturaleza de los terrenos existen casi siempre corrientes de agua subterránea (p. ej. en las zonas montañosas) que pueden alcanzar importantes velocidades. Debajo de las aguas subterráneas suelen existir capas de terreno impermeable, que son las que impiden que el agua vaya colando más abajo en el interior del terreno. En los sitios en que el agua subterránea brota de la superficie de la tierra se producen fuentes o manantiales.

Agua en capas o estratos: El agua subterránea se halla a veces en varias capas superpuestas del terreno (pisos o capas de agua) separadas por otras capas impermeables.

Agua a presión: Es el agua subterránea, el agua en capas o el agua superficial que ejerce presión sobre los elementos de obras situados dentro del terreno.

Humedad de la obra: Es la humedad introducida en los elementos de la obra junto con los materiales de construcción y con su puesta en obra (albañilería, hormigonado, enlucido).

Agua de utilización: La que se emplea en locales que la requieran, como cocinas, baños y lavabos; agua para regar y para limpiar.

Humedad del aire: Humedad contenida en el aire en forma de vapor de agua, en estado de agregación gaseoso e invisible.

Humedad de saturación: Cantidad máxima de vapor de agua (en g/m³) que en estado de agregación gaseoso y en función de la temperatura puede contener el aire (y también los elementos constructivos) sin que se condense en forma de niebla o de precipitación.

Humedad relativa del aire (grado de humedad del aire): Relación expresada en % entre el contenido de vapor de agua existente en el aire a una determinada temperatura (humedad absoluta en g/m³) y el contenido de vapor de agua que como máximo podría tener el aire a esta temperatura (humedad de saturación en g/m³).

Punto de rocío: Temperatura a la cual el contenido (absoluto) de humedad del aire llega a la saturación. Si prosigue el enfriamiento por debajo de este punto, el exceso de humedad se condensa en forma de niebla y de precipitación.

Rocío: Humedad que se condensa de forma visible en el aire, sobre elementos constructivos y sobre los objetos cuando la temperatura de éste desciende por debajo del punto de rocío. El nombre de "exudación", bastante extendido, es físicamente incorrecto, puesto que no se trata de ningún proceso de permeabilidad.

Agua de condensación: Designación destinada propiamente al agua que se separa del aire saturado de humedad cuando su temperatura desciende por debajo del punto de rocío. En Física de la Construcción se emplea especialmente al tratar de la eliminación de la humedad del interior de elementos constructivos. Se forma cuando el vapor de agua penetra, a causa de su difusión, en éstos y choca con capas cuya temperatura es inferior a la del punto de rocío, principalmente cuando la humedad, debido a un montaje inadecuado, puede estancarse en capas impermeables al vapor.

Humedad permanente práctica (humedad de equilibrio): Es el grado de humedad de un material (medido en % de peso o de volumen) que subsiste en la estructura interna del mismo tras secar la humedad de la obra en las condiciones ambientales de temperatura y humedad del aire. En función de la porosidad o densidad del material y del efecto combinado de difusión del vapor de agua, condensación, evaporación y capacidad de absorción capilar, se establece un equilibrio higroscópico fluctuante, llamado también "humedad propia".



Humedad del terreno

En el terreno casi siempre hay humedad. Las aguas pluviales infiltradas, las aguas procedentes de las capas subterráneas que ascienden por aspiración o capilaridad y que la fuerza de adhesión mantiene junto a los elementos de una construcción o en el terreno de cimentación, penetran por capilaridad en los materiales porosos aunque no exista presión alguna del agua contra ellos. La DIN 4117 contiene normas para la protección contra

la humedad del suelo, contra el agua que existe en el terreno sin ejercer presión. Pero en terrenos cohesivos y en los terrenos en vertiente los métodos allí expuestos sólo son suficientes cuando mediante un eficaz drenaje se evita que se estacione el agua, en cuyo caso ya ejercería presión. Las aguas infiltradas remansadas y las aguas subterráneas ejercen una presión sobre los elementos de construcción que están en contacto con ellas, presión que sólo puede ser contrarrestada con medidas de gran alcance. Para la protección de los edificios contra el agua que conserva alguna presión está la DIN 4031 con las instrucciones correspondientes. Posteriormente ha entrado en vigor la DIN 4122 "Estanquidad contra agua superficial sin presión y contra infiltraciones de agua", cuyo campo de aplicación queda comprendido entre el de humedad capilar del terreno y el del agua a presión. Trata de la impermeabilización, mediante láminas de materiales bituminosos, metálicos y de plástico, contra la entrada de agua en forma de líquido o de gotas (en contraposición al agua capilar), como por ejemplo la de lluvia, la de infiltración o la de uso doméstico, que en general no puede ejercer ninguna presión hidrostática sobre el material de impermeabilización o sólo puede ejercer una muy exigua y de efímera duración. De ahí que no puedan evitarse ciertas interferencias, al aplicar la norma DIN 4122, por una parte con la DIN 4117 y por otra con la DIN 4031. Así, por ejemplo, se decide que las paredes de una obra se impermeabilicen contra la humedad del suelo según DIN 4117, o contra infiltraciones de agua según DIN 4122, en función de la sensibilidad al agua y permeabilidad de la parte de edificio a proteger del peligro eventual de grietas y de las consecuencias que ello pueda suponer para la utilización del edificio.

Humedad y sustancias nocivas

No sólo la propia humedad, sino también todas las sustancias nocivas disueltas y transportadas en ella pueden actuar sobre elementos y materiales de construcción, tanto al aire libre como bajo el terreno. Los peligros que ello entraña para el hormigón y el mortero, que son los elementos principales de nuestras obras, están especificados en la DIN 4030 ("Análisis de aguas, terrenos y gases susceptibles de atacar al hormigón"), de la cual se han extraído los siguientes apartados.

2. Materias que atacan al hormigón, y sus efectos

Aguas y terrenos pueden atacar al hormigón cuando contienen:

Ácidos libres (ver sección 2.1)

Sulfuro de hidrógeno (ver subsección 2.1.2)

Sulfatos (ver sección 2.2)

determinadas sales de magnesio (ver sección 2.3)

sales amoniacales (ver sección 2.4)

o determinados compuestos orgánicos (ver sección 2.6)

Las aguas ejercen también un efecto de ataque cuando son especialmente blandas (ver sección 2.5)

Combinados con la humedad, los gases son susceptibles de atacar al hormigón cuando contienen:

sulfuro de hidrógeno (ver subsección 2.1.2)

anhídrido sulfuroso (ver subsección 2.1.3)

2.1. Las aguas ácidas, es decir, las que contienen ácidos libres, tienden a disolver la pasta de cemento y los áridos carbonatados. Las aguas ácidas se reconocen por tener un pH¹ inferior a 7. Aquellas cuyo pH es inferior a 6,5 son consideradas como susceptibles de atacar al hormigón. Los ácidos más frecuentes son los indicados en las subsecciones 2.1.1 a 2.1.4.

2.1.1. Los ácidos minerales libres son generalmente fuertes (como, por ejemplo, el sulfúrico, el clorhídrico y el nítrico), y actúan disolviendo la pasta de cemento y los áridos carbonatados.

2.1.2. El sulfuro de hidrógeno (o ácido sulfhídrico) es un ácido débil, y como tal actúa menos intensamente sobre el hormigón. No obstante, en forma gaseosa puede penetrar en el hormigón seco o bien disolverse en la película acuosa del hormigón húmedo, para formar ácido sulfúrico (ver subsección 2.1.1) y sulfatos (ver sección 2.2) al contacto del aire. También los sulfuros insolubles en agua (por ejemplo pirita, marcasita) pueden oxidarse gradualmente en presencia del aire y de la humedad para dar sulfatos y ácido sulfúrico libre.

1. pH inferior a 7 = agua ácida
pH igual a 7 = agua neutra
pH superior a 7 = agua alcalina

2.1.3. El anhídrido sulfuroso en estado gaseoso, que aparece principalmente en los gases de combustión, puede penetrar en el hormigón seco o bien disolverse en la película acuosa del hormigón húmedo, formar ácido sulfuroso y sulfuros y, en presencia de oxígeno, ácido sulfúrico (ver subsección 2.1.1) y sulfatos (ver sección 2.2).

2.1.4. El ácido carbónico ataca al hormigón particularmente por disolución del hidróxido de calcio, de modo análogo al de otros ácidos débiles. Puesto que el valor del pH no indica por sí solo el grado de concentración del ácido carbónico, es preciso determinar dicha concentración de manera especial (ver subsección 5.2.9).

2.1.5. Los ácidos orgánicos libres, como por ejemplo el acético, el láctico y el butírico (ver subsección 3.1.6) eliminan el calcio contenido en la pasta de cemento para formar la sal correspondiente. El ataque de los ácidos orgánicos es en general menos intenso que el de los ácidos inorgánicos. Determinados ácidos orgánicos (por ejemplo, el oxálico y el tartárico) pueden incluso formar capas protectoras.

Los ácidos húmicos son generalmente poco peligrosos para el hormigón endurecido. Sin embargo, en ciertos casos pueden reemplazar sus iones de hidrógeno por cationes de sales neutras y formar por tanto ácidos libres, principalmente inorgánicos. El fraguado del hormigón fresco puede verse dificultado cuando actúan sobre él pequeñas cantidades de sustancias húmicas.

2.2. Los sulfatos se convierten, en presencia de algunos compuestos de calcio y aluminio de la pasta de cemento, en sulfato aluminato de calcio o yeso, que provocan fermentaciones.

2.3. Las sales de magnesio, por ejemplo el sulfato y el cloruro, disuelven el hidróxido cálcico de la pasta de cemento y forman entre otros compuestos, una masa blanda, gelatinosa, de hidróxido magnésico. En caso de sulfato magnésico hay que tener en cuenta, además, el ataque del sulfato (ver sección 2.2).

2.4. Las sales amoniacales, exceptuados el carbonato, el oxalato y el fluoruro amónicos, disuelven preponderantemente el hidróxido cálcico de la pasta de cemento, dejando amoníaco libre que se disuelve en el agua. En caso de sulfato amónico actúa además el sulfato (ver sección 2.2). El amoníaco no ataca al hormigón.

2.5. Las aguas blandas (véase DIN 19640: "Dureza del agua: conceptos y unidades de medida") con una dureza global inferior a 1,1 mval/l, o sea 3 grados alemanes, es decir, las que no contienen sales de calcio y/o de magnesio disueltas, o sólo las contienen en exigua cantidad, pueden disolver el hidróxido cálcico de la pasta de cemento. Sin embargo, no atacan prácticamente al hormigón impermeable al agua (ver DIN 1045).

2.6. Las grasas y los aceites actúan de modo distinto sobre el hormigón según su procedencia, su composición química y su naturaleza física.

2.6.1. Las grasas y los aceites vegetales y animales pueden atacar al hormigón, ya que como ésteres de ácidos grasos forman, al combinarse con el hidróxido cálcico de la pasta de cemento, sales de calcio acidograsas (jabones de cal). Puede desprejiciarse, no obstante, su capacidad de ataque sobre el hormigón impermeable al agua (ver DIN 1045).

2.6.2. Los aceites y las grasas minerales no atacan al hormigón cuando están exentos de ácidos y de componentes orgánicos (vegetales o animales).

2.6.3. De los aceites de alquitrán de hulla, los medios y pesados contienen en general fenol y sustancias análogas, las cuales pueden atacar al hormigón dando lugar a fenolatos. Su capacidad para atacar al hormigón impermeable al agua es, sin embargo, despreciable (ver DIN 1045).

3. Procedencia de las materias que atacan al hormigón

3.1. Aguas

3.1.1. El agua del mar contiene preponderantemente magnesio y sulfato como sustancias nocivas para el hormigón. Las aguas del mar Báltico y del mar del Norte tienen aproximadamente la composición que figura en la tabla 1.

Tabla 1. COMPOSICIÓN DEL AGUA DEL MAR

Componente	Mar del Norte (Helgoland)	Mar Báltico (bahía de Kiel)
Na ⁺	11 050 mg/l	4980 mg/l
K ⁺	400 mg/l	180 mg/l
Ca ²⁺	430 mg/l	190 mg/l
Mg ²⁺	1 330 mg/l	600 mg/l
Cl ⁻	19 890 mg/l	8 960 mg/l
SO ₄ ²⁻	2 780 mg/l	1 250 mg/l
pH	> 8	> 7

En el mar del Norte el contenido total de sal es, como en el océano Atlántico, de unos 36 000 mg/l; en el mar Báltico (bahía de Kiel), de unos 16 000 mg/l por término medio anual.

3.1.2. Las aguas de montaña y de manantial son a menudo químicamente muy puras (ver sección 2.5.). Sin embargo, contienen en ocasiones ácido carbónico, que disuelve la cal (ver subsección 2.1.4).

3.1.3. Las aguas pantanosas contienen con frecuencia sustancias nocivas para el hormigón: ácido carbónico (ver subsección 2.1.4), sulfatos (ver sección 2.2) y ácidos orgánicos (ver subsección 2.1.5), todas ellas disolventes de la cal.

3.1.4. El agua subterránea contiene a menudo ácido carbónico, disolvente de la cal, sulfatos y magnesio. Sólo en aguas subterráneas contaminadas por desagües de cloacas se encuentran, en fuerte concentración, ácido sulfhídrico, amoníaco y compuestos orgánicos nocivos para el hormigón en mayores concentraciones.

3.1.5. El agua fluvial puede ser muy pura; pero puede también contener las sustancias especificadas en la sección 2. Las concentraciones de las mismas suelen quedar, no obstante, fuera de la gama perjudicial.

3.1.6. Las aguas procedentes de desagües pueden contener materias orgánicas e inorgánicas capaces de atacar al hormigón: ácidos minerales y orgánicos, así como sus respectivas sales.

En desagües industriales pueden aparecer estas materias en mayor cantidad; en desagües domésticos, las concentraciones no son por lo general peligrosas.

Los desagües de las industrias químicas pueden contener las sustancias especificadas en la sección 2 incluso en altas concentraciones.

En las aguas residuales de fábricas de celulosa, talleres de galvanizado e instalaciones de decapado se encuentran, además de ácidos minerales, diversos compuestos inorgánicos, entre otros, sulfatos. Las aguas de fábricas de coque están contaminadas por sales amónicas, sulfatos y fenoles.

Los desagües de fábricas de azúcar, de papel, de colorantes, de vinagre y de conservas, de destilerías, tenerías, centrales lecheras y centros preparadores de piensos contienen ante todo ácidos orgánicos, entre los que figuran el fórmico, el acético, el láctico y el butírico.

3.2. Terrenos

3.2.1. Los terrenos que contienen sulfatos aparecen predominantemente en formaciones pérmicas, triásicas, jurásicas y terciarias, cuyas sedimentaciones llevan anhidrita y yeso. Los sulfatos más fácilmente solubles, como por ejemplo el de magnesio y el de sodio, se hallan preferentemente en los alrededores de bolsas de sal.

3.2.2. Los suelos pantanosos (turba) y el cieno de putrefacción contienen esencialmente las materias indicadas en la subsección 3.1.3. Los terrenos pantanosos, el cieno de putrefacción y los suelos arcillosos pueden contener además sulfuros de hierro (pirita, marcasita) (ver subsección 2.1.2).

3.2.3. Los terraplenados o vertidos a base de productos industriales de desecho, escombros, basura, barreduras, así como de gangas o escorias, pueden contener, según su procedencia, algunas de las materias especificadas en la sección 2 en grandes cantidades. Las aguas infiltradas procedentes de tales vertidos pueden por tanto ser también perjudiciales para el hormigón.

3.3. Gases

Los gases de combustión y los de escape industriales pueden contener ácidos minerales libres (ver subsección 2.1.1), ácidos orgánicos (ver subsección 2.1.5), anhídrido sulfuroso (ver subsección 2.1.3) y sulfuro de hidrógeno (ver subsección 2.1.2). Al descender la temperatura por debajo del punto de rocío pueden formarse soluciones atacantes. Hay que contar además con que los componentes gaseosos se disolverán en las precipitaciones (lluvia y nieve) y de esta forma actuarán sobre el hormigón.

Las sustancias sólidas contenidas en los gases de escape, por ejemplo sulfatos, pueden disolverse en el agua condensada. El dióxido de carbono acumulado en los gases de combustión no ataca al hormigón, pero puede ocasionar una intensa carbonatación del mismo y, en determinados casos, dañar la protección contra la corrosión de la armadura.

Materiales de impermeabilización

Para ejecutar trabajos de impermeabilización se dispone de materiales y lienzos bituminosos, provistos a veces de hojas metálicas o de un relleno de vellón de fibra de vidrio, así como tiras soldables de material termoplástico. Con la adición de impermeabilizantes pueden fabricarse también materiales directamente estancos al agua, como son el mortero o el hormigón impermeable. Sin embargo, están expuestos al peligro de las grietas, y exigen precauciones especiales en las juntas y puntos de unión.

La protección segura y eficiente de un edificio contra la acción de la humedad y de las sustancias nocivas de cualquier clase que hay debajo del terreno, sólo puede, por tanto, garantizarse, si se tienen en cuenta las propiedades de los impermeabilizantes y las exigencias de su correcto empleo, tanto en el proyecto como en la ejecución.

Materiales bituminosos

El impermeabilizante más antiguo es el asfalto; según demuestran numerosas inscripciones, dibujos, investigaciones y excavaciones, efectuadas principalmente en el Oriente Próximo, en el tercer milenio a. de J. C., el asfalto ya desempeñaba un importante papel en la construcción. Muros y pavimentos en los templos y palacios babilónicos o los muelles y defensas en las orillas de ríos, indican que ya entonces se conocían el poder adhesivo y las cualidades hidrófugas del asfalto y se empleaba en forma de mortero para hacer paredes y trabajos de obturación de aguas.

Asfalto

Es una mezcla natural o artificial de materias bituminosas y minerales. Entendemos por lo que se llama materias bituminosas aquellas fracciones solubles en el sulfuro de carbono contenidas en el asfalto natural, en las piedras asfálticas y en los residuos de la destilación de los aceites minerales.

Las procedencias más conocidas de los asfaltos naturales son la isla de Trinidad y el Estado de Bermúdez (Venezuela). En Trinidad, el asfalto forma un lago de unas 40 Ha de superficie y de unos 40 m de profundidad, cuyo nivel, a pesar de las cuantiosas extracciones efectuadas, apenas ha descendido de modo apreciable desde el año 1851. Procedentes de capas profundas, acuden constantemente a llenar los huecos nuevas cantidades fluidas y calientes de asfalto por el efecto de las presiones subterráneas. El asfalto de Trinidad contiene un 40% de materias bituminosas, un 30% de aceites minerales y un 30% de agua. Es, pues, muy rico en materias bituminosas y tiene, por consiguiente, gran viscosidad.

El asfalto de Bermúdez forma también un lago y es muy parecido al de Trinidad.

Ambos asfaltos tienen alto contenido de azufre (6%), circunstancia que los distingue esencialmente de las materias bituminosas procedentes del aceite mineral.

Formando piedras asfálticas, se encuentra asfalto natural en Suiza (Val de Travers), en Italia (Sicilia), en Francia (Seysse), en Yugoslavia (Dalmacia), en Alemania (Holzminden) y en España (Maetz). La piedra asfáltica es una caliza impregnada de materias bituminosas que se extrae de minas y se prepara y elabora en las fábricas de asfalto.

El asfalto natural se encuentra en el mercado en forma de polvo asfáltico, de mástique o almáciga asfáltica natural y de placas de asfalto comprimido.

Para los trabajos de impermeabilización y obturación de aguas se emplea especialmente el mástique de asfalto natural, que es una mezcla de materias bituminosas con polvo asfáltico natural en la que entra de un 16 a un 22% de las primeras.

Betunes y materias bituminosas

Hay que distinguir entre los betunes naturales y los betunes procedentes del aceite mineral.

Se entienden por betunes naturales los que constituyen el aglomerante puro, sin mezcla mineral alguna del asfalto natural. Los betunes del petróleo representan una dispersión coloidal en aceite mineral, de los más diversos tipos de resinas del petróleo, por lo cual no puede considerarse el betún del petróleo como una sustancia unitaria con propiedades bien definidas y constantes; estas últimas dependen, en gran medida, de la clase de petróleo del que se extraen por destilación los betunes, así como también de su ulterior tratamiento y preparación. A temperaturas medias, los betunes se comportan, en general, como fluidos viscosos que se moldean fácilmente.

A temperaturas bajas, y especialmente cuando se someten a esfuerzos mecánicos bruscos, tienen carácter quebradizo. Las variedades celulares o esponjosas de betún poseen mayor margen de elasticidad que las masas que se suelen obtener en los procedimientos normales de destilación; son, por consiguiente, menos sensibles a las fluctuaciones de la temperatura. El betún es bastante inalterable bajo la acción de los ácidos orgánicos diluidos y de las bases. Sin embargo, hay que tener en cuenta que a la larga, por la acción de esas sustancias y aun por la del agua, pueden producirse hinchazones y entumecimientos. Los aceites y grasas hinchan los betunes al principio, para acabar

reblandeciéndolos y disolviéndolos. Bajo la influencia del oxígeno, reforzada por la acción simultánea de la luz, las mezclas de sustancias bituminosas se alteran física y químicamente de manera considerable, o, como suele decirse, envejecen. Un calentamiento prolongado modifica también las propiedades de los betunes.

Alquitrán de hulla

Es una dispersión coloidal, en aceites de alquitrán, de las resinas que llevan los aceites de alquitrán. Se obtiene como residuo de la destilación de la brea de hulla. Al progresar la destilación se obtiene una pez blanda, luego otra semidura y finalmente una pez dura. La sensibilidad a la temperatura de la pez blanda de hulla como material bituminoso impermeabilizante es mucho mayor que la de los betunes de destilación. La pez blanda de alquitrán de hulla posee una capacidad de absorción de agua algo menor que la de los betunes.

Aun cuando no contiene material bituminoso alguno, la pez de alquitrán de hulla suele clasificarse como "bituminosa" por ser su color y su viscosidad análogos a los de los betunes. Su procedencia y su composición química no tienen nada que ver con las de éstos, sin embargo. Ante las acciones químicas y las fluctuaciones de temperatura reaccionan también de modo muy diferente.

Pintura: capa de preparación

Antes de aplicar las capas definitivas de una pintura bituminosa hay que aplicar una capa de preparación, bituminosa, fluida, aplicable en frío, que por su fluidez penetre en los poros de la pared y compense las desigualdades de la superficie con más cuidado de lo que sería posible con la capa definitiva, más viscosa.

Los medios para esta capa de preparación son: soluciones bituminosas, soluciones de alquitrán de hulla y emulsiones acuosas diluidas de betún o alquitrán.

Las soluciones de betún y alquitrán, en las que estos materiales están disueltos en disolventes orgánicos, por ejemplo bencenos, se utilizan sólo sobre paredes secadas al aire. Si las paredes están todavía húmedas cuando hay que aplicar las capas de impermeabilización, se emplean las emulsiones diluidas de betún o de alquitrán de hulla. Con estos materiales conviene humedecer las paredes, si éstas están secas. Las emulsiones son sensibles a las heladas, mientras que con las soluciones hay que tomar grandes precauciones a causa de su gran inflamabilidad. Las capas de preparación y las capas definitivas deben ser siempre ambas a base del mismo material, betún o alquitrán de hulla.

Pintura: capas de acabado

Después de la capa de preparación siempre se aplicarán varias capas de pintura: por lo menos dos si son en caliente, o tres si son en frío, porque en los productos aplicables en frío la solidez de la capa queda disminuida por la volatilización del disolvente (por ejemplo, por la evaporación del agua en las emulsiones). Son aplicables en frío las disoluciones y emulsiones bituminosas y las de alquitrán de hulla. Se aplican en caliente, una vez que el calor les ha hecho perder viscosidad, los betunes y alquitranes de hulla con o sin adición ("relleno") de polvo mineral (por ejemplo, caliza, cuarzo o pizarra finamente molidos).

Las capas de acabado aplicadas en caliente son especialmente adecuadas para superficies poco regulares y rugosas; concretamente son las únicas que convienen para impermeabilizar muros de fábrica de ladrillo sin revoque, combinándolas con una capa de preparación fluida, aplicada en frío.

Las capas de obturación proporcionan generalmente una protección satisfactoria a las paredes que, por estar en contacto con el terreno, sufrirían el ataque lateral de sus humedades.

Pasta extendida con espátula

Las pastas bituminosas y de alquitrán de hulla aplicadas con espátula son más resistentes a la humedad que las capas de pintura. Pero requieren más tiempo para secarse. Se aplican en dos manos hasta alcanzar unos 6 mm de espesor, sobre una capa de preparación. Se aplican en frío el betún o alquitrán de hulla disueltos o emulsionados, con viscosidad plástica. Se aplican en caliente los mismos materiales pero con "relleno", así como las pastas de mástique de asfalto natural.

Cartones o láminas adhesivos

Para la fijación de cartones impermeables y coberturas (empaquetaduras) o lienzos se emplean también como adhesivos betunes y alquitranes especiales, con los que se opera en caliente. Estos recubrimientos a base de láminas o lienzos completamente estancos sólo se utilizarán para impermeabilizaciones que deban soportar la presión del agua. Los materiales de las láminas y los adhesivos conviene que sean derivados de las mismas materias bituminosas. Las coberturas de hojas de material plástico se suministran con adhesivos especiales proporcionados por el mismo fabricante, que no contienen ningún componente que altere o ataque aquel material.

Cartones impermeables

Los más utilizados para lienzos o coberturas son: el cartón en bruto según DIN 52117 o un cartón de fieltro de lana según DIN 52119. Estos cartones se obtienen aprovechando los residuos de fibras textiles y se designan, según su peso, en gramos por m², por el "tipo 333" o "tipo 500". Luego se impregnan y pasan a conocerse como "cartones bituminosos o alquitranados". Los cartones bituminosos se suministran en rollos de 1 m de anchura y 20 m de largo. Los alquitranados vienen en rollos también de 1 m de anchura, pero de 10 m de largo.

Para la impermeabilización horizontal contra la humedad ascendente, que se basa en separar los elementos constructivos (pilares, paredes, techos, etc.) unos de otros, hay que utilizar, a fin de conseguir que a pesar de la separación, exista el máximo rozamiento entre superficies de contacto, hojas de cartón alquitranado con arena adherida por ambas caras. Al utilizarlas como barreras horizontales contra humedad, estas hojas no deben clavarse a la superficie ni pegarse entre ellas.

Coberturas o lienzos impermeables (DIN 18190)

Los cartones lisos se vuelven impermeables mediante aplicación de masa bituminosa por una o ambas caras; se designan entonces como lienzos, coberturas o envolturas impermeables (tipo 333 o tipo 500).

Para la fabricación de esas empaquetaduras o lienzos impermeables se utiliza también como alma la tela de yute. La arpillera de yute pesa 0,333 kg/m² cuando no está impregnada y 0,500 kg/m² cuando lo está.

La tela de yute impregnada se hace impermeable al agua dándole un revestimiento con una masa o pasta impermeabilizante. Las empaquetaduras de tela de yute se encuentran en el mercado en rollos de 10 a 30 m de longitud y de 1 m de anchura. A base de un espesor mínimo de 3 mm deben tener un peso de 3,2 kg/m². Son dilatables y flexibles como los cartones asfálticos y embreados y, por consiguiente, son adecuadas para la impermeabilización de parte de las obras en que hay numerosos dobles o acodaduras. Con las empaquetaduras o lienzos impermeables de cartón-fieltro y de tela de yute hay que tener presente que en contacto con el agua se hinchan al poco tiempo y a continuación se pudren y deshacen si no se toman precauciones especiales.

Las empaquetaduras o lienzos aislantes con fibra de vidrio están formados por una capa de betún o asfalto, armada con la fibra de vidrio. En esta forma, la hoja de betún o asfalto resulta transportable y trabajable. La ventaja que las empaquetaduras con fibra de vidrio tienen sobre los cartones impermeables estriba en que la fibra de vidrio no absorbe humedad y no se pudre ni corrompe; además, no produce ondulaciones ni arrugas. En las empaquetaduras que llevan almas de hojas de plomo, cada hoja metálica debe ir pegada entre dos cartones de fieltro impregnados (protección contra aguas ácidas y alcalinas) y, además, las caras exteriores deben ir forradas con una masa bituminosa. Las empaquetaduras con láminas de plomo, tal como salen de fábrica se suministran en longitudes de 5 a 10 m y en anchos de un metro. Para un espesor de 5,5 mm deben tener un peso medio de 7,5 kg/m².

Las empaquetaduras o lienzos aislantes con inclusión de hojas de aluminio son alterables por la acción de medios alcalinos como los que precisamente siempre hay presentes en la construcción; en cambio, las empaquetaduras u hojas aislantes con inclusiones de hojas de plomo pueden ser destruidas más bien por los ácidos, y especialmente por el agua carbónica.

Tiras termoplásticas

Para la impermeabilización de las obras contra la humedad del suelo, el agua subterránea, el agua superficial e incluso contra el efecto de productos químicos agresivos (en caso de laboratorios) se emplean cada vez más los materiales termoplásticos, como el cloruro de polivinilo blando y el polioisobutileno, entre otros. Son compuestos orgánicos de carbono, macromoleculares, obtenidos a partir de petróleo y gas natural (industria petroquímica), con excelentes cualidades químicas y físicas, entre las cuales cabe mencionar su elevada dilatabilidad, su notable inalterabilidad química y su fácil y pulcra elaboración.

Estos termoplásticos o plastómeros, como también se les llama, son materiales moldeables dentro de una determinada gama de temperaturas. Su cohesión interna se debe principalmente a la polimerización, es decir, al enlace o aneación de moléculas de igual naturaleza en forma de cadenas. Con la elevación de la temperatura se aumenta la movilidad de tal cohesión. Si bien las propiedades de estos materiales varían con la temperatura, dentro de las fluctuaciones normales causadas por las condiciones atmosféricas no experimentan ninguna modificación permanente. Su resistencia mecánica puede, además, elevarse adicionalmente aplicándoles almas de tela de fibra de vidrio, o disponiéndola en capas alternadas de ambos materiales. La gama de temperaturas de empleo oscila entre -30°C y $+80^{\circ}\text{C}$.

Por efecto del frío, las láminas van siendo progresivamente más duras, cosa que, sin embargo, no puede conducir a la rotura antes de que el descenso de temperatura llegue al nivel de -30°C y bajo la acción de dobleces muy bruscos. Al calentarse aumenta su plasticidad, con lo cual puede moldearse bien la hoja. Calentándola un poco más (por encima de los 200°C) se reblandece el material de las hojas en tal forma que puede soldarse en caliente.

SÍMBOLOS PARA REPRESENTAR GRÁFICAMENTE UNA IMPERMEABILIZACIÓN

Representación general

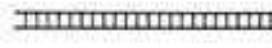


Impermeabilizante en la obra

Representaciones particulares



Capas de pintura (de preparación)



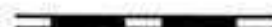
Capas de pintura (de acabado) y pastas adhesivas



Pastas extendidas con espátula



Cartones simples



Lenzos aislantes con inclusión de cartones-fletero



Lenzos aislantes con inclusión de tiras de tela



Lenzos aislantes con inclusión de cintas metálicas



Lenzos aislantes con inclusión de hojas de plástico



Láminas u hojas de plástico



Tiras metálicas sin capas de revestimiento



Rellenado de juntas



Asfalto fundido

En general, no obstante, el material se "suelta en frío" a la temperatura normal mediante la llamada "soldadura con disolventes", dejándolo en forma de planos de impermeabilización homogéneos de gran superficie: las tiras parciales se atacan en su unión solapada con un disolvente, que provoca el hinchamiento de las partes atacadas, y luego se comprimen estas partes una contra otra. Este material impermeabilizante se utiliza sólo en capas únicas de determinado espesor (0,3 a 3 mm); sobre superficies horizontales se dispone sencillamente suelto o bien se fija en algunos puntos mediante betunes especiales; sólo sobre superficies verticales se pega íntegramente por toda la superficie. Ello significa que la estanquidad de un impermeabilizante depende, a fin de cuentas, de la forma cómo han sido ejecutados los puntos de costura y de unión de dichas capas únicas.

Hay que tener presente que la mayoría de tales hojas de impermeabilización y de impermeabilizantes a base de materias bituminosas se hinchan y destruyen gradualmente en contacto con bencinas, grasas, aceites, varios disolventes de barnices, y adhesivos con contenido de alquitrán. Sin embargo, no experimentan hinchazón alguna por la acción de aguas naturales, ácidas o alcalinas, por lo cual es innecesario que queden aprisionados entre elementos constructivos rígidos en estado de montaje. Son imputrescibles y resistentes incluso a la acción del oxígeno, es decir, al envejecimiento.

Respecto a la duración de esas hojas, hay que decir que las experiencias con ellas realizadas abarcan un período de treinta años. En hojas colocadas en 1939 para la obturación de filtraciones en galerías de mina en las que hace poco tiempo hubo que hacer obras en el curso de unas reformas, no se observaron, a pesar de la permanencia en terrenos muy acuíferos, alteraciones de ninguna clase, ni de su aspecto exterior, ni de sus propiedades mecánicas. Estas comprobaciones están de acuerdo con las consecuencias que de la estructura química del material básico de las hojas pueden ser deducidas. Los resultados de los ensayos en curso con las láminas de oppanol en duras condiciones químicas justifican la afirmación de que el material en cuestión puede ser considerado como de duración ilimitada. Respecto a su combustibilidad, este material se comporta como las mezclas de goma.

Revoque hidrófugo

Las obturaciones contra la humedad del terreno se pueden realizar también con mortero hidrófugo. Se trata de un mortero de cemento cuya cualidad impermeable procede de la adición y mezcla en pasta de un material obturador, como "Ceresit", "Sika" o "Tricosal". La composición del mortero es 1 de cemento por 2 o 3 de árido. Este último debe componerse de granos de 3 mm como máximo y los granos finos, hasta 1 mm deben representar el 55% del total. El material harinoso cuyo grano es inferior a 0,2 mm debe estar presente en un 20%.

El revoque con este mortero debe aplicarse con un espesor mínimo de 20 mm y en dos capas, la primera de las cuales no debe haber fraguado para cuando se extienda la segunda. Si hay que interrumpir el trabajo, debe solaparse la siguiente etapa unos 20 o 30 cm con la anterior. Si se prevé un pintado final, hay que frotar la pared, pero no alisarla o pulirla.

Hormigón hidrófugo

La defensa contra la humedad del terreno y la presión del agua puede lograrse mediante muros y suelos impermeables ejecutados con hormigón hidrófugo. Para cimentaciones y sótanos (cuando no es posible la impermeabilización horizontal), construcciones sumergidas, piscinas, etc., es el sistema más apropiado. El hormigón hidrófugo se emplea asimismo en los paramentos de hormigón visto, en las industrias y en general allí donde son de prever agentes agresivos, en la composición del aire o disueltos en la humedad que precipita, que podrían atacar químicamente al hormigón y a la armadura.

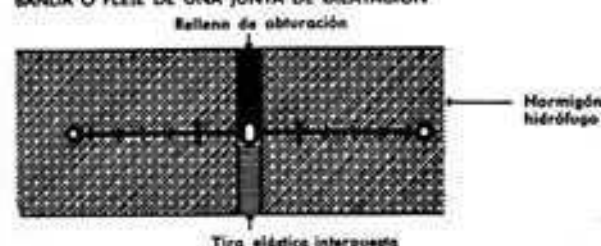
Como los aditivos obturantes penetran íntimamente en el hormigón, resulta muy práctico aplicarlos como barniz incoloro o impregnar la superficie de las piezas (p. ej., con fluatós). De todos modos, con hormigón hidrófugo no deben hacerse piezas, que trabajen a flexión, ya que en ellas se producen inevitablemente grietas capilares a través de las cuales puede ascender la

humedad y sustancias nocivas. Para contrarrestar el efecto capilar de las grietas, lo único que ofrece seguridad es dar una mano de pintura impermeabilizante a la superficie. El hormigón hidrófugo sólo puede redundar en una economía de otros dispositivos de mayor alcance cuando es posible ejecutarlo con una escrupulosa dosificación. Los áridos deberán cumplir con buena aproximación las curvas de tamiz que señala la norma DIN 1045 (véase pág. 165). Se operará con grava de diámetro máximo 30 mm, se contará con arena, en proporción de un 50%, de diámetros entre 0 y 7 mm, más un 5% de material pulverulento de grano inferior a 0,2 mm, porcentajes todos ellos referidos al total del peso correspondiente a los áridos.

JUNTAS DE ENCOFRADO EN EL HORMIGÓN HIDRÓFUGO. JUNTA ENTRE PARED Y LOSA DE BASE, EN UN SÓTANO EN FORMA DE CUBA O FOSA



BANDA O FLEJE DE UNA JUNTA DE DILATACIÓN



Para presiones de agua importantes se necesita hasta un 10% de peso del árido más fino. Si esta condición no puede cumplirse con el árido natural suministrado, se añadirán piedra molida, harina de cuarzo, trass o cualquier otro tipo de polvo mineral para el relleno de poros.

La proporción de cemento deberá ser $>$ de 300 kg/m³ de hormigón. Un hormigón de composición inadecuada no se deja impermeabilizar ni con barnices especiales. Las sustancias hidrofugantes no deben perjudicar las demás cualidades del hormigón. Debe tratarse de materiales autorizados. Los hidrofugantes actúan rellenando y taponando los microporos que se encuentran en el seno del hormigón, fomentan una más completa hidratación del material y con ello ayudan a la cristalización posterior del engrudo cementoso, cuando se verifica el proceso de secado o fraguado. Por otra parte, gracias a la finura de su grano penetran también en los poros normales, rellenándolos. Ocasionalmente, es necesaria cierta absorción previa de agua, a fin de que los aditivos que rellenan los poros se hinchen, taponándolos por completo, con lo cual se completa su misión hidrófuga incluso contra presiones de agua elevadas. Los otros impermeabilizantes sólo actúan rechazando el agua, pero no obturan los poros en el seno de la masa y por ello permiten la difusión del vapor de agua y el paso de la humedad.

Para impedir la formación de grietas de retracción o de fatiga, que en hormigón hidrófugo tiene enorme importancia, deberán dejarse juntas elásticas de dilatación rellenas de material plástico, con el cual se dispone de gran variedad de grosores y resistencias que facilitan el empleo más adecuado en cada tipo de sollicitación.

Protección contra la humedad ascendente del terreno

La humedad contenida en el terreno, tanto si procede de las aguas pluviales, de la nieve o de las aguas de servicio, como si es aspirada de las capas del terreno humedecidas por el agua subterránea, trata de penetrar en aquellas partes de la obra que descansan en el suelo (cimientos, paredes de sótanos) y de ir subiendo por ellas. La porosidad y el poder absorbente de los materiales dan la medida de la impregnación de humedad. Como ésta siempre pasa de los poros grandes a los pequeños (y nunca al revés) tiene gran importancia la disposición de unos poros respecto de otros. En bodegas y sótanos donde es necesaria mucha humedad (p. ej. en bodegas donde se guarda vino o cerveza) ofrece ventaja que los poros pequeños estén hacia la parte inferior y los mayores hacia la cara exterior de las paredes. En tales sitios sería una equivocación impermeabilizar las paredes, pero en cambio es necesario cerrar el paso a la humedad hacia arriba e impedir su acceso a los pisos superiores. Las paredes de las bodegas deben estar inmunizadas, aun en tales condiciones, contra las heladas, debiendo ser cuando menos de un hormigón del tipo Bn 250 o de mampostería de piedra natural y aglomerante hidráulico.

Los locales situados en sótanos en los que haya que almacenar géneros a los que pueda perjudicar la humedad, o donde tengan que residir de manera permanente personas, deben tener paredes y pavimentos impenetrables a la humedad o bien impermeabilizados. La impermeabilización no sólo debe cerrar el paso a la humedad hacia las paredes, sino proteger también a éstas contra el ataque de sustancias nocivas procedentes del terreno. Una buena impermeabilización permite al mismo tiempo el empleo en las paredes de materiales de construcción que, si bien son suficientemente resistentes para soportar las cargas, no serían resistentes a la acción de las heladas cuando están impregnados de humedad (como el hormigón tipo Bn 100 y el Bn 150). En este caso, la estabilidad y duración de una obra dependen inmediatamente de la calidad y del cuidado con que se haga la impermeabilización.

Impermeabilización horizontal en paredes

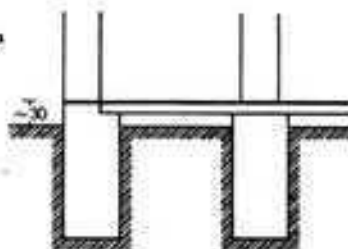
En los edificios no excavados (plantas bajas) también hay que proteger, tanto las paredes exteriores como las interiores hasta los 30 cm de altura sobre el nivel del terreno, contra la humedad ascendente. En las paredes exteriores de los sótanos hay que disponer dos capas de barrera, una sobre el nivel del piso del propio sótano y otra por debajo de su techo que deberá quedar unos 30 cm por encima de la cota del terreno exterior (a la altura de las salpicaduras de agua). Si la capa más alta quedase por debajo del nivel del terreno exterior, habrá que disponer otra capa suplementaria a la altura mencionada de las salpicaduras. Para las paredes interiores de los sótanos basta, normalmente, una capa de barrera 10 o 15 cm por encima del nivel del pavimento, pero se recomienda disponer también la capa por debajo del techo en estas paredes, aunque no venga exigido por la norma DIN 4117. Estas capas de barrera altas protegen al techo y a todos los paramentos verticales en prolongación de los del sótano que quedan por encima de dicha capa-barrera de la humedad que podría ascender a causa de alguna fisura o defecto de las capas verticales de impermeabilización periférica o de la propia capa-barrera inferior o bien de la presencia de aguas de inundación o condensaciones anormales tras lluvias muy copiosas. Al disponer la capa de barrera horizontal por debajo del techo del sótano, antes de construir éste, hay que dejar por lo menos la altura de una hilada de ladrillo entre la capa y el techo. Aunque para esta impermeabilización no es necesario el concurso de un especialista, hay que tener sumo cuidado en la correcta ejecución de la misma, ya que el más pequeño fallo puede acarrear graves perjuicios al resto de la obra. Normalmente estas capas de barrera horizontales están constituidas por cartón alquitranado, lienzos u hojas de material plástico, que separan por completo el elemento constructivo en dos partes. Las hojas o capas no deben sujetarse por debajo ni entre ellas, a fin de conseguir mayor resistencia al rozamiento. Cuando se requiera por motivos de estática podrán disponerse escalonadas con lo cual el muro

ESQUEMA DE IMPERMEABILIZACIÓN CONTRA LA HUMEDAD ASCENDENTE DEL TERRENO

EDIFICIOS SIN SÓTANOS

Forjado por encima de la altura de las salpicaduras

Encima de la capa impermeabilizante se extienden el aislamiento térmico y el pavimento.



Forjado por debajo de la altura de las salpicaduras

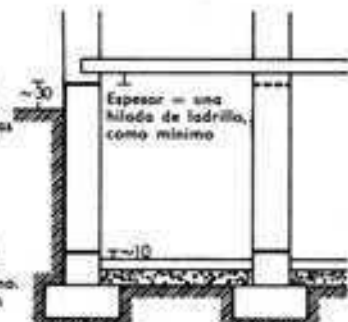
Solado de una nave industrial. Forjado sobre lecho de grava gruesa, si el terreno no es compacto. En caso contrario, losa de hormigón hidrófugo o pavimento de mortero hidrófugo.



EDIFICIOS CON SÓTANO

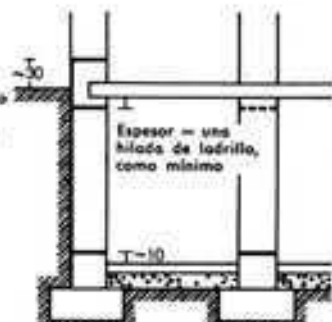
Forjado de la planta baja por encima de la altura de las salpicaduras. Todas las capas de obturación verticales deben retornarse y unirse a las horizontales precisamente a la misma altura de las salpicaduras.

En suelos no compactos debe extenderse con lecho de grava por debajo del forjado del sótano. En caso contrario basta con una impermeabilización adicional.



Forjado de la planta baja por debajo del nivel de salpicaduras

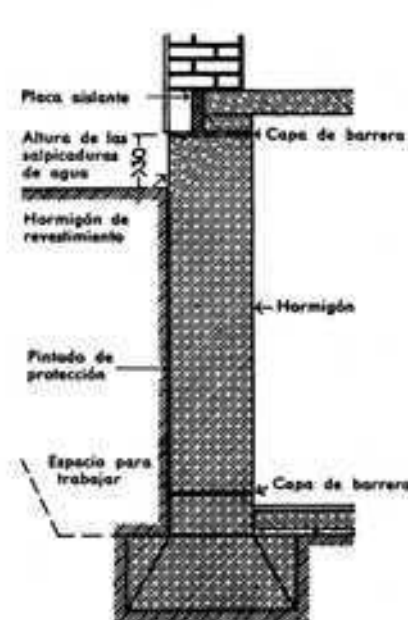
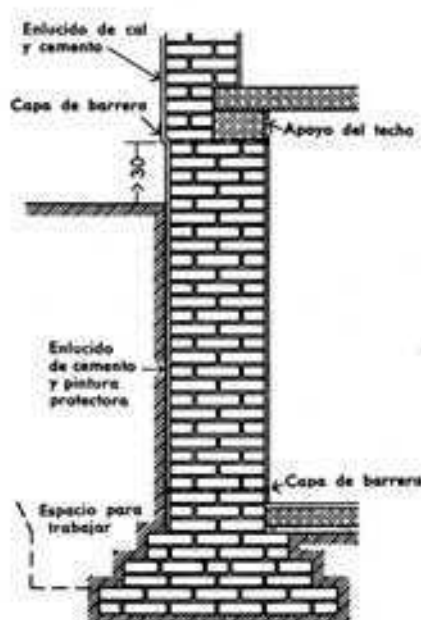
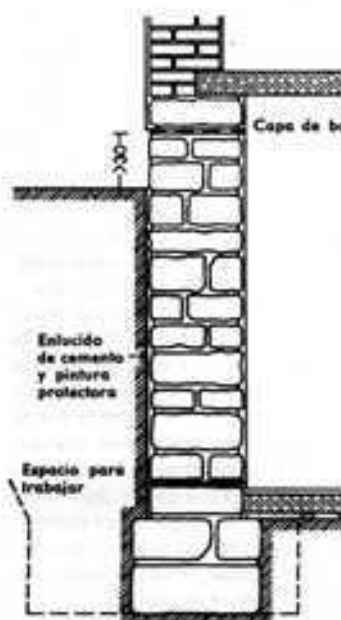
Además de prolongar el revestimiento de la pared hasta la altura de las salpicaduras, se efectúa un empalme adicional con una capa horizontal por debajo del forjado.



podrá hacer frente a cargas horizontales sin peligro de que la capa actúe como plano de deslizamiento. En este caso la hoja debe mantenerse continua aunque forme codos y cantos. Por encima de lo prescrito en las normas es aconsejable que en lugar de emplear bandas de cartón tipo 500 se empleen lienzos impermeables solapados 10 cm o se usen dos bandas de cartón 333 superpuestas de manera que las juntas de la banda superior y las de la banda inferior queden alejadas por lo menos 1 m. Este sistema ofrece mayores garantías contra posibles desperfectos y anula toda posibilidad de efecto capilar, que en el solape mínimo de 10 cm pudiera producirse comunicando humedad al muro. Las superficies del paramento vertical sobre las que van a aplicarse las capas de barrera deben ser bien horizontales y lisas, a fin de que los lienzos o cartones no sufran perforaciones. Si es necesario se extenderá un lecho de mortero para alisarlas. Las capas deben extenderse hasta alcanzar el enlucido interior a fin de que no pueda producirse a través de éste ningún puente de humedad.

En las paredes de hormigón apisonado, la capa impermeabilizante inferior se colocará después de hormigonar y apisonar la primera capa (de unos 30 cm de altura). En paredes de obra de ladrillo, de los sótanos, la capa de barrera se colocará sobre una, dos o tres hiladas. En los muros de mampostería ordinaria, por la aspereza y desigualdad de las capas de piedra hay que nivelar la superficie y alisarla bien con mortero antes de colocar el cartón.

Cuando la estructura es de hormigón armado, y las capas de impermeabilización horizontal no pueden colocarse a causa de las armaduras, entonces se recurre a la utilización de hormigón hidrófugo en las paredes del sótano. Asimismo deberán hacerse de hormigón hidrófugo las impermeabilizaciones verticales de las paredes exteriores, aunque no hay que olvidar la necesidad de dar una mano de pintura bituminosa para tapar posibles grietas capilares por las cuales podrían penetrar desde el terreno la humedad y otros agentes nocivos para el hierro y el hormigón.



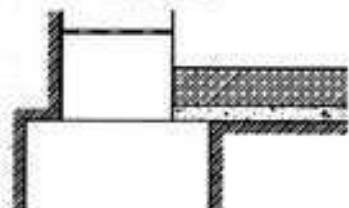
Impermeabilización de suelos

Los suelos de las salas de estar, como los de las cava o bodegas deben, por igual, mantenerse muy secos y requieren ambos una protección contra la humedad ascendente. Si el terreno sobre el que se asienta el edificio es permeable, existe poca humedad atmosférica y el nivel de aguas freáticas es muy bajo, resulta suficiente un encamado o lecho de grava gruesa de 15 a 20 cm de espesor. Bajo condiciones más desfavorables de humedad y para locales habitados permanentemente, dotados de un pavimento completo que deba proporcionar a su vez una protección térmica suficiente, hay que pensar en otras medidas específicas para la impermeabilización.

La impermeabilización del suelo se enlazará por los bordes, retornándolos hacia arriba, con las capas de barrera horizontal de las paredes. A ser posible se mantendrá este enlace de manera continua, redondeando codos, cantos y rincones en triedro según escocías de 4 cm de radio.

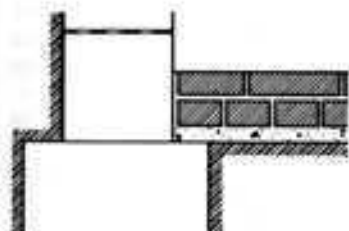
Una capa de hormigón hidrófugo de 10 cm de espesor, como mínimo, puede utilizarse directamente sobre el terreno de asiento, sin mayores precauciones. También puede emplearse ladrillo vitrificado en dos capas a rompejuntas con mortero del grupo III sobre lecho de mortero extendido encima del terreno apisonado. Las coberturas u hojas, los impermeabilizantes aplicados con espátula y los pavimentos de barrera, cuyo espesor mínimo deberá ser de 3 cm, requieren todos una base previa de hormigón pobre de 8 cm de espesor mínimo o un solado de ladrillo a sardinel alisado posteriormente con una lechada de mortero. Los

IMPERMEABILIZACIÓN DEL SUELO EN PLANTAS BAJAS



En terrenos no compactos y nivel freático muy profundo es suficiente:

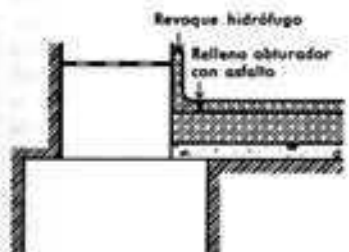
Losas de hormigón hidrófugo sobre lecho de arena ≥ 4 cm



Pere cava y bodegas (donde interesa humedad):

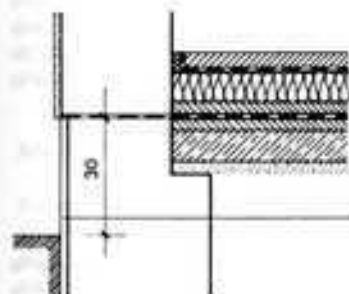
Dos o más hiladas de ladrillo refractario o reccho recubido con mortero del grupo III

Lecho de arena ≥ 4 cm

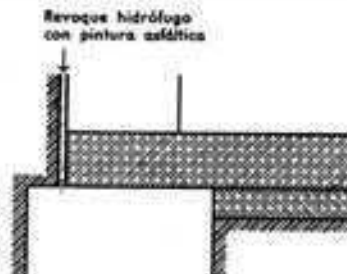


Pavimento hidrófugo ≥ 3 cm
Losas de hormigón ≥ 10 cm
Lecho de arena ≥ 4 cm

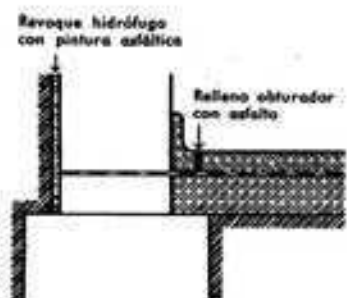
Encima de la losa de hormigón se extenderán pavimentos impermeabilizantes, hojas de obturación o capas aplicadas a espátula hasta un grueso ≥ 10 cm



Pavimento cemento armado: ≥ 5 cm
Capa impermeabilizadora
Aislamiento térmico 8 cm
Entuldo ≥ 3 cm
Capa impermeabilizadora
Entuldo ≥ 3 cm
Losas de hormigón 8 cm
Capa de arena 2-3 cm
Revoque de cemento estanco al agua

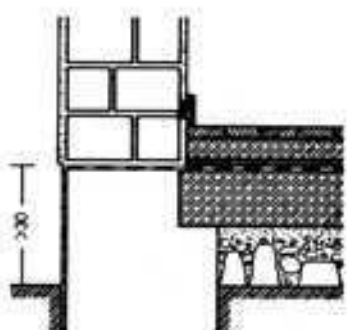


Losas de hormigón hidrófugo armado ≥ 10 cm sobre capa de nivelación de hormigón pobre ≤ 8 cm



Pavimento más seco para sótanos y cava:

Pavimento protector de cemento ≥ 5 cm con la superficie impermeabilizada (p. ej. aplicando pintura con flujos). Papel engrasado sobre dos capas de cartón asfáltico 500, losas de hormigón con la superficie pulida y alisada.



Vestíbulos y salas de estar

Suelo de parquet de madera de haya o linoleum sobre pavimento de reparto de cargas ≥ 5 cm papel engrasado. Dos capas de lana mineral $\pm$ juntas alternadas, ≈ 2 cm. Dos capas de cartón asfáltico 500 sobre betón extendido a espátula. Losas de hormigón armado con la superficie alisada encochado de piedra, grava y arena.

cartones tipo 500 o mejor, en doble capa del tipo 333, así como las hojas o lienzos impermeabilizantes deben extenderse con solapes de 10 cm, como mínimo, entre bandas. Dichos solapes se pegarán en toda su superficie utilizando colas bituminosas como adhesivo.

También pueden emplearse capas de pasta asfáltica extendida con espátula, con la que se trabaja en caliente y en dos pasadas, cada una de las cuales deberá ser de 6 mm de espesor mínimo. Tanto a los recubrimientos con láminas como a las aplicaciones a espátula se les superpondrá una capa protectora de 4 a 5 cm espesor de hormigón de árido fino con un contenido de 300 kg/m³ de cemento. En lugar de hormigón puede utilizarse como capa protectora asfalto fundido o un pavimento de losetas sobre lecho de mortero. Si hay que disponer una capa de aislante térmico, las placas aislantes se aplicarán directamente sobre el impermeabilizante, pero al proceder a la ejecución de la capa protectora final habrá que tener cuidado de que no se humedezcan aquellas placas nuevas, por lo que se recomienda cubrirlas con hojas de plástico o papel asfáltico.

Impermeabilización vertical de paredes exteriores

Para la impermeabilización de las superficies exteriores de las paredes periféricas de los sótanos se utilizan pinturas protectoras que llegan hasta la capa horizontal de barrera inferior que deben cubrir bien su junta y rebasarla un poco hacia abajo. Las pinturas protectoras deben formar una película continua y envolvente firmemente ligada a la superficie que cubre. Una superficie plana y limpia facilita el sostén y la integridad de la pintura. En las paredes de hormigón hay que limpiarlas de polvo y granos sueltos. Los muros de ladrillo deben revocarse. Tanto el hormigón como la fábrica de ladrillo y su revoque deben estar perfec-

MATERIAL IMPERMEABILIZANTE		Peso del mat. sódido (kg/dm ³)	Cantidad empleada ¹⁾ en kg/m ² para:			Ciclos trab.
			Una capa	Dos capas	Tres capas	
Capa preparatoria (sólo en frío)	Solución asfáltica	≈ 1,0	≈ 0,3	—	—	1
	Solución alquitrán de hulla	≈ 1,2	≈ 0,3	—	—	
	Emulsión asfáltica	1,1 a 1,3	≈ 0,3	—	—	
	Emulsión alquitrán de hulla	1,4 a 1,6	≈ 0,3	—	—	
Capa de protección aplicada en frío	Solución asfáltica	1,0 a 1,6	—	—	0,75 a 1,0	3
	Solución alquitrán de hulla	1,2 a 1,9	—	—	0,75 a 1,15	
	Emulsión asfáltica	1,1 a 1,3	—	—	1,15 a 1,5	
	Emulsión alquitrán de hulla	1,4 a 1,6	—	—	1,25 a 1,9	
Capa de protección aplicada en caliente	Asfalto, sin rellenar, o rellenado	1,0 a 1,5	—	2,5 a 3,5	—	2
	Alquitrán de hulla sin rellenar o rellenado	1,2 a 1,8	—	2,5 a 4,0	—	
Capa con espátula, en frío	Asfalto, disuelto o emulsionado	1,1 a 1,8	—	2,5 a 4,0	—	2
	Alquitrán de hulla disuelto o emulsionado	1,4 a 2,0	—	2,5 a 4,0	—	
Capa con espátula, en caliente	Asfalto, rellenado	≈ 2,0	—	20,0 a 30,0	—	2
	Alquitrán de hulla, rellenado	≈ 2,0	—	20,0 a 30,0	—	

¹⁾ Los materiales de impermeabilización sin rellenar se acercan a los valores inferiores indicados; los materiales rellenados, a los valores superiores.

tamente endurecidos y libres de eflorescencias para el momento de aplicar la pintura, de otro modo podría desprenderse la película en ciertas zonas. Las pinturas se dan normalmente en dos o tres manos con brocha ancha o cepillo. Cada mano debe estar seca antes de que se aplique la siguiente. Los trabajos deben interrumpirse cuando llueve.

La duración de estas pinturas impermeabilizantes es limitada; es conveniente pues, que la obra de fábrica tenga ya de por sí una cierta resistencia e inalterabilidad o por lo menos que vaya defendida por un enlucido protector de cemento. Es aconsejable un cuidado especial al proceder al relleno con tierra de la parte inmediata a las paredes. El vertido no debe empezar hasta que la pintura se haya secado y endurecido; las partes que no hayan quedado completamente cubiertas, se pintan de nuevo. Al efectuar el relleno se evitará todo deterioro de la capa impermeabilizante por rozamiento o arranque. Es conveniente que en inmediato contacto con la superficie pintada sólo haya barro, arena o tierra, con exclusión de gravilla o grava, tanto si es de trituradora como si es de río.

Mayor resistencia frente a posibles deterioros presentan las pastas asfálticas extendidas a espátula o los lienzos u hojas de recubrimiento. Las pastas se aplican en dos pasadas de espátula, cada una de ellas de 3 mm de grosor mínimo, sobre una capa de preparación o imprimación fluida aplicada en caliente. Los lienzos u hojas de recubrimiento se disponen en una o dos capas. Su empleo se recomienda sobre todo en terrenos poco permeables como medida adicional de seguridad, combinándolas con un sistema de drenaje, y en regiones húmedas, con abundante condensación, son aconsejables incluso aunque el terreno sea permeable.

La manera mejor y más eficaz de mantener secas las paredes exteriores que penetran en el terreno es, sin embargo, disponer capas de drenaje y aireación o bien mantener el terreno completamente alejado de la pared del sótano por medio de muros de sostén. Mediante ladrillos huecos o planchas onduladas se añade a la posibilidad de aireación también la de drenaje. Su empleo no exige, no obstante, de aplicar la correspondiente pintura impermeabilizante a la pared —al contrario de lo que ocurre si se utilizan pozos de aireación o iluminación, de altura igual a la de la pared, con empalme en el desagüe.

Impermeabilización a nivel del zócalo

La parte más amenazada es siempre el zócalo del edificio. Está expuesto tanto al agua que baja a lo largo de las paredes de los pisos como a la que salpica del suelo o que procede del terreno

humedecido, o de la nieve y del hielo sobre él existentes. La parte expuesta a helarse abarca todo el perímetro de paredes exteriores hasta una profundidad bajo tierra de 0,80 a 1,20 m y el límite superior se considera el de las salpicaduras de agua (unos 0,30 m sobre el suelo exterior). Esta parte de las paredes de sótanos debe hacerse en todo su espesor con un material adecuado o bien dotarlas de una protección mediante un revestimiento de placas resistentes a los agentes atmosféricos e impermeables, con revoques de hormigón o con enlucidos de cemento. Las capas de pintura o enlucidos bituminosos, por sí solos pueden ser estropeados mecánicamente con excesiva facilidad.

El hormigón de revestimiento se fabricará con una dosificación de cemento más alta y agregando algún agente impermeabilizante o que le dé mayor compacidad. Los áridos pueden elegirse entre diferentes clases de gravilla triturada. El revoque de hormigón se suele hacer de un espesor de unos 4 cm, y después de endurecido se hará labrar su superficie por el cantero. O, mejor aún, se tratará como hormigón visto para preservarlo de las grietas capilares que podrían producirse en la prosecución de los trabajos.

Si se coloca al zócalo un revestimiento de ladrillos vitrificados, debe situarse a cierta distancia delante de la pared. La caja de aire que se produce debe estar en comunicación con el aire exterior y dotada de desagüe. Si los ladrillos se ponen en contacto directo con las paredes de los sótanos, es de temer que se produzca una impregnación de humedad en el zócalo. La superficie vitrificada del ladrillo no enlaza bien con el mortero de cemento. Al fraguar ya se producen grietas capilares por las cuales la humedad penetra hacia los poros mucho más finos de la obra de fábrica que está detrás.

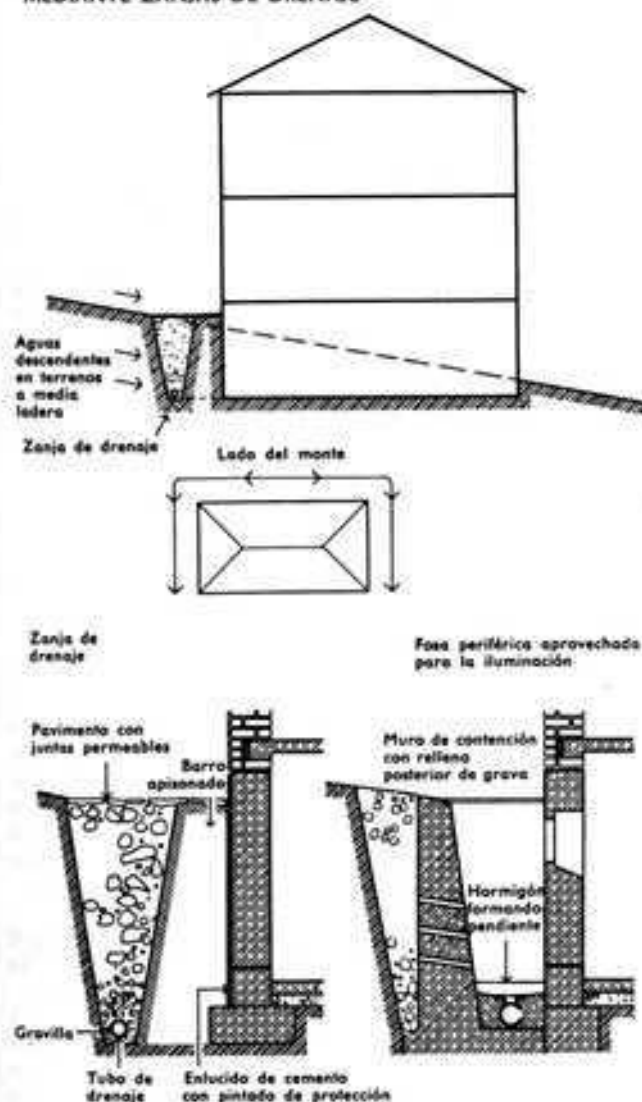
Los techos macizos de sótanos, si no hay una razón que obligue a ello, no deben atravesar por encima del zócalo sobresaliendo hacia afuera, ni siquiera hacerse visibles sobre el mismo. Es mejor que la superficie del zócalo termine debajo de la capa horizontal superior de barrera que corona la pared exterior del sótano. Una obra exterior delante de la base de apoyo del techo ofrece al enlucido exterior el apoyo conveniente y además tiene la ventaja de que, como todos los demás techos macizos de pisos, puede impedir o retardar mediante una placa aislante la fuga de calor de los elementos que forman el techo.

Protección contra el agua superficial en las construcciones a media ladera

En las construcciones situadas a media ladera hay que prever la posibilidad de la llegada de aguas procedentes del lado de la

montaña. No basta en tales casos la protección con enlucidos de cemento y pinturas impermeabilizantes. Como medida complementaria debe disponerse una zanja de drenaje que recoja el agua y la conduzca lejos de las paredes de la casa. El agua que desciende por el terreno en pendiente es recogida en la zanja y, al nivel de los cimientos, es captada por tubos de drenaje y alejada de aquel sitio rodeando la construcción. (Los tubos de drenaje son tubos cerámicos porosos, muy cocidos, de 33 cm de longitud, con diámetros de 4 a 20 cm; se colocan sueltos, sin cerrar las juntas, unos a continuación de otros y en pendiente.)

PROTECCIÓN CONTRA EL AGUA DE TERRENOS A MEDIA LADERA MEDIANTE ZANJAS DE DRENAJE



Mejor y más segura es una protección con materias impermeabilizantes o termoplásticas como las que se describen más adelante. También pueden recogerse y canalizarse las aguas que afloran del terreno abriendo una zanja periférica (utilizable como trinchera o pozo ampliado de iluminación) formando talud o con canalización de desagüe. El punto más alto del fondo de dicha zanja no debe sobrepasar el nivel del suelo del sótano.

Medidas adicionales bajo el terreno

En semisótanos o sótanos semienterrados habitables hay que acondicionar de distinta manera los pavimentos y las paredes que quedan en contacto con la tierra y las superficies que tienen sólo contacto con el aire, dado que sus respectivas condiciones

repercutirán en niveles de temperatura distintos. Precisamente las paredes enterradas, aparte de la zona a que alcanzan las heladas, presentan una temperatura media anual (en ciertos climas) de 7° C lo que las hace lugar preferente para la formación de aguas de condensación. Especialmente en verano, cuando la temperatura del aire es más alta y existe mayor humedad relativa, las paredes y suelo pueden aparecer cubiertos de agua de condensación. Estos locales huelen en seguida a moho y presentan formaciones de hongos. Para solucionar este inconveniente es necesario dotar a estas paredes y suelos subterráneos, no sólo de una impermeabilización completa sino también de una protección térmica adecuada. Las paredes interiores también deben acondicionarse, ya que por ellas asciende el frío del suelo desde los cimientos. En estas paredes se requiere un revestimiento térmico hasta 30 cm, por lo menos, a partir del nivel del pavimento. Si las paredes exteriores están en contacto directo con el terreno, el aislamiento térmico deberá remontarse hasta pasados 30 cm, como mínimo, por encima del nivel exterior del terreno. Para este tipo de revestimientos son especialmente adecuadas las esteras de lana mineral colocadas sobre hojas de cartón "respirantes".

Protección contra el acceso del agua subterránea y del agua a presión

Cuando una parte de una obra cae por debajo del nivel máximo de las aguas subterráneas, es preciso, si quiere impedirse la penetración de esas aguas, construirla en forma de cuba impermeable.

La misma medida puede hacerse necesaria en sitios muy llanos de terreno compacto, donde resulta imposible evacuar el agua canalizada por una zanja de drenaje. En estos lugares, al abrir zanjas para los trabajos de construcción y rellenarlos posteriormente, se dan condiciones que equivalen a las de las paredes de una pileta o piscina. En la fosa rellena, aunque esté apisonada la tierra vertida, ésta no llega a alcanzar la compacidad del terreno natural; cuando llueve se produce una acumulación de agua filtrada que presiona sobre las partes enterradas del edificio de manera semejante a si estuviesen sumergidas en agua. Un cuerpo sumergido en un líquido experimenta una presión uniforme perpendicular a sus caras. Según el principio de Arquímedes tal presión depende de la profundidad de su inmersión, o sea de la altura hidrostática de la columna de agua, con independencia de la cantidad de agua que rodee al cuerpo. Las medidas de impermeabilización simple estudiadas no ofrecen suficiente resistencia contra esta presión hidrostática. En los terrenos a media ladera, puede aprovecharse la pendiente y eliminar las aguas de filtración mediante una zanja de drenaje periférica, antes de que se forme agua estancada. Pero en los sitios muy llanos, al no existir facilidad para la evacuación, deberá rodearse todo el edificio que quede por debajo de la cota del terreno de una formación de cuba impermeable, a menos que se renuncie a la construcción de sótanos. Sólo bajo estas condiciones pueden evitarse los sótanos húmedos en gran medida e inaprovechables periódicamente.

Antes de empezar estos trabajos de impermeabilización es necesario que la excavación de aquella parte del edificio que hay que hacer hermética contra la entrada de aguas sea agotada y desecada. Cuando se efectúa la desecación mediante el descenso del nivel de las aguas subterráneas o mediante el agotamiento a cielo abierto, hay que disponer siempre de bombas de repuesto con objeto de evitar que una interrupción eventual o una avería de las bombas de servicio pueda dar lugar a una irrupción del agua en la excavación, poniendo en peligro los trabajos de aislamiento e impermeabilización. Un pozo con filtro tubular en la zanja puede servir para la misma finalidad. Si falla repentinamente la instalación de agotamiento, el agua, que desde abajo ejerce presión contra la solera, puede penetrar en la excavación o fosa por la abertura del pozo e inundarla. Así se evita un levantamiento y deterioro de la impermeabilización de la solera.

El mejor tiempo para efectuar estas obras de cimentación es el otoño, que es la época en que puede preverse el nivel más bajo para las aguas subterráneas. Para la desecación de zanjas véase pág. 13.

La posibilidad de llevar a cabo la construcción de una cuba o fosa estanca como barrera contra aguas que impregnan el terreno debe tenerse en cuenta desde la planificación de la obra. Los trabajos de obturación e impermeabilización deben llevarse a cabo por casas especializadas, puesto que únicamente un trabajo cuidadosamente ejecutado puede garantizar una perfecta y duradera obturación contra las infiltraciones de agua; si posteriormente hay que reparar averías, muchas veces sucede que tales reparaciones, o son imposibles, o sólo se consiguen a costa de elevados gastos.

El cierre y obturación únicamente puede soportar los esfuerzos perpendiculares a su plano. Para contrarrestar esfuerzos distintos, que pueden provenir de grietas de dilatación, asentamientos o sacudidas, es condición previa indispensable dimensionar correctamente y acondicionar los elementos estructurales contiguos a la capa impermeable cuya eficacia se desea duradera; en especial si los bloques de cimentación han tenido que hundirse en busca de terreno más firme y quedan por debajo de las capas inferiores de obturación.

Las medidas de impermeabilización deberán alcanzar hasta 30 cm por encima del máximo nivel de las aguas subterráneas entendiéndose que como dicho nivel habrá de tomarse la máxima de todas las observaciones anuales. Si el terreno es compacto, debido a la presión de aguas estancadas, habrá que llegar hasta por lo menos 30 cm por encima del nivel definitivo del terreno. La hoja o película impermeable siempre debe aplicarse sobre la cara exterior de la obra de fábrica, que cierra los sótanos, para que resulte constantemente comprimida por el agua subterránea contra las paredes en cuestión. Esta obturación "exterior", sin embargo, si tiene que realizarse mediante trabajos posteriores sobre una obra ya existente, solamente puede llevarse a cabo, en general, mediante gastos considerables.

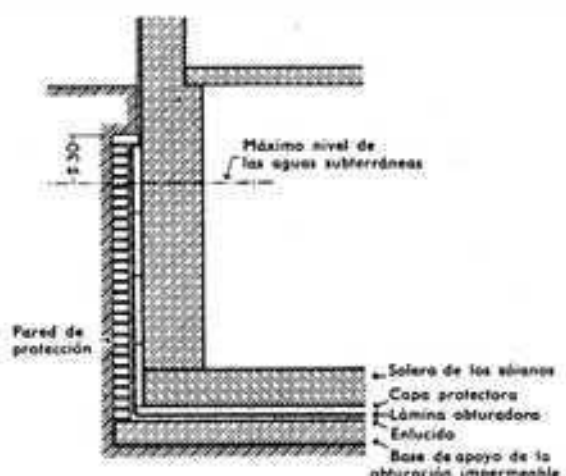
En tales casos, cuando una subida del nivel de las aguas subterráneas hace indispensable la aplicación ulterior de una protección impermeable a las paredes de unos sótanos, se recurre a la aplicación de la hoja impermeable por la parte interior de la obra de fábrica. Esta "obturación interior" sólo puede emplearse como recurso y nunca debe aplicarse a construcciones de nueva planta.

En caso de obturación o impermeabilización exterior, la hoja impermeabilizante está colocada en la parte exterior de las paredes de la cámara a proteger.

La realización de una construcción subterránea protegida contra infiltraciones y en la cual la lámina o película impermeable se aplica y fija en el paramento interno de una pared de protección construida previamente, se lleva a cabo según las siguientes operaciones:

1. Aplicación de una losa o solera de hormigón árido de 15 a 20 cm de espesor, enlazada con los cimientos y como base de apoyo de la obturación impermeable.
2. Construcción de una pared de media asta o citara como protección y apoyo de la lámina obturadora, y que debe subir hasta unos 30 cm como mínimo por encima del máximo nivel de las aguas subterráneas.
3. Alisado de la superficie de apoyo del impermeabilizante (en la solera y en las paredes de protección) por medio de un revoque de mortero de cemento o un enlucido con cemento solo. Los ángulos y esquinas deben redondearse.
4. Fijación y adherencia de la hoja impermeable de obturación.
5. Colocación de una capa aislante (cartón asfáltico simple, papel parafinado, etc.) para evitar que se pegue a la capa protectora que llevará encima.
6. Colocación de la capa protectora de unos 5 cm de espesor sobre la lámina de obturación.
7. Hormigonado de la solera de los sótanos (con hormigón en masa apisonado o con hormigón armado).
8. Construcción con hormigón o con obra de fábrica de las paredes del recinto de los sótanos.

Ventaja: La lámina o película obturadora, que forma un conjunto cerrado y continuo, puede ejecutarse en caso de excavaciones estrechas y sin espacio de trabajo fuera del perímetro de la obra.



Inconvenientes: Una vez terminada la cuba o fosa ya no es posible la reparación o mejora de los desperfectos que puedan sobrevenir en la obturación de las paredes, puesto que la lámina impermeable queda pegada a la pared protectora y al desprenderla de ella se rasga y estropea.

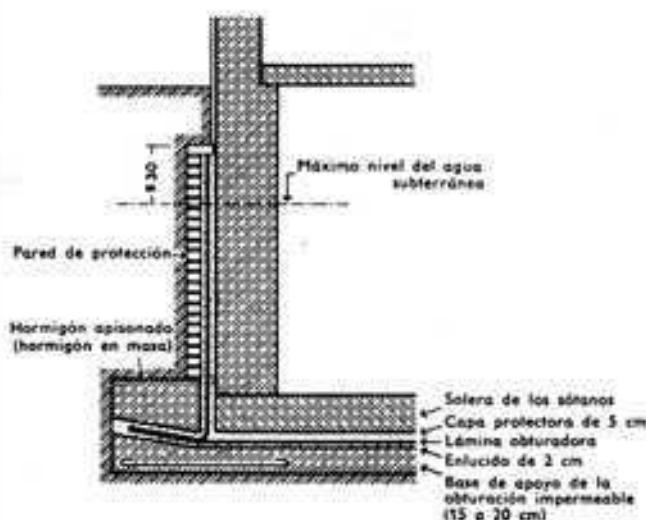
La ejecución de una cámara de sótanos o cuba protegida contra las aguas subterráneas y en la que haya que aplicar, desde el exterior, a su pared de recinto la lámina o película impermeabilizante se lleva a cabo como sigue:

1. Aplicación de una losa o solera de hormigón árido de 15 a 20 cm de espesor, enlazada con los cimientos y como base de apoyo de la obturación impermeable.
2. Alisado de esta base de apoyo.
3. Fijación y pegado de la lámina obturadora impermeable, cuando menos hasta 30 cm más allá del paramento externo de la pared del sótano y con pendiente hacia arriba.
4. Colocación de una capa aislante (cartón asfáltico, liso, papel parafinado, etc.) para impedir la adherencia con la capa de protección.
5. Aplicación de una capa de protección sobre la lámina obturadora, con un espesor de unos 5 cm.
6. Hormigonado de la solera de sótanos (con hormigón armado o sin armar).
7. Construcción con hormigón o con obra de fábrica de las paredes de recinto de los sótanos o de la cuba.
8. Alisado de las mismas.
9. Fijación y pegado de la lámina obturadora impermeable poniendo el máximo cuidado en la ejecución de la unión con la obturación impermeable de la solera.
10. Colocación de una capa de separación sobre la lámina obturadora.
11. Hormigonado de la capa protectora sobre la junta de unión de las láminas obturadoras de la pared y de la solera.
12. Construcción de una pared de media asta, para protección, a la distancia de 4 a 6 cm; relleno del hueco con mortero de cemento espeso (consistencia de tierra húmeda) bien apisonado, y terraplenado simultáneo de la parte posterior de la pared protectora.

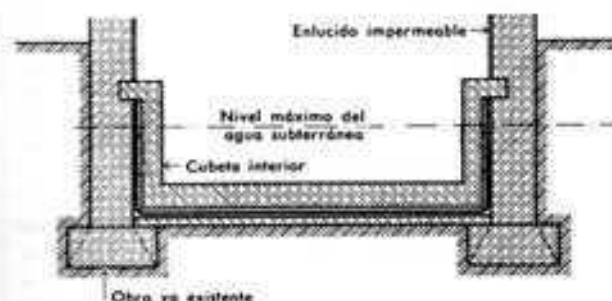
Ventajas: Los trabajos de reparación o mejora en la lámina obturadora son posibles, porque como esta lámina está adherida a las paredes del recinto de sótanos, la pared protectora puede ser derribada o separada sin daño ni deterioro de la lámina impermeabilizante. La presión del agua fomenta una mayor adhesión entre la cobertura impermeabilizante y las paredes del sótano a las que va pegada.

Inconvenientes: Es peligrosa la junta entre las obturaciones de paredes y de solera. Es necesario hacer mayor la excavación preparatoria de la obra, porque la junta mencionada sobresale del perímetro del edificio.

Si la obturación se realiza por el interior, se aplica la lámina obturadora sobre el paramento interno de las paredes de los sótanos.



tanos. La obturación interior es sólo una solución de recurso para la impermeabilización de obras ya existentes, y como tal debe ser considerada, porque tiene el siguiente inconveniente: El agua subterránea ejerce presión, a través de la solera y de las paredes de los sótanos, sobre la lámina obturadora y tiende a



desprenderla de la superficie a que está adherida. Así es que la lámina impermeable está siempre sometida a esfuerzos o tensiones hacia el interior de la cámara, que deben neutralizarse mediante la llamada cubeta interior. Esta cubeta o artesa interior consiste en una solera de suficiente peso que oprime la lámina impermeable venciendo la subpresión del agua, y en unas paredes de obra de fábrica, hormigón armado o sin armar que mantienen tensa la lámina obturadora lateralmente.

Base de apoyo y protección de la lámina obturadora

Condiciones indispensables para la consecución de una impermeabilidad segura y duradera frente a aguas subterráneas son—prescindiendo del cuidado puesto en los trabajos de impermeabilización propiamente dichos— una base de apoyo de la lámina obturadora de material adecuado y una cuidadosa protección de dicha lámina, que es muy sensible, antes de proseguir con los trabajos de obra de fábrica.

Como esas cámaras protegidas contra las aguas subterráneas son difíciles de ejecutar, se procura ya en la planificación simplificar el trazado de la planta de la cámara evitando los ángulos y acodaduras en la base de apoyo de la obturación impermeable. La losa de apoyo o base de cimentación de la solera impermeable debe ser perfectamente plana, seca y libre de toda presión de agua antes de la aplicación de la lámina obturadora. Las paredes de protección de obra de fábrica deben ser alisadas con una capa de mortero que tenga por lo menos 1 cm de espesor. La solera se recubrirá con un enlucido teniendo el máximo cuidado en matar y redondear todos los rincones y aristas. El radio de esos redondeos debe ser de 6 a 10 cm.

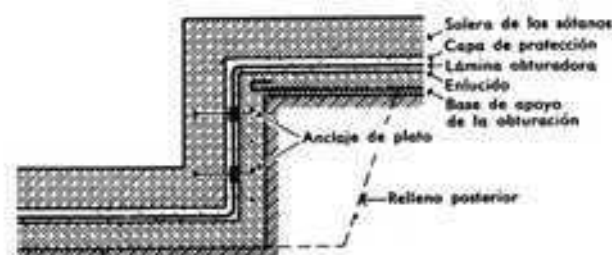
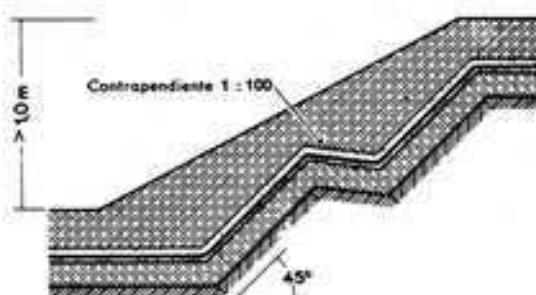
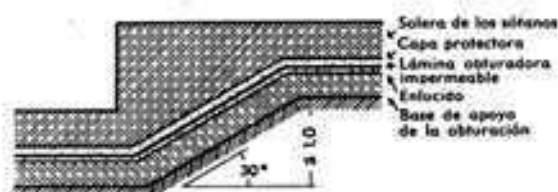
Los desniveles en la base de apoyo de la obturación impermeable deben ganarse, cuando sea posible, por medio de pendientes de 30°

Los desniveles mayores de 1 metro obligan a intercalar, en las pendientes de enlace, contrapendientes del 1 : 100. La pendiente de enlace puede en tales casos llegar a los 45°

Si por razones constructivas no es posible dar ningún talud o pendiente, hay que asegurar la compresión de la obturación impermeable mediante anclajes de plato. Hay que contar con el asiento del relleno posterior. Con objeto de evitar una separación o desprendimiento de la capa impermeabilizante de la solera de los sótanos o losa superior, es necesario armar la base de apoyo de la obturación impermeable.

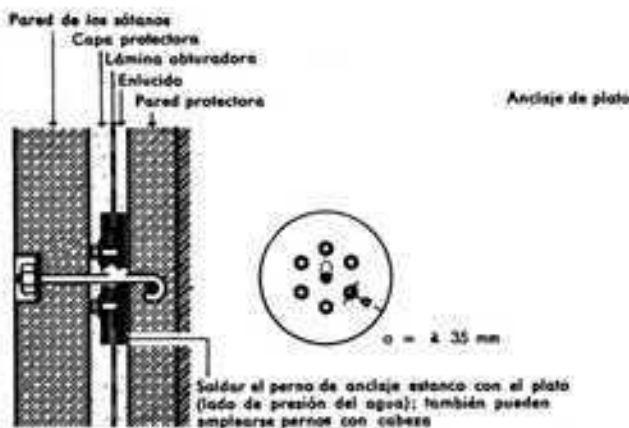
En el caso de grandes cargas aisladas, conviene disponer rebajos en la losa de base (artesas o cubetas).

La pared lateral de protección debe ser delgada y elástica (de un espesor de media asta para poder repartir con uniformidad la presión de las tierras y del agua sobre la lámina obturadora y para lograr la indispensable compresión—por lo menos en caso de impermeabilizantes bituminosos— entre la pared protectora (envolvente) y las paredes de recinto o perímetro de la cámara de sótanos. Por estas razones, el relleno posterior de la envolvente debe efectuarse inmediatamente después de acabar la construcción de la cámara impermeabilizada y procediendo en esa operación con el mayor cuidado posible. En todos aquellos sitios en que no puede ejercerse una fuerte compresión de la lámina obturadora contra las paredes de recinto de los sótanos, por ejemplo en el caso de altas paredes protectoras aisladas, o en puntos en que por razones constructivas no es posible realizar un relleno posterior suficiente, se tendrá que anclar la envolvente con la pared mediante anclajes de plato.

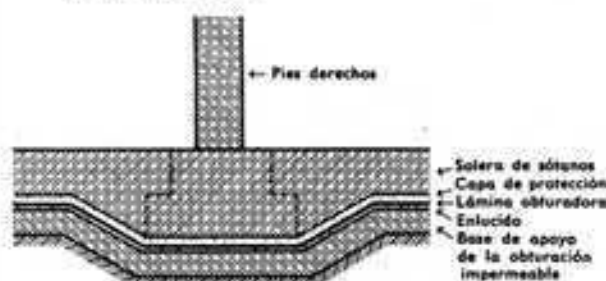


Los recintos de tablestacas, una vez construida la cámara impermeable deben quitarse porque también elevarían e impedirían la necesaria presión de las tierras y del agua sobre la envolvente. Las paredes de protección de ladrillo externas deben reforzarse con un tabique de media asta antepuesto para que la presión del agua se reparta lo más uniformemente posible sobre la lámina impermeabilizante.

Las capas verticales de obturación deben separarse de las horizontales (interpuestas en el muro contra la humedad ascendente) mediante placas de cartón; asimismo las láminas verticales de obturación deben separarse cada 5 o 10 m y en los ángulos dejando juntas verticales cubiertas con cartón bituminoso.



Profundización de la solera en caso de grandes cargas aisladas



Según los casos deberán hacerse coincidir estas juntas con las de dilatación dejadas en la obra. Las juntas de dilatación nunca deben coincidir con las esquinas o ángulos verticales de la obturación impermeable.

Con objeto de proteger la película obturadora contra posibles desperfectos ocasionados en ella al hormigonar la solera de la cámara y sus paredes, es necesario aplicar, después de las manipulaciones de su fijación, una capa protectora. Entre la lámina obturadora y la capa de protección debe siempre colocarse cartón asfáltico liso, papel parafinado u otro aislante análogo para impedir que el mortero pueda adherirse o pegarse a la lámina obturadora. Dicha capa de protección debe tener unos 5 cm de espesor, cuando menos. Sobre la solera de la cámara puede estar formada dicha capa por un enlucido muy delgado de mortero (de dosificación 1 : 5) y otra capa encima de hormigón fino. En lugar de la capa de hormigón fino, en la que también puede incluirse una tela metálica, puede ponerse una hilada de ladrillos recóchos o de baldosas de hormigón. La capa protectora de las paredes de la cámara puede consistir en una citara o pared de media asta o en un tabicón de losas de hormigón. Si la altura es grande hay que prevenir la caída de las placas colocando adecuadamente una armadura de varillas de acero.

La resistencia de la solera de la cámara estará de acuerdo con la presión del agua del subsuelo, que depende de la altura que alcance en el terreno circundante el nivel de las aguas subterráneas.

Para alturas de agua que no excedan de 50 cm por encima del borde superior del pavimento de la cámara, puede hacerse la solera con hormigón apisonado (hormigón en masa). La capa de hormigón apisonado puede contrarrestar, sólo con su peso propio, la subpresión del agua, a condición de tener un espesor aproximado de $0,5 \cdot h$, siendo h la diferencia de altura entre la solera de los sótanos y el nivel máximo que puede llegar a alcanzar el agua subterránea.

Para mayores alturas de agua es más económico configurar la solera de la cámara como losa de hormigón armado con armaduras en cruz, como losa hueca o como emparillado de vigas (inversión del techo de vigas), siempre y cuando no se desee conferir la suficiente rigidez a la placa de fondo poniendo los tabiques superpuestos a estrecha distancia uno de otro. De modo especial, antes de iniciar todo trabajo de armado debe estar asegurada la protección resistente y suficientemente sustentante de la lámina obturadora.

Ejecución de impermeabilizaciones resistentes a la presión del agua, a base de cartones bituminosos, lienzos impermeables y cintas metálicas

Con respecto a material y ejecución de impermeabilizaciones bituminosas resistentes a la presión del agua, es válida en general la norma DIN 4031; en caso de que la presión de agua sea sólo exigua o bien de corta duración, también la norma DIN 4122.

La lámina obturadora, compuesta por varias capas de cartón liso o bandas cubiertas de arena fina, se pegará directamente a la base de apoyo. Como refuerzo pueden interponerse hojas de cobre blandas de espesor mínimo 0,1 mm, siempre que a su vez las láminas obturadoras no sean de otro metal.

Las láminas bituminosas ofrecen, frente a las obturaciones a base de una capa única de material plástico, la ventaja de una mayor seguridad frente a errores en la ejecución, aunque las láminas bituminosas por sí mismas sean más flojas ante los esfuerzos mecánicos.

El número de láminas que compondrán la capa obturadora es función de la profundidad de inmersión de la obra, medida en metros, por debajo del nivel de las aguas subterráneas así como de la presión a soportar por dicha capa en kg/cm^2 . Debe tomarse el mayor número de láminas que corresponde a cada caso. Medidas en profundidad de la obra por debajo del nivel máximo de las aguas subterráneas:

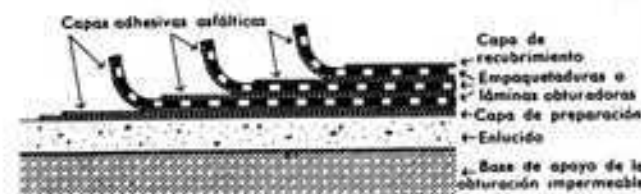
a) Por encima de dicho nivel	3 láminas
b) Por debajo de dicho nivel pero bajo la superficie del terreno.	
En terrenos compactos	
Hasta 3 m	3 láminas
De 3 a 6 m	4 láminas
De 6 a 12 m	5 láminas
Más de 12 m	6 láminas

Medidas en presión sobre la capa múltiple:

Hasta 0,5 kg/cm^2	3 láminas
De 0,5 kg/cm^2	4 láminas
De 1,0 hasta 2 kg/cm^2	5 láminas
De 2,0 hasta 5 kg/cm^2	6 láminas

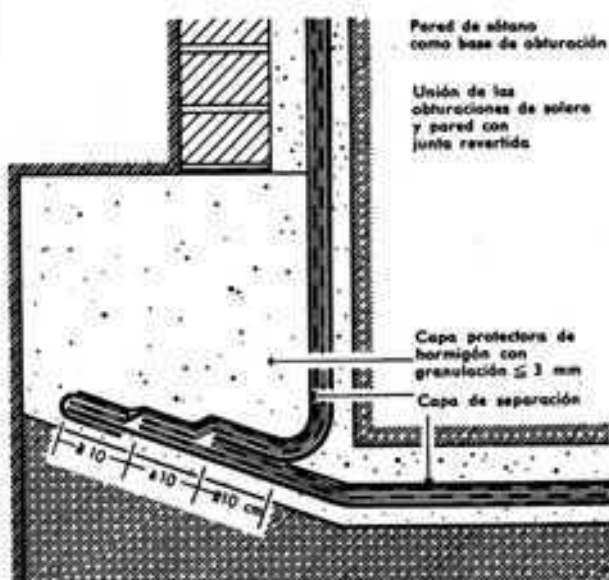
Las juntas longitudinales de las láminas obturadoras compuestas de varias capas tienen que hacerse desplazando éstas en la mitad de su anchura. Las juntas transversales deben también alternarse para que no coincidan. Todas las juntas se efectuarán con un solapado o recubrimiento de las láminas de 10 cm. En los codos o ángulos, las láminas deberían apretarse para garantizar un solape sin huecos.

Con tres capas de cartón pueden salvarse juntas de dilatación hasta de 10 mm de anchura; con cuatro o más capas pueden, sin peligro, hacerse juntas de 15 mm o más.



LA PARED DEL SÓTANO COMO BASE DE APOYO DE LA OBTURACIÓN





Si hay que salvar anchuras mayores hay que reforzar la capa obturadora por medio de chapas metálicas.

Dichas chapas deben ser de 0.2 cm, como mínimo, de espesor y de 30 cm de anchura, quedando pues unos 15 cm a cada lado de la junta.

Todas las soluciones de continuidad en la obturación, como tapas de pozos, canalizaciones para tubos, anclajes de plato, etc., deben ejecutarse con el máximo cuidado.

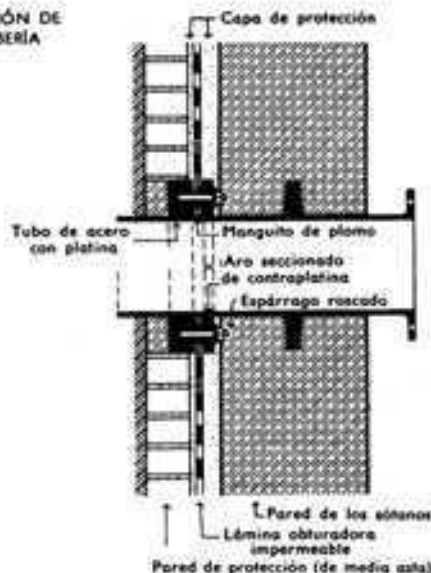
Las juntas con abrazaderas de obturación deben ser evitadas, empleándose para ello las llamadas juntas de pletinas. Estas pletinas deben ser suficientemente amplias para que sea posible pegar a ellas el material de obturación.

La distancia entre el borde de la pletina y el centro del tornillo no deberá ser inferior a 85 mm.

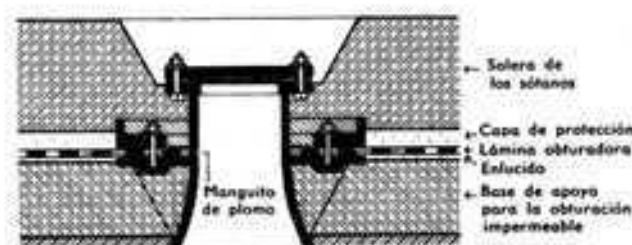
La colocación de un manguito de plomo entre las láminas obturadoras impide que éstas se corten con la presión ejercida sobre las pletinas. El diámetro del manguito debería ser cuando menos 10 cm mayor que el de las pletinas.

Las bocas de los pozos que se construyen en la solera de las zanjas para la colocación de filtros tubulares, una vez acabada la construcción de la cámara y extraídos los filtros y, en algunos casos, rellenos con grava los agujeros, se tapan con una pletina ciega con junta anular de goma.

IMPERMEABILIZACIÓN DE UN PASO DE TUBERÍA



CIERRE HERMÉTICO DE BOCAS DE POZOS



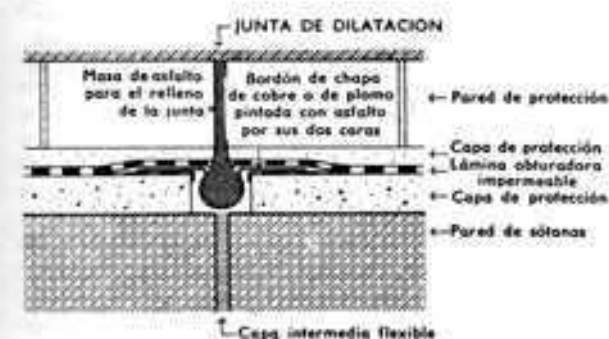
La capa impermeabilizante debe estar solamente sometida a compresión; por ello debe estar aprisionada constantemente entre elementos sólidos que la sometan a una presión suficiente para casos especiales, lo cual queda garantizado, en profundidades por debajo de los 2 metros, con una presión mínima de 0.1 kg/cm², sin contar el empuje del agua. La carga no debe exceder de 5 kg/cm² y debe estar uniformemente repartida o ser progresivamente decreciente.

La máxima temperatura a la que puede exponerse una cobertura o lámina de obturación es, por lo menos, 15° C por debajo del punto de fusión de la cola adhesiva (según Krämer-Sarnow) pero puede darse como máximo 40° C. En casos determinados se precisará alguna medida protectora o refrigerante. Bajo temperaturas menores de 4° C y fuerte condensación atmosférica no deberían ejecutarse los trabajos sin contar con medidas preventivas de protección.

Impermeabilizantes a base de lienzos termoplásticos (DIN 18190)

Contrariamente a los impermeabilizantes bituminosos, que necesitan varias capas de soporte a las diversas aplicaciones de pintura impermeabilizante, los lienzos de material termoplástico homogéneos y en una sola capa, soldables entre sí, constituyen ya por sí mismos el elemento de impermeabilización. No es preciso que queden encajados, ni deben pegarse siempre a la superficie sobre la que se aplican, ni necesitan cobertura alguna de barniz o pintura. Sólo es preciso pegarlos por toda su superficie cuando van aplicados a superficies verticales y basta resguardarlos con una capa protectora de cobertura contra los daños mecánicos y el contacto con mortero y hormigón pastosos.

La estanquidad de los materiales dispuestos en una sola capa depende de la cuidadosa ejecución de las zonas de empuje o de junta, las cuales sólo deben realizarse mediante soldadura



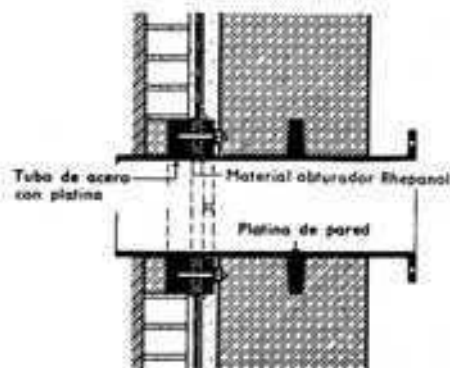
con disolventes. Las hojas de plástico deben solaparse por lo menos de 5 a 6 cm en los puntos de empalme y en las juntas. Si las hojas se pegan eventualmente a la superficie sobre la que se aplican, las zonas de empalme entre hojas deben quedar absolutamente exentas de substancia adhesiva. Los puntos de soldadura tienen que protegerse de todo calentamiento acusado, por ejemplo, de la radiación solar.

En las zonas de cruces entre juntas y empalmes es preciso planchar los bordes de las tiras inferiores, en caso de hojas de espesor superior a 1 mm. En los vértices negativos y positivos hay que soldar caperuzas de refuerzo de igual material y espesor. También las juntas requieren a veces un refuerzo adicional, entre otras posibilidades, mediante una capa metálica intermedia. Cuando la lámina obturadora es atravesada por conducciones, desagües, riostras, etc. se emplea, como en las tiras asfálticas, el sistema de impermeabilización por juntas de pletinas. También aquí deben quedar disponibles por lo menos 35 cm entre juntas, vértices, gargantas y cantos y el borde de la perforación. Con objeto de que el lienzo impermeable, de una sola capa, no pueda quedar dañado o estrujado entre las pletinas, deben fijarse por ambos lados anillos elásticos de manguito.



La estanquidad de los puntos unidos por soldadura puede verificarse posteriormente introduciendo aire comprimido en un canal dejado a este efecto al efectuar las soldaduras o bien disponiendo un conductor de tierra y detectando mediante un comprobador eléctrico de alta tensión, según los casos. Sin embargo, estos métodos sólo se aplican en general al preparar en el taller lienzos impermeables de gran superficie.

Puesto que el contacto directo de las hojas con el mortero y el hormigón en estado pastoso menoscabaría la elasticidad natural del material de las hojas y podría destruirlas en el caso de formarse grietas, es condición indispensable colocar o pegar tiras protectoras de separación antes de disponer los lienzos impermeables.



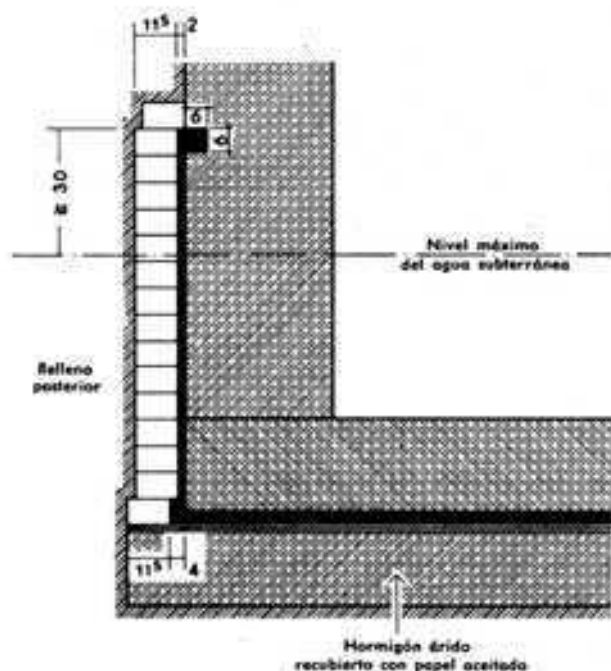
Impermeabilización a base de pastas extendidas con espátula

Como el trabajo y los riesgos que supone la colocación a mano de los lienzos o tiras impermeabilizantes es grande, se empleó ya desde hace mucho tiempo la impermeabilización con pastas de relleno a base de mástique asfáltico, aptas para ser extendidas con espátula. Estas pastas deben ser de elasticidad suficientemente permanente y de un grueso suficiente para cubrir sin daño las grietas en el fondo a que se adhieren. Con el posterior desarrollo de este método a base de materiales plásticos aplicables por proyección se han abierto todavía nuevas posibilidades para ejecutar impermeabilizaciones eficientes y seguras de obras. Ahora se esbozará con brevedad la forma de realizar la

impermeabilización de mástique asfáltico resistente al agua subterránea.

La impermeabilización con mástique no se hincha ni se pudre (como sucede con frecuencia con los cartones y láminas obturadoras insuficientemente ajustadas), porque no contiene ninguna substancia putrescible. Por sus cualidades de plasticidad, el mástique asfáltico es muy adecuado para su aplicación sobre

IMPERMEABILIZACIÓN CON MÁSTIC PAREDES DE SÓTANOS DE HORMIGÓN



bases que presenten muchos entrantes y salientes y tengan rincones y esquinas. Asimismo, en obras que sufran importantes asentamientos, la obturación impermeable con mástique está muy indicada porque se presta a seguir los movimientos lentos de la obra sin perder su impermeabilidad. Hay que distinguir entre las obturaciones con mástique que hayan de sostener presión de agua y aquellas que únicamente tienen que impedir el paso de ésta, sin presión. Una obturación impermeable hecha con mástique, de un espesor de 20 mm, capaz de soportar agua a presión, corresponde a una obturación de cuatro hojas de cartón fieltro del tipo 500. Se lleva a cabo siguiendo la llamada "técnica de la cubeta".

La capa obturadora, que es de un mástique que contiene un 22% de asfalto natural, se extiende sobre un lecho de 10 a 20 cm de hormigón árido, cubierto con papel aceitado y recibe como protección contra posibles daños de carácter mecánico una capa de mástique asfáltico de igual o inferior calidad. Sobre la capa protectora se hormigona la solera de los sótanos y se asienta el recinto formado por las paredes de los mismos. La humedad da origen a poros y burbujas, pues la humedad existente en los poros del hormigón se evapora al aplicar la masa asfáltica caliente. El vapor dificulta la adherencia de la masa caliente, por lo cual no debe ésta aplicarse a las paredes de los sótanos hasta que el paramento de hormigón o las juntas de la obra de fábrica se hayan secado suficientemente. La impermeabilización de las paredes de recinto se efectúa por el procedimiento de colada. Como molde se construye un tabicón de media asta de ladrillo en seco.

Humedad procedente de precipitaciones

La parte de obra situada debajo del terreno está expuesta a condiciones más o menos estables. Así, por ejemplo, a partir de cierta profundidad, variable con la densidad y permeabilidad del

terreno, la temperatura de éste permanece sensiblemente constante (unos $+ 7^{\circ}\text{C}$) a lo largo de todo el año, como también la humedad específica.

Sobre la superficie de la obra por encima del terreno actúan, por el contrario, todos los elementos atmosféricos variables a corto y a largo plazo: radiación solar, cambios de temperatura, lluvia, nieve, hielo. Ahí radican las causas de la mayoría de los daños en la cubierta y en las paredes exteriores de la obra.

En latitudes europeas medias se calcula para las diferentes precipitaciones locales con valores punta a corto plazo comprendidos entre 100 y 300 litros por segundo y hectárea; estos últimos en circunstancias excepcionales. Esta cifra corresponde a una precipitación de sólo 2 l por minuto y m^2 de superficie (equivalente a 2 mm por minuto), que es preciso evacuar desde la cubierta, la zona de la fachada y el terreno consolidado, a la red de desagüe. No obstante, en caso de temporales catastróficos, aguaceros, etc., a veces en combinación con pedrisco, puede quedar dificultada la circulación del agua y alcanzar ésta un nivel de 70 mm o más en corto tiempo, lo cual excede la capacidad de cualquier sistema de desagüe. Por consiguiente, en los puntos donde el agua puede embolsarse y acumularse, como por ejemplo sobre superficies de cubierta con desagüe interior, es indispensable configurar por medio de bordes el correspondiente volumen de embalse y, en casos determinados, prever un vertedero hacia el exterior.

El principio básico para desviar la lluvia de la cubierta y la pared es hacer que las partes superiores de la obra sobresalgan lateralmente respecto a las inferiores. Constituyen un problema todas las superficies horizontales, en las que el agua puede acumularse, percutir o pulverizarse. Estos salientes y entrantes a veces inevitables —como los antepechos de ventanas— deben ejecutarse siempre —o recubrirse— de material resistente a los agentes atmosféricos, dándoles los rebordes y resaltes de goteo correspondientes.

Precipitaciones y erosión

Si bien la influencia nociva del ambiente exterior no puede evitarse, es posible sin embargo atenuar ampliamente sus efectos sobre la obra mediante el empleo de materiales adecuados y de recursos constructivos. En el proceso de erosión intervienen factores mecánicos (físicos) y químicos (inorgánicos y orgánicos).

Erosión mecanofísica:

- Hinchazón y contracción de materiales de construcción por efecto de las fluctuaciones de humedad.
- Peligro de heladas en función de la capacidad de absorción de agua (efecto explosivo a causa del aumento de volumen (1 : 11) que experimenta el agua al transformarse en hielo).
- Tensiones de temperatura, que dependen del color del material (absorción térmica) y de su densidad (conducción y radiación térmica).
- Precipitaciones bajo el efecto del viento (lluvia y pedrisco).
- Efecto explosivo de las sales penetradas o lixiviadas al cristalizar, por aumento de su volumen (presión de cristalización).
- Radiación ultravioleta, que provoca lixiviación y resquebrajamiento, especialmente en materiales plásticos.

Erosión química:

Prescindiendo de los gases desprendidos en la industria química, en primer lugar figuran los anhídridos carbónico y sulfuroso, generados por los múltiples procesos de combustión que se producen en nuestro medio ambiente, y que al combinarse con la humedad del aire y de las precipitaciones atmosféricas forman ácidos agresivos. Sus efectos se reconocen porque los edificios de piedra natural o artificial existentes en nuestras ciudades ven su duración amenazada ya en el transcurso de unos pocos decenios, mientras desde la Edad Media hasta ahora se han conservado sin alteración visible. Los ácidos no sólo corroen la superficie, sino que originan una costra que fija la humedad agresiva

que ha penetrado previamente y permite el progreso de descomposición interna.

Erosión orgánica:

Como simbiosis de algas y hongos, los líquenes se fijan en los poros de la superficie de los materiales, donde almacenan agua, que enriquecen con anhídrido carbónico y oxígeno por asimilación. Ello conduce, en condiciones de falta de aire y de entrada de polvo, a la formación de humus, y por tanto a una subsiguiente destrucción y a una nueva generación de las propias plantas. Las impurezas de naturaleza animal, por ejemplo en la base de los edificios o en las franjas horizontales de las fachadas, pueden constituir terreno de cultivo para la erosión orgánica e incluso ser causa de erosión química.

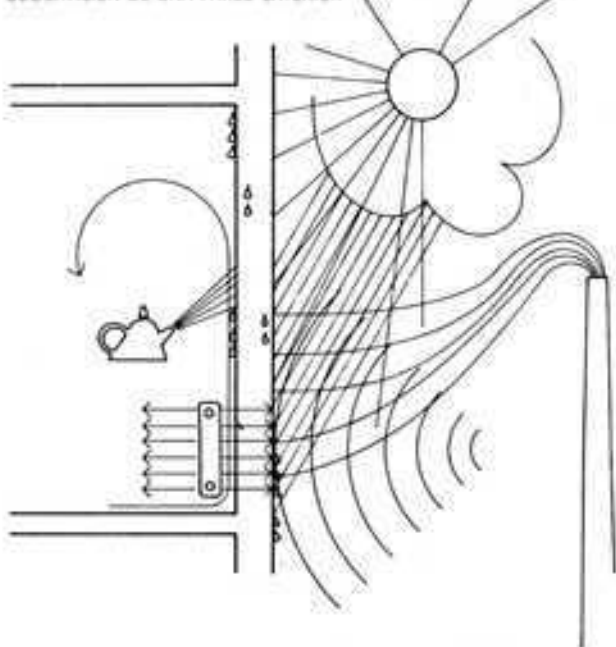
En lo sucesivo sólo se tratarán los principios fundamentales de la protección contra la humedad procedente de precipitaciones y los problemas de la protección térmica. Los detalles de las estructuras de paredes y cubiertas están descritos respectivamente en los capítulos "Paredes exteriores" (pág. 175) y "Cubierta de cubiertas" (pág. 519).

Protección por la cubierta

La primera exigencia para proteger un edificio de la humedad es una cubierta impermeable y capaz de desviar el agua, así como un sistema en regla de evacuación del agua caída. Las antiguas cubiertas de forma imbricada a base de ripias de madera o de ladrillo —los tejados de paja se incluyen también aquí— limitaban las inclinaciones admisibles de las vertientes entre valores mínimos y máximos. Sólo las cubiertas integradas por tiras de elementos pegados o soldados entre sí permitían pendientes más planas e incluso horizontales.

Desde el punto de vista físico de la construcción se distingue entre cubiertas "frías" con cámara de aire y cubiertas "calientes" (sin cámara de aire). La cubierta "fría" es una estructura "multilaminar", en la que la lámina superior, que actúa como "pantalla" ventilada por debajo por el aire exterior, sólo debe asumir la protección contra la humedad, mientras la lámina inferior constituye el cerramiento de los locales del último piso y proporciona el necesario aislamiento térmico.

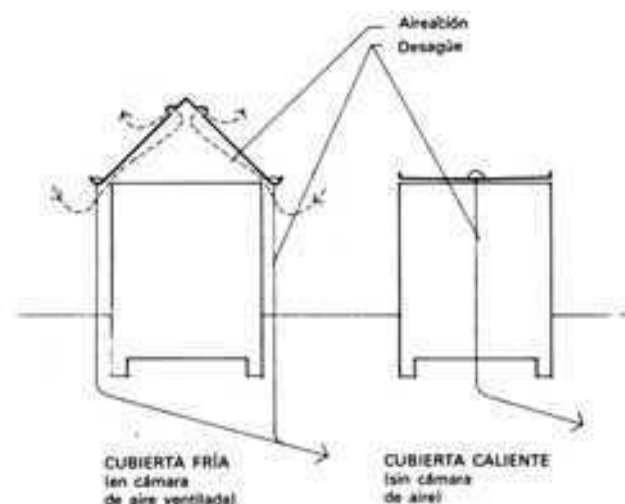
SOLICITACIÓN DE UNA PARED EXTERIOR



La cubierta "caliente" es una estructura unida formada por "varias capas", las cuales descansan directamente sobre el forjado que sostiene la cubierta y tienen por cometido asegurar, no sólo la impermeabilización frente a la humedad, sino también el aislamiento térmico y la compensación de las tensiones debidas a la temperatura.

Protección por la pared exterior

La construcción tradicional de fábrica de ladrillo y la construcción maciza de madera cumplen por igual todas las exigencias que cabe imponer a las paredes exteriores mediante las secciones homogéneas de sus paredes del necesario espesor. En la actualidad la pared exterior, de modo parecido a la cubierta, es preponderantemente una estructura de varias capas o de varias láminas compuesta de diferentes materiales, elegidos para satisfacer de manera óptima cada una de las funciones parciales a asumir—sustentar, aislar, impermeabilizar—. Estas capas o láminas están dimensionadas con precisión y dispuestas en un determinado orden de sucesión.



En la elección de la estructura de una pared exterior intervienen más consideraciones estructurales y económicas que en otros elementos de la construcción. No están aquí solamente implicados unos bajos costes de material y salarios, el tamaño, peso y número de elementos parciales, el número de obreros a emplear y la marcha del trabajo, la fabricación y el montaje, en fábrica o en obra, etc., sino también los gastos de calefacción y de mantenimiento de un edificio. Al contrario de una inversión única en la construcción, se trata de dispendios continuos de entretenimiento durante toda la vida útil de una obra. Por consiguiente, en la comparación de costes no están justificadas las mayores inversiones destinadas a la estructura de la pared exterior por una mal comprendida estética de la fachada, sino las condicionadas por una rentabilidad a largo plazo. A la larga se ahorrarán gastos de conservación por una mayor resistencia al envejecimiento o por fácil intercambiabilidad, así como por exiguo grado de ensuciamiento o mayor facilidad de limpieza (por ejemplo mediante balcones); también se ahorrarán gastos de calefacción por una mejora del aislamiento térmico. Desde el punto de vista constructivo distinguimos—como en la estructura de la cubierta—paredes exteriores de una o varias hojas con aireación por detrás de una capa de revestimiento o sin ella. Los detalles sobre la construcción con materiales adecuados de una pared están expuestos en el capítulo "Paredes exteriores"; aquí nos limitamos a enumerar, para concluir, las diversas posibilidades de constitución de una fachada.

Fábrica de ladrillo vista u hormigón visto, pinturas, pastas extendidas con espátula o revoques, revestimientos con cerámica, piedra natural o losas de piedra artificial, con madera, con metal, con elementos de fibrocemento, plástico o vidrio.

Humedad en la obra

La cantidad de humedad contenida y generada en la obra es consecuencia, por un lado de la humedad de elaboración y de humedad residual de los materiales, y por otro de la clase de utilización y de las condiciones climáticas de la obra. Esta humedad varía para cada material en el transcurso de la utilización del edi-

ficio, en función de su estructura interna y de su situación en la obra, y sólo para elementos exteriores y construcción inadecuada oscila con las fluctuaciones climáticas de las estaciones. El contenido de humedad y el aislamiento térmico se hallan en una relación tan estrecha, que también en lo que sigue las medidas de protección térmica y las de protección contra la humedad están íntimamente entrelazadas.

Humedad de construcción

La humedad introducida en una obra por el proceso de construcción está condicionada directamente por los materiales empleados, por la manera de colocarlos en obra y por las condiciones atmosféricas que reinan durante su almacenamiento y durante el período de trabajo.

Cuanto más exigua es esta humedad y cuanto con más rapidez se seca, tanto menores serán los daños que puede ocasionar a la obra, una vez concluida. Cuanto más pronto la humedad que tienen los materiales al colocarlos en obra se iguala a la humedad que tendrán después permanente—llamada también humedad propia o de equilibrio—tanto más rápidamente puede efectuarse la construcción. El objeto que en la actualidad se persigue es edificar mediante un montaje ampliamente desprovisto de humedad de construcción, cuyos elementos—suministrados por llamada, desde el almacén—ya puedan estar ensamblados en estado de humedad de equilibrio y cuya colocación se realice también en seco. De esta forma, la humedad durante el proceso de construcción queda reducida esencialmente a las precipitaciones que ocurran mientras la obra permanece sin proteger.

El efecto contraproducente de la humedad de construcción, donde de forma inevitable se pone de manifiesto al máximo, es en los elementos constructivos que han sido vertidos, colocados y ensamblados in situ. A este respecto, las edificaciones a base de esqueleto se evidencian más favorables que las macizas, y a su vez los esqueletos de acero mejores que los de hormigón, sobre todo si entre tanto puede construirse también un revestimiento resistente al fuego ampliamente en seco. La construcción con esqueleto de madera o con placas de madera, cuyos elementos se montan secos en estado de humedad permanente, es la forma primitiva del sistema de montaje moderno.

Cantidad de agua introducida con la puesta en obra		
Parte de la obra	Espesor	l/m²
Pared de ladrillo macizo y mortero de cemento y cal, enlucida por ambas caras	1 asta	19
	Asta y medio	25
Pared de bloques huecos de hormigón ligero y mortero de cemento y cal, enlucida por ambas caras	1 asta	12
	Asta y medio	17
Pared de hormigón, sin enlucir	50 cm	52
Techos de placas de hormigón armado enlucidas por debajo	12,5 cm	30

Si, por una parte, el grado de humedad de construcción puede mejorarse gracias a la elección de los materiales de su estructura, se busca también la manera de aminorarla gracias al empleo de elementos prefabricados y al apartamiento temporal de aquellos elementos y trabajos capaces de aportar humedad. Todas las piezas constructivas portadoras de humedad deben, en cuanto sea posible, ser fabricadas con antelación y dejarlas secar incluso durante la estación seca completa. Las paredes macizas que dan al exterior sólo reciben en caso necesario el espesor estáticamente necesario, y en tal caso su protección térmica se obtiene por medio de materiales aislantes de alta calidad, empleados en la medida deseada. Se utilizan en la construcción de las paredes pocas piezas de grandes dimensiones y de naturaleza poco absorbente para disminuir la cantidad de mortero necesaria. Los techos se hacen total o parcialmente de piezas prefabricadas; las que forman el relleno o forjado son de hormigón ligero o de cerámica. De esta manera se trata de abreviar la duración de la construcción haciendo más cortos los plazos de la ejecución, endurecimiento y desecación. Otra disminución del tiempo de la construcción se logra utilizando homillos de coque,

aparatos generadores de aire caliente, etc. Finalmente constituyen otro importante capítulo de la protección contra la humedad de la construcción todas aquellas medidas destinadas a proteger las maderas, como la impregnación de éstas y la protección de las piezas constructivas de ese material (p. ej. las vigas y soportes) por medio de aislamientos que no dejen llegar hasta ellas la humedad, las posibilidades de ventilación, etc.

Aguas de los servicios

Entre las humedades que se producen en las construcciones figura la que procede de las aguas de los servicios. Puede combatirse por medio de obturaciones, impermeabilizaciones y desviaciones. Es muy importante la perfecta ejecución de los desagües de las cocinas, cuartos de baño, duchas, urinarios, fregaderos de vajilla y todos los demás sitios donde se producen humedades, en establecimientos comerciales, industriales o públicos. Las paredes y los techos expuestos a la humedad se impermeabilizan mediante materias hidrófugas o se revisten con placas o losetas impermeables.

Las capas obturadoras y los revestimientos han de tener igual pendiente. Los aislamientos impermeables situados detrás de las losetas del revestimiento sólo cumplen con su cometido cuando llegan más arriba de los grifos de agua, cabezas de ducha o bocas de fregadero; en caso contrario, y especialmente si hay zócalos salientes, lavabos o fregaderas aplicados a la pared puede suceder que el agua que se infiltre por juntas o grietas produzca humedades en la pared correspondiente o en las partes de la obra contiguas a ella.

En todos los casos habría que procurar que estas losetas tuviesen su superficie anterior al ras con la superficie del enlucido de la pared por arriba y por los lados de la superficie con ellas revestida y que no presentasen saliente alguno donde pudiese depositarse el polvo o el agua. Por esta razón hay que dedicar un cuidado especial a las uniones con las paredes de pilas, lavabos, fregaderas, etc. Las cubetas de esta clase separadas de la pared eluden esta unión difícil, pero tampoco constituyen ninguna solución definitiva. El agua que salpica la pared resbala hacia abajo por detrás del lavabo y llega al suelo, siendo necesario estaría recogiendo constantemente. Es mejor que el agua de las salpicaduras pueda ser inmediatamente recogida y reconducida hasta la cubeta sin dejar que empape la pared.

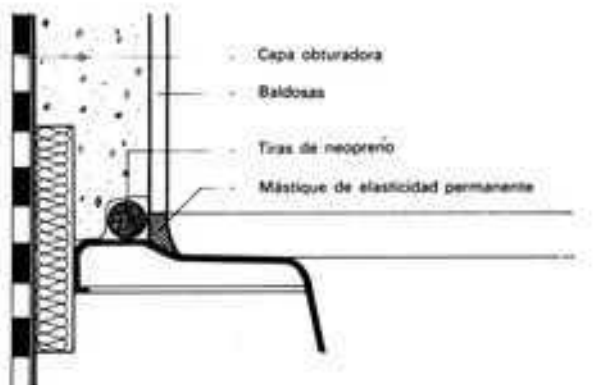
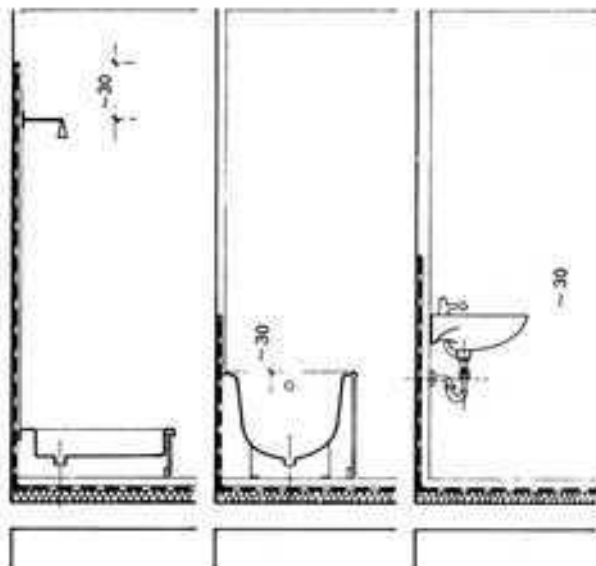
Para la impermeabilización de los pisos en los locales húmedos se aplican las siguientes reglas fundamentales:

La capa de solado, la de obturación impermeable y la que le sirve de apoyo o lecho han de tener igual pendiente hacia el punto de desagüe del piso.

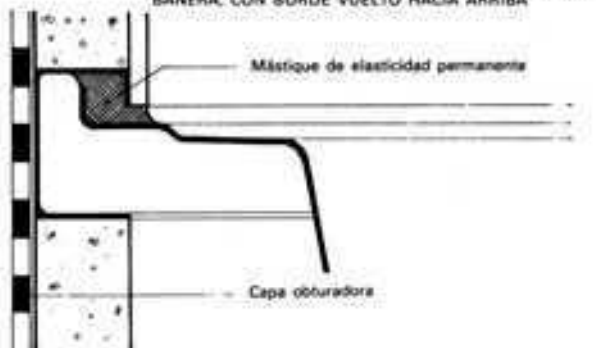
La capa de obturación impermeable debe llegar hasta suficiente altura en todas las superficies verticales (paredes, pies derechos, tubos) con que enlaza, para que haya la seguridad de que no podrá llegar nunca agua por detrás ni por debajo.

La capa impermeable del piso debe levantarse lateralmente por las paredes, pies derechos, etc., sin rotura ni solución de continuidad, por lo que los ángulos entrantes formados deben redondearse ya al hormigonar o por medio de enlucidos. Las tuberías que atraviesan el piso tienen que hacerlo por dentro de tubos o manguitos de plancha o mejor aún de plomo. Las fundas de tubos deben llevar juntas suficientemente amplias para unirse bien con las láminas impermeabilizantes. Cuando se trata de tubos de calefacción o de agua caliente suele ser necesario poner aislamientos de corcho entre el tubo y el manguito de obturación. Cuando son varios los tubos que van juntos es más sencillo rodearlos con un zócalo de hormigón, que se provee luego de enlaces redondeados con el piso de alrededor. En tal caso, cabe levantar allí la lámina impermeable lateralmente, como en las paredes y pilares.

Sin embargo, siempre que sea posible en el proyecto deben agruparse conjuntamente los locales con servicio de agua. Esto permite no sólo reunir las instalaciones y, en edificaciones de varias plantas, hacerlas pasar por un recinto común, sino también concentrar y apantallar mejor los ruidos procedentes de conducciones de agua y de cuartos sanitarios. Gracias a este recinto de instalaciones se reducen a una sola las numerosas perforaciones de forjados que de otro modo serían necesarias;



PERFIL DE ENLACE DE LA PARED CON EL BORDE DE LA BAÑERA, CON BORDE VUELTO HACIA ARRIBA



dicho recinto puede albergar, además de los conductos de agua limpia y de desagüe, los canales de aireación para cuartos sanitarios interiores. Los bloques de instalaciones, montados previamente, pueden irse elevando, como elementos prefabricados cerrados, a medida que progresa la obra de fábrica. Tanto si están en recintos (rodeados de paredes y de revestimientos) como si pasan a través de bloques sanitarios prefabricados, las instalaciones reunidas en cada perforación de forjado son más fáciles de aislar contra la humedad y la transmisión de ruidos que si están en forma de conducciones sueltas.

Humedad del aire

Actualmente se genera en las viviendas considerablemente más humedad que en tiempos pasados; esta tendencia no ha llegado todavía a su fin, por lo que en el futuro debe contarse con un nuevo incremento. Las causas principales de ello son el creciente consumo de agua en cocinas y baños, el desprendimiento de

agua producido por el funcionamiento de aparatos de gas (aproximadamente 1 litro por m³ de gas), una aireación a menudo deficiente de las habitaciones y una temperatura bastante superior a la existente en las épocas pasadas de calefacción por estufas. Así como las calefacciones por agua caliente, por ejemplo, mantienen la humedad en los locales, la calefacción por estufas evacuaba el aire caliente, húmedo, y aspiraba en su lugar aire frío, seco, a través de las rendijas de puertas y ventanas, asegurando al propio tiempo la renovación del aire (aporte de oxígeno).

Estas tendencias negativas quedaron todavía más acusadas por el empequeñecimiento de las habitaciones y por la disminución de su altura. También interviene aquí de manera decisiva la densidad de ocupación de un local, ya que toda persona emite a diario entre 1 y 2 litros de vapor de agua. Por consiguiente, el contenido de humedad en locales o viviendas pequeños muy habitados será más elevado que si unos u otros son grandes. La medida más simple para deshumidificar locales es una suficiente ventilación. Cuanto menor es un local y con más intensidad está habitado, tanto más es preciso ventilarlo o, en locales climatizados, tanto mayor debe ser la renovación necesaria de aire por hora.

Humedad relativa del aire

El aire contiene siempre una cantidad más o menos grande de vapor de agua invisible, la cual varía según la temperatura y la presión reinantes. El máximo contenido posible de vapor de agua en el aire para una temperatura determinada se llama "contenido de saturación" y crea la tensión de saturación. El contenido y la tensión de saturación aumentan y disminuyen con la temperatura. Casi siempre existe sólo cierto tanto por ciento de uno y de otra, que se designa como "grado de humedad del aire" o "humedad relativa del aire".

La humedad contenida en el aire puede indicarse en valor absoluto (g/m³) o en valor relativo (% del contenido máximo de vapor de agua); se recuerda que el contenido de saturación depende de la temperatura del aire. El aire caliente puede absorber más humedad, en forma de vapor de agua invisible, que el aire frío, lo cual corresponde, a igualdad de contenido absoluto de agua, a una humedad relativa más pequeña. Con auxilio de la tabla adjunta puede hallarse el contenido real de humedad del aire (en g/m³) en función de la humedad relativa del mismo y de la temperatura, así como la correspondiente tensión de saturación del vapor. Las relaciones entre humedad relativa del aire, temperatura y bienestar de las personas se exponen detalladamente en la sección "Ser humano y clima ambiente".

Agua de condensación

Si el aire, cargado con un determinado contenido de humedad, se va enfriando hasta que la cantidad de vapor existente en él es igual a la máxima que puede contener a la temperatura en cuestión, entonces alcanza el estado de saturación de 100% de humedad. La temperatura a la cual esto sucede y a la cual el vapor sobrante se condensa en forma de niebla visible o de precipitación, se llama "temperatura de condensación" o simplemente "punto de condensación" o "punto de rocío".

Si, por ejemplo, en un local hay una mezcla de vapor y aire a 25°C, la cantidad de vapor invisible contenido en el aire puede alcanzar un máximo de 23,07 g/m³. Si el aire, a dicha temperatura, sólo contiene 15,39 g de vapor de agua por metro cúbico, el grado de humedad será de 66,7% y hasta llegar a la saturación, el aire podrá todavía admitir $23,07 - 15,39 = 7,68$ g de vapor de agua por metro cúbico. Si este equilibrio se perturba por la adición de mayor cantidad de vapor se produce una condensación del vapor sobrante, en forma de niebla o rocío. Pero dicho equilibrio puede también alterarse por el enfriamiento de la mezcla gaseosa: en tal caso se separa de la mezcla saturada de vapor y aire tanta agua líquida como sea necesario para que dicha mezcla recupere el equilibrio que su temperatura requiere. Así, por ejemplo, si el aire, a 25°C y con un grado de humedad de 66,7% se enfría, disminuye su capacidad de admisión de vapor de agua, cosa que equivale a decir que va aumentando su

humedad relativa, que finalmente, al llegar a 18°C, alcanza el valor 100% y se llega con ello al punto de rocío de dicha mezcla. Si este mismo aire es enfriado a continuación, por ejemplo, hasta + 10°C, su punto de rocío es rebasado, y ya no puede retener los 15,39 g de vapor de agua que contenía, sino, como máximo, 9,42 g/m³. Se halla sobresaturado y se desprenderá de $15,39 - 9,42 = 5,97$ g/m³ de agua de condensación que en forma de gotitas se depositará sobre las superficies de los elementos de la obra que cierran el local. La formación de agua de condensación es tanto más importante cuanto mayor es el enfriamiento que el aire sufre.

Como ejemplo de esta condensación en las superficies, encontramos agua de condensación durante los meses de invierno, en forma de precipitación y de escarcha, en la parte interior de los cristales de las ventanas, de las paredes exteriores y de las cubiertas. Especialmente en locales con aire muy húmedo, como son cocinas y baños, establos, piscinas cubiertas, lavanderías y naves de fabricación de la industria textil, aparece esta condensación durante los meses de verano en forma de cristales de hielo sobre las superficies de refrigeración o como humedad visible en sótanos frescos o sobre las conducciones de agua fría. La denominación "agua transpirada" es ciertamente intuitiva, si bien incorrecta desde el punto de vista físico, ya que no se trata de un proceso de evaporación de estas superficies, con la subsiguiente condensación.

A causa del peligro del agua de condensación los locales con elevado contenido de humedad en el aire no deben estar directamente comunicados con locales fríos. Entre el baño y los dormitorios, por lo general fríos, debe interponerse un pasillo interior o bien un cuarto de armarios, a modo de esclusa.

El aislamiento térmico de los elementos constructivos exteriores tiene que dimensionarse por lo menos de modo que incluso en el caso extremo más desfavorable la temperatura interior de las superficies se halle por encima de la del punto de condensación. En el cálculo del aislamiento térmico deben tomarse por base, por consiguiente, las temperaturas extremas posibles (-20°C) y la humedad máxima que puede contener el aire interior del local en cuestión.

Si los locales con aire muy húmedo se hallan detrás de la pared exterior, un aislamiento térmico no puede evitar a menudo, por sí solo, una condensación superficial de humedad. En tal caso es preciso evacuar el aire húmedo y tomar otras precauciones constructivas para impedir que la humedad se deposite en la pared. La condensación del vapor de agua del estado gaseoso al estado líquido en suspensión puede de hecho ocurrir no sólo de modo visible, en forma de precipitación o de niebla en el recinto o al aire libre, sino también en el interior de las paredes y otros elementos constructivos. Para distinguir esta formación invisible de humedad de la que es visible, es corriente designar la primera como "agua de condensación" propiamente dicha, y la segunda como "agua de rocío".

Difusión del vapor de agua

Como todos los gases, el vapor de agua trata también de escapar de los puntos de mayor presión hacia los puntos de menor presión, tanto a través de aberturas y juntas como a través de las superficies de los elementos constructivos, siempre que sean permeables al vapor. Esta corriente de vapor circula, de forma análoga a un flujo térmico, desde el lado más caliente hacia el lado menos caliente, es decir, por regla general desde dentro hacia fuera, aunque en locales fríos durante el persistente calor veraniego la corriente de vapor circule, especialmente a través de las cubiertas, en sentido contrario, o sea de fuera hacia dentro. Pero, inversamente al flujo térmico la corriente de vapor circula con mucha lentitud. Las puntas de temperatura de corta duración apenas si influyen sobre un proceso de difusión. Durante el transcurso del día la corriente de vapor puede ser absolutamente opuesta a las circunstancias de presión que en aquel momento concurren. Por tal motivo en los cálculos de difusión de vapor se toman por base, más que las temperaturas extremas, las temperaturas medias correspondientes a largos intervalos, por ejemplo -10°C para los meses de invierno y + 20°C para los de verano.

Temperatura, °C	Tensión p_s del vapor (kg/m ²)	Temperatura, °C	Tensión p_s del vapor (kg/m ²)	Temperatura, °C	Tensión p_s del vapor (kg/m ²)	Temperatura, °C	Tensión p_s del vapor (kg/m ²)
-20	10,5	-10	26,5	0	62,3	+10	125,2
-19	11,6	-9	28,9	+1	67,0	+11	133,8
-18	12,7	-8	31,6	+2	71,9	+12	143,0
-17	14,0	-7	34,4	+3	77,4	+13	152,7
-16	15,3	-6	37,5	+4	82,9	+14	163,0
-15	16,8	-5	40,9	+5	88,9	+15	173,9
-14	18,4	-4	44,5	+6	95,3	+16	185,3
-13	20,2	-3	48,5	+7	102,1	+17	197,5
-12	22,1	-2	52,7	+8	109,4	+18	210,5
-11	24,2	-1	57,3	+9	117,0	+19	224,0
						+20	238,5

Circunstancias de tensión de vapor

Ciertamente, un contenido normal de vapor de agua en el aire de un 0,1 a 0,2% en volumen representa sólo una parte componente muy pequeña de la atmósfera; pero que, sin embargo, por sus efectos sobre el comportamiento de la humedad y por tanto sobre las propiedades de aislamiento térmico de nuestros materiales, no puede subestimarse. Cuanto más elevada es la temperatura del aire tanto mayor es la tensión de saturación del vapor de agua correspondiente al contenido de saturación. En general se tiene no obstante una humedad relativa del aire más pequeña, con lo cual la tensión del vapor dentro del aire o de un elemento constructivo se reduce, en la misma proporción, a una tensión parcial de la tensión de saturación. En consecuencia, la tensión efectiva del vapor de agua es una composición siempre pequeña de la presión del aire. Sin embargo, en combinación con la presión atmosférica y sus fluctuaciones condicionadas por la meteorología, la tensión de vapor de agua y la difusión de éste no son magnitudes despreciables desde el punto de vista de la física de la construcción.

A título comparativo sean confrontadas estas magnitudes y sus unidades de medida:

La presión del aire es consecuencia del peso de la columna de aire actuante, el cual sólo está determinado básicamente por el peso específico y la distribución de los componentes nitrógeno (78%), oxígeno (21%) y anhídrido carbónico (0,04%). Sus fluctuaciones están influidas por la temperatura, como consecuencia de la radiación solar, y por la altura de la columna de aire, es decir, la altura del punto considerado sobre el nivel del mar, pero no por el contenido de humedad del aire. Éste sólo es consecuencia, como el movimiento del aire en grandes espacios y el estado atmosférico, de la variación de la temperatura. Según que las condiciones atmosféricas reinantes sean de baja o de alta presión, la presión atmosférica oscila alrededor de 760 mm de columna de mercurio o 760 torrs; también así llamados en honor del físico italiano Torricelli. Mientras en Meteorología se emplea como unidad el milibar (750 mm Hg = 1000 mb), la técnica y la física de la construcción utilizan ante todo el kg/m² o el kg/cm².

Tomando como factor de conversión 13,6 (densidad del Hg) se ve que 760 mm Hg o torrs corresponden a 10330 mm de columna de agua y, por tanto, a 10330 kg/m² = 1,033 kg/cm², es decir 1 atmósfera. Las diferencias corrientes de tensión de vapor entre el ambiente exterior y el interior (unos 20 mm Hg, variables con la temperatura y el contenido de humedad) ejercen por tanto una presión de sólo 300 kg/m² = 0,03 kg/cm² sobre la estructura. La transformación del agua durante el proceso de evaporación supone no obstante un aumento de volumen de hasta 1600 veces, es decir, 1 g = 1 cm³ de agua se transforma en 1,6 l de vapor. Esto explica por qué, tras la penetración de la humedad en una estructura (por ejemplo, una cubierta plana), por efecto de la radiación solar continua pueden ocurrir circunstancias en que la tensión de vapor se aproxime a la magnitud absoluta de la presión atmosférica, o tensión de saturación del

vapor de agua a la temperatura de ebullición (= 760 mm Hg ó 1,033 kg/cm²). Numerosos desperfectos en la construcción tienen aquí su origen. Cuando a causa de un falso montaje de un elemento constructivo la humedad puede penetrar en él, pero por verse obstaculizada la difusión del vapor no puede volverse a evaporar suficientemente y se acumula, la tensión del vapor se convierte en esfuerzos mecánicos efectivos. Son consecuencia de la multiplicación de volumen por transformación de la humedad, tanto en caso de evaporación como en el de helada.

Secreción de agua de condensación

Si a ambos lados de un elemento constructivo reina diferente tensión de vapor, el vapor de agua penetra a través de dicho elemento desde el lado donde la tensión es mayor hacia el lado donde es menor.

El volumen de este intercambio varía en cada caso con la caída de presión y con la permeabilidad del material (factores de resistencia a la difusión). Por regla general, los materiales que proporcionan buen aislamiento térmico suelen presentar, a causa de su estructura formada por grandes poros, menor resistencia a la difusión del vapor de agua que los de constitución más compacta. El vapor de agua que se ha introducido en los poros de un material obedece a las mismas leyes que en el espacio libre. De modo análogo a como se procede en la transmisión de calor a través de una pared, se determinan para la sección los valores máximos posibles de la tensión de saturación hasta los cuales no tiene lugar ninguna condensación. Allí donde la tensión parcial de vapor efectiva resultante de las condiciones de tensión existentes entre el interior y el exterior llega a alcanzar la de saturación, se produce una condensación interna, ya que la tensión parcial no puede ser nunca superior a la de saturación. Se habla entonces de un plano de condensación (o zona de condensación). Es la zona en la cual la curva de la tensión parcial del vapor toca la de tensión de saturación. Este hecho es de importancia decisiva, especialmente para todos los tipos de construcción ligera y sobre todo en casos donde es preciso aumentar la protección térmica de los elementos sustentantes hasta el nivel necesario, mediante capas aislantes adicionales. Toda secreción de agua condensada va acompañada de una transmisión capilar de la humedad, que disminuye el aislamiento térmico de un material; la zona de condensación se va desplazando cada vez más hacia el interior, dentro de la sección del elemento. Una capa aislante atravesada por la humedad y dimensionada insuficientemente contra la secreción interna de agua condensada permite un enfriamiento tan acusado de un elemento constructivo, que la zona de condensación abarca una parte cada vez mayor de la sección. Como en la formación superficial de agua de rocío o en caso de existencia de humedades insuficientemente secadas, las consecuencias visibles son la invasión de moho, el desprendimiento de los papeles pintados y de la pintura y daños a los enseres del equipamiento.

Sin embargo, no sólo el incremento de humedad durante el invierno es consecuencia de un proceso de difusión de vapor,

sino que también lo son la evaporación del agua condensada interior y el secado durante el verano. En las latitudes alemanas, a un tercio de año con posible aumento de la humedad a causa de la caída invernal de tensión del vapor, se opone un periodo estival de secado de casi doble duración. En elementos constructivos formados por varias capas con materiales exteriores impermeables al vapor, por ejemplo las láminas superiores en cubiertas planas o los revestimientos cerámicos de paredes exteriores, este proceso de evaporación puede verse no obstante dificultado. Tan pronto como en un elemento constructivo, siguiendo el ritmo anual, penetra más humedad que la que es susceptible de evaporarse, va acumulándose en él con los años un contenido de humedad cada vez mayor. Por consiguiente, los elementos constituidos por varias capas deben estar estructurados de forma que la resistencia a la difusión de los diversos materiales disminuya de dentro hacia fuera. En algunos casos deben crearse estas circunstancias disponiendo barreras adicionales al vapor o mediante la aireación por detrás de los revestimientos exteriores impermeables, con objeto de garantizar una compensación completa de la humedad de modo permanente.

Condensación de vapor de agua en elementos constructivos formados por varias capas

Fundamentos de cálculo

Datos facilitados por el servicio de información de la BASF-STYROPOR.

Se ha visto anteriormente cómo puede evitarse la condensación del vapor de agua en la sección de un elemento constructivo formado por varias capas, eligiendo correctamente el orden de sucesión de dichas capas.

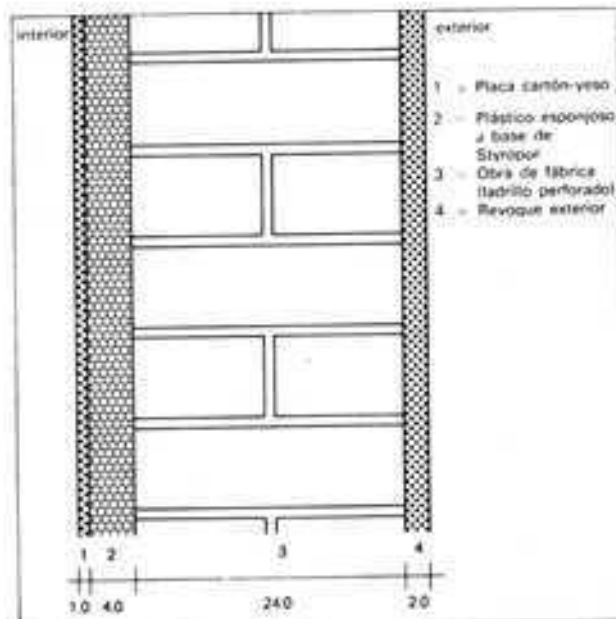
En algunos casos, como por ejemplo el de una cubierta plana formada por una sola lámina (cubierta caliente), es necesaria una barrera al vapor. En otros muchos casos pueden también admitirse sin reparos estructuras en las que se produce una condensación limitada de vapor de agua. Hacemos hincapié sobre el adjetivo "limitada", es decir, ni debe condensarse tanta humedad que llegue a disminuirse inadmisiblemente la protección térmica, ni debe producirse en el transcurso de los años un lento aumento del contenido de humedad.

Al estudiar las condiciones de las paredes mediante el cálculo se determina por tanto aproximadamente la cantidad de humedad que se condensa en invierno. Esta cantidad no debe exceder de 500 g/m². Luego se comprueba si durante el verano dicha humedad vuelve a secarse.

La estimación por el cálculo de la cantidad de vapor de agua condensado se muestra mediante un ejemplo. Los valores de la tabla 2 facilitan este trabajo. La figura adjunta indica la composición de la pared, vista en sección.

El cálculo se efectúa en cuatro etapas:

1. Amortiguamiento térmico, temperatura, tensión de vapor saturado
2. Resistencia a la difusión, tensión de vapor, condensación de vapor de agua
3. Cantidad de vapor condensado en invierno.
4. Secado en verano



ESTRUCTURA DE LA PARED QUE SE HA FORMADO COMO EJEMPLO DE CÁLCULO

Para el cálculo se utilizan:

Los valores de los coeficientes de conductibilidad térmica según DIN 4108 (tablas 8, 9 y 10).

Los factores de resistencia a la difusión del vapor de agua, tomados de la tabla de materiales incluida en el Manual Styropor de la BASF (tabla 8).

Las condiciones climáticas de la tabla 1.

TABLA 1.- CONDICIONES INVERNALES Y ESTIVALES

				interior	exterior
1. Condiciones invernales para 2 meses = 1440 horas	Temperatura	t	° C	+ 20	- 10
	Humedad relativa	φ	%	50	80
2. Condiciones estivales para 3 meses = 2160 horas	Temperatura	t	° C	+ 12	+ 12
	Humedad relativa	φ	%	70	70

Estas condiciones se forman también como base en la verificación oficial de paredes exteriores de edificios de viviendas

TABLA 2.- CÁLCULO DEL AMORTIGUAMIENTO TÉRMICO, DE LA TEMPERATURA, DE LA TENSIÓN DEL VAPOR SATURADO Y DE LA RESISTENCIA A LA DIFUSIÓN

1		2	3	4	5	6	7	8	9	10	Valores intermedios		
		Espesor	Coefficiente de conductibilidad térmica	Amortiguamiento térmico	Resistencia a la transmisión térmica	Diferencia de temperaturas	Temperatura	Tensión del vapor saturado	Factor de resistencia a la difusión	Resistencia a la difusión	Diferencia de temperaturas	Temperatura	Tensión del vapor saturado
		d	λ	$\frac{d}{\lambda}$	$\frac{1}{\alpha}$	Δt	t	P _s	μ	μd	Δt	t	P _s
		m	$\frac{kcal}{m \cdot h \cdot grd}$	$\frac{m^2 \cdot h \cdot grd}{kcal}$	$\frac{m^2 \cdot h \cdot grd}{kcal}$	grd	°C	$\frac{kp}{m^2}$	1	m	grd	°C	$\frac{kp}{m^2}$
Lado caliente	Resistencia a la transmisión térmica interior	—	—	—	0,143	2,3	+ 20,0	238,5	—	—			
	Placa de cartón-yeso	0,010	0,180	0,055	—	0,9	+ 17,7	206,6	6	0,06			
	Espuma dura de Styropor	0,040	0,035	1,143	—	18,2	+ 16,8	195,1	25	1,00	9,1	+ 7,7	102,7
	Ladrillo perforado 1400 Kg/m³	0,240	0,520	0,462	—	7,4	— 1,4	55,4	6	1,44	9,1		
	Revoque de cal y cemento	0,020	0,750	0,0267	—	0,4	— 8,8	29,4	10	0,20	3,7	— 5,1	40,6
Lado frío							— 9,2	28,4			3,7		
	Resistencia a la transmisión térmica exterior	—	—	—	0,050	0,8	— 10,0	26,5	—	—			
Amortiguamiento térmico					$\frac{1}{\Lambda}$	1,687	—	30,0	total $\sum \mu \cdot d =$			2,70	
Resistencia a la transmisión térmica					$\frac{1}{\alpha}$	—	0,193						
Resistencia a la penetración térmica					$\frac{1}{k}$	1,880							
Coefficiente de penetración térmica					$k \left[\frac{kcal}{m^2 \cdot h \cdot grd} \right]$	0,53							

1. Amortiguamiento térmico, temperatura, tensión de vapor saturado

El amortiguamiento térmico (resistencia al paso del calor) $\frac{1}{\lambda}$ de las diferentes capas se obtiene dividiendo los respectivos espesores d por el coeficiente de conductibilidad térmica λ (tomado de la tabla 8). Los amortiguamientos térmicos $\frac{1}{\lambda} = \frac{d}{\lambda}$, una vez calculados para el caso que nos ocupa, se han introducido en la tabla 2, columna 4.

Sumando estos valores y adicionando a la suma (1.887) las resistencias a la transmisión térmica interior y exterior (columna 5, $\frac{1}{\alpha_i}$ y $\frac{1}{\alpha_e}$ de la tabla 9), se obtiene la resistencia a la penetra-

ción térmica $\frac{1}{K}$ (1.880).

En cada capa de la pared la temperatura baja de acuerdo con su respectivo amortiguamiento; la diferencia entre la temperatura del aire y la de las superficies de la pared corresponde interior y exteriormente a la resistencia a la transmisión térmica en estos puntos. El curso que sigue la temperatura a través de la sección de la pared puede averiguarse así con facilidad sea por cálculo, sea por método gráfico.

Determinación gráfica del curso de la temperatura

Se dibuja la sección de la pared, tomando por abscisas los respectivos amortiguamientos térmicos, incluyendo a ambos extremos las resistencias a la transmisión térmica interior y exterior (figura adjunta). Los espesores de las diversas capas corresponden, pues a los valores $\frac{d}{\lambda}$ indicados en la tabla 2. El espesor total

se completa por uno y otro lado con los valores de $\frac{1}{\alpha_i}$ y $\frac{1}{\alpha_e}$, respectivamente. Como a través de la sección de la pared la temperatura desciende proporcionalmente a los amortiguamien-

tos, el curso de la misma en el diagrama queda representado por una línea recta. Sobre el eje de ordenadas puede leerse directamente la temperatura en cualquier punto arbitrario de la pared.

Determinación analítica del curso de la temperatura

La diferencia de temperaturas entre las dos caras de una capa, $(t_1 - t_2)$, está en la misma relación con respecto a la diferencia total de temperaturas $(t_1 - t_2)$ entre el aire interior y el exterior,

que el amortiguamiento $\frac{d_1}{\lambda_1}$ de esta capa con respecto a la resistencia a la penetración térmica de toda la pared ($1/K$):

$$\frac{t_1 - t_2}{t_1 - t_e} = \frac{d_1}{\lambda_1} : \frac{1}{K}$$

Por consiguiente, la diferencia de temperaturas $t_1 - t_2$ vendrá dada por la ecuación

$$t_1 - t_2 = \frac{d_1}{\lambda_1} \cdot \frac{t_1 - t_e}{1/K}$$

Lo más apropiado es calcular primero la expresión $\frac{t_1 - t_e}{1/K}$, ya que este valor se aplica a todas las capas de la pared.

En nuestro ejemplo,

$$\frac{t_1 - t_e}{1/K} = \frac{20 - (-10)}{1.880} = \frac{30}{1.880} = 15.95 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \text{h}}$$

Esta cifra, multiplicada por el amortiguamiento de cada capa o por las resistencias a la transmisión térmica, da el descenso de temperatura en el interior de la capa considerada o en la transición hacia el aire exterior o interior.

El descenso de temperatura en la capa amortiguadora de Styropor de nuestro ejemplo es, pues,

$$t_2 - t_1 = \frac{d_2}{\lambda_2} \cdot 15.95 = 1.143 \cdot 15.95 = 18.2^\circ \text{C}$$

Estas diferencias de temperatura figuran en la tabla 2, columna 6. Ello permite determinar las temperaturas en las caras límite de todas las capas, partiendo de las temperaturas interior o exterior (tabla 2, columna 7).

Para las temperaturas así determinadas deben averiguarse las correspondientes tensiones de saturación P_g (columna 8), deducidas de la tabla de tensiones de vapor saturado (tabla 7). En capas con grandes caídas de temperatura, el uso de valores intermedios facilita la representación del curso de la curva de tensiones de saturación. En el ejemplo se ha tomado un valor intermedio en el centro de la capa de Styropor y otro en el centro de la de obra de ladrillo (columnas 6a, 7a, y 8a).

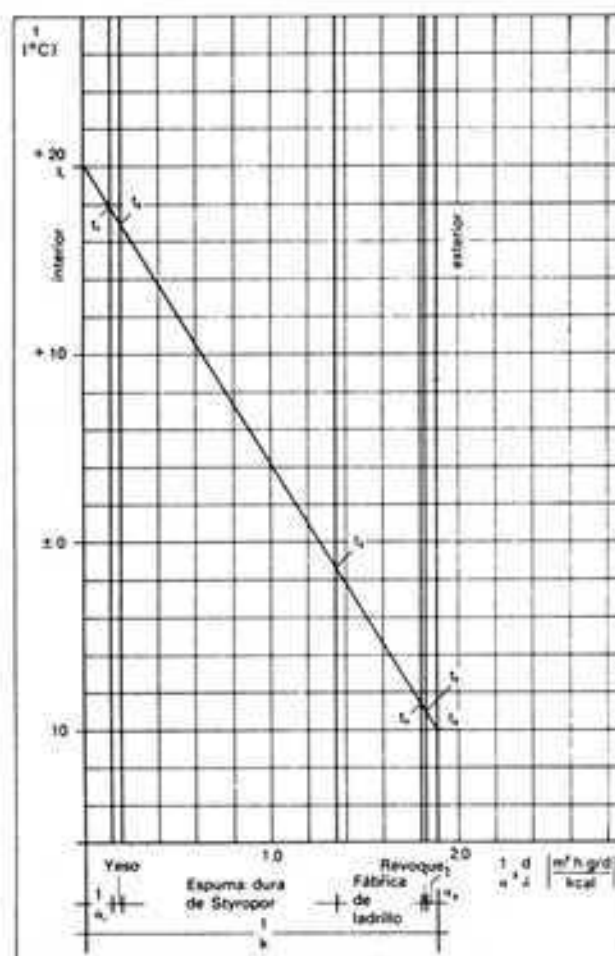
2. Tensión del vapor, resistencia a la difusión, condensación del vapor de agua

La tensión del vapor existente efectivamente a ambos lados de la pared se deduce partiendo de la tensión del vapor saturado correspondiente a la temperatura del aire, y de la humedad relativa. El cálculo se ve en la tabla 3.

La diferente tensión del vapor a ambos lados de la pared hace que el vapor de agua, siguiendo la caída de tensión, se difunda a través de la pared. Cada capa de ésta opone cierta resistencia a esta difusión del vapor. La resistencia a la difusión depende del espesor d de la capa y del factor μ de resistencia a la difusión del material. Dicho factor es un número sin dimensiones que indica cuántas veces es mayor la resistencia a la difusión de un material con respecto a la que ofrece una capa de aire de igual espesor. La resistencia a la difusión μd tiene por tanto las mismas dimensiones que un espesor (m). Los factores de resistencia a la difusión del vapor de agua para los distintos materiales que componen la pared, tomados de la tabla 8, figuran en la tabla 2 (columna 9). Su multiplicación por el espesor de la capa (columna 2) de la resistencia a la difusión (columna 10).

Las resistencias a la transmisión del vapor de agua desde el aire hacia la pared y viceversa son tan pequeñas, que en general pueden despreciarse. Por tal motivo han sido tenidas en cuenta. Son conocidos ahora todos los valores numéricos necesarios para reproducir el curso efectivo de la tensión del vapor en la sección de la pared. Éste indicará si habrá condensación de agua y, en caso afirmativo, en qué punto.

De modo análogo que al determinar gráficamente el curso de la temperatura, donde se representó la sección de la pared a la escala de los diversos amortiguamientos, se tomarán ahora por abscisas las resistencias a la difusión (figura adjunta). Los espe-



Curso de la temperatura en la sección de la pared. La pared está dibujada tomando por abscisas los respectivos amortiguamientos térmicos.

TABLA 3 — TENSION DEL VAPOR EN CONDICIONES INVERNALES

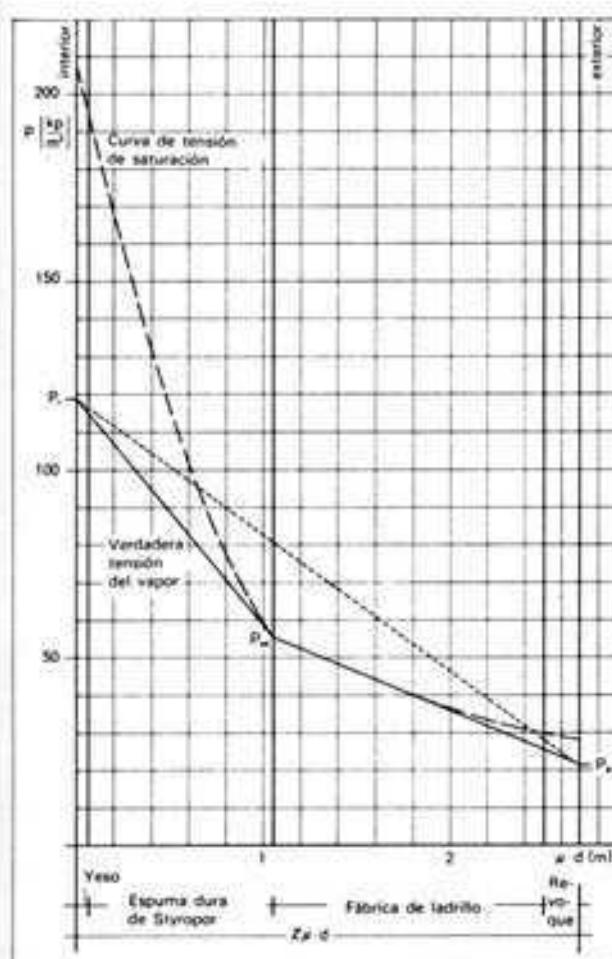
	Temperatura	Tensión de saturación	Humedad relativa	Cálculo de la tensión del vapor	Tensión del vapor
	t	P _s	φ		P
	°C	$\frac{kp}{m^2}$	%		$\frac{kp}{m^2}$
interior	+ 20	238,5	50	$\frac{238,5 \cdot 50}{100}$	119,3
exterior	- 10	26,5	80	$\frac{26,5 \cdot 80}{100}$	21,2

sos de las diferentes capas son, pues, proporcionales a sus respectivos valores μd de la tabla 2. Las tensiones de vapor P_i y P_e existentes respectivamente en el interior y en el exterior figuran como ordenadas.

En este diagrama el curso que sigue la tensión del vapor es una línea recta cuando a través de la pared no hay condensación alguna (línea de trazos cortos).

Es preciso comprobar ahora si esta característica gráfica de la tensión es, después de todo, posible. La tensión de saturación, variable con la temperatura, es la máxima tensión de vapor posible. Los valores indicados en la columna 8 de la tabla 2, correspondientes a la tensión de saturación en la sección de la pared, se han señalado también por tanto en el diagrama y luego unido para obtener la curva de tensión de saturación (curva de trazos largos).

Toda intersección de la curva de tensión de saturación con la línea recta anteriormente determinada, de la tensión del vapor,

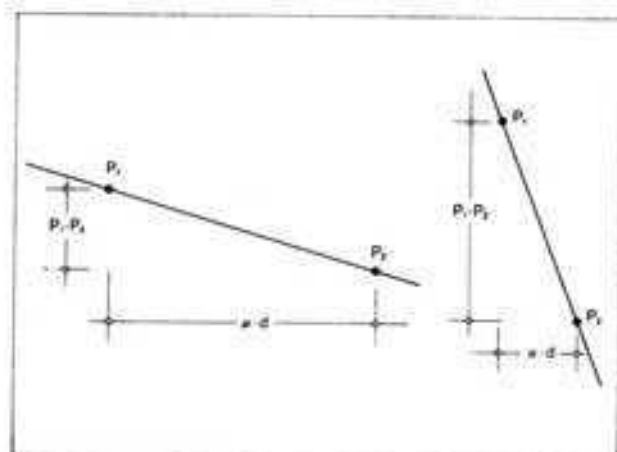


Curso de las tensiones del vapor, en la sección de la pared, cuando hay condensación del vapor de agua. La pared está dibujada tomando por abscisas las resistencias a la difusión.

es señal de que se produce una perturbación en la corriente de difusión del vapor de agua, es decir, de que éste se condensa en aquel punto de la pared, puesto que obviamente la tensión del vapor no puede ser nunca superior a la de saturación.

Se admite a veces que la humedad se precipita en todo el ámbito de la intersección. La consideración siguiente muestra que esta aserción no es correcta.

La diferencia de tensiones $P_i - P_e$ y la resistencia a la difusión μd determinan la cantidad de vapor de agua difundida por unidad de tiempo.



pequeña diferencia de tensiones y gran resistencia a la difusión da pequeña densidad de corriente de difusión (curva de tensiones aplanada)

gran diferencia de tensiones y pequeña resistencia a la difusión da gran densidad de corriente de difusión (curva de tensiones empinada)

Cuanto mayor es la diferencia de tensiones y menor la resistencia a la difusión, tanto más vapor se difunde, pero tanto más empinada es también la curva de tensiones. Partiendo del hecho de que la pared primero estaba seca y de que desde un punto no puede difundirse más vapor que el que se ha difundido hasta él, se ve que la curva de tensiones de vapor no puede seguir un curso cada vez más empinado. En cambio puede aplanarse, y precisamente donde se difunde menos vapor que el que se ha difundido hasta allí, es decir, donde hay condensación de vapor de agua.

De ahí se deduce:

1. El curso de las tensiones del vapor sigue el trazado de una cuerda tirante que, desde los dos puntos extremos P_i y P_e , se adapta suavemente a la curva de tensión de saturación (línea de trazo lleno en la figura 3).
2. El vapor de agua se condensa donde la curva "verdadera tensión del vapor" varía su inclinación.

La curva verdadera de la tensión del vapor presenta un codo en la superficie límite entre espuma dura de Styropor y fábrica de ladrillo, y fuera de él tiene un curso casi rectilíneo. El cambio de dirección por adaptación a la curva de saturación en la zona de la fábrica de ladrillo puede desprejarse, ya que la curva de la tensión del vapor difiere apenas de una recta, y por tanto en esta zona sólo se precipita muy poco vapor condensado.

3. Cantidad de vapor condensado en invierno

La cantidad de humedad condensada se obtiene calculando el vapor difundido hacia dentro y hacia fuera del punto anguloso P_{sk} de la curva de tensiones. Aceptando las hipótesis simplifi-

TABLA 4.- CONDENSACIÓN

En nuestro ejemplo se difunden, desde el interior hacia la zona de condensación, a través de la placa de cartón yeso y de la espuma dura de Styropor: $\frac{P_i - P_{sk}}{160 \cdot \sum \mu \cdot d} = \frac{119,3 - 55,4}{160 \cdot (0,06 + 1,00)} = \frac{63,9}{170} = 0,376 \frac{g}{m^2 h}$
Simultáneamente se difunden, desde la zona de condensación hasta el exterior, a través de la fábrica de ladrillo y del revoque: $\frac{P_{sk} - P_o}{160 \cdot \sum \mu \cdot d} = \frac{55,4 - 21,2}{160 \cdot (1,44 + 0,20)} = \frac{34,2}{262} = 0,130 \frac{g}{m^2 h}$
Quedan, pues, en la pared: $0,246 \frac{g}{m^2 h} \cdot 1\,440 h = 354 \frac{g}{m^2}$

TABLA 6.- SECADO

Por difusión se secan, desde la zona de condensación hacia el interior, a través de la espuma dura y del cartón yeso: $\frac{P_{sk} - P_i}{160 \cdot \sum \mu \cdot d} = \frac{143,0 - 100,0}{160 \cdot (1,00 + 0,06)} = \frac{43,0}{170} = 0,253 \frac{g}{m^2 h}$
Desde la zona de condensación hacia el exterior, a través de la obra de ladrillo y del revoque: $\frac{P_{sk} - P_o}{160 \cdot \sum \mu \cdot d} = \frac{143,0 - 100,0}{160 \cdot (1,44 + 0,20)} = \frac{43,0}{262} = 0,164 \frac{g}{m^2 h}$
En total pueden, pues, secarse: $0,417 \frac{g}{m^2 h} \cdot 2\,160 h = 900 \frac{g}{m^2}$

cadadas de las tablas 1 y 3, se obtiene la cantidad de vapor de agua difundido por hora y m^2 mediante la fórmula:

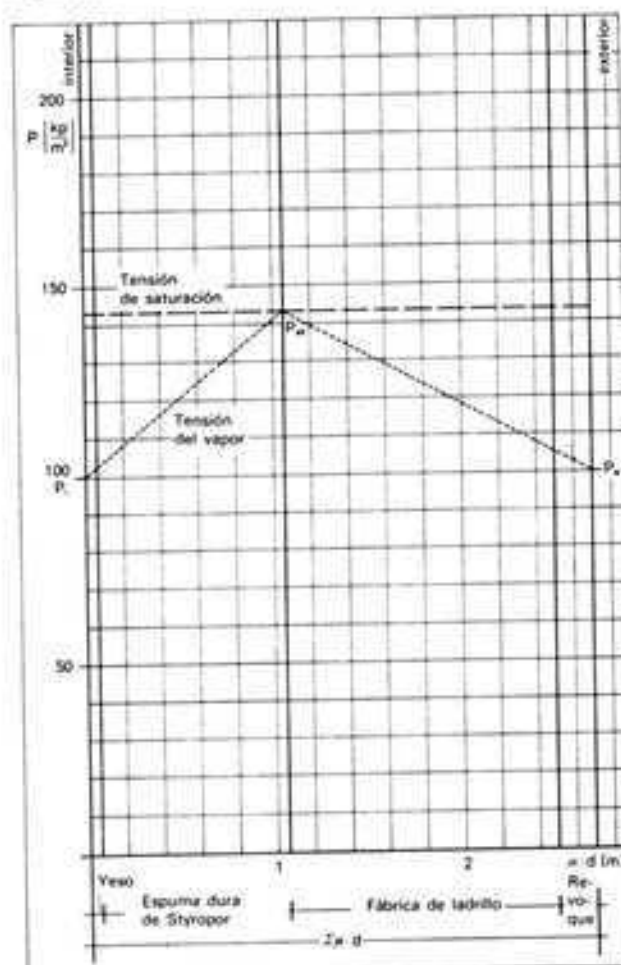
$$G_D = \frac{\Delta P}{160 \cdot \sum \mu \cdot d} \frac{g}{m^2 h}$$

$\Delta P = P_1 - P_2$ es la diferencia de tensiones entre dos puntos de la sección de la pared, en kg/m^2 , y $\sum \mu \cdot d$ la suma de todas las resistencias a la difusión $\mu \cdot d$ (m) existentes entre ambos planos. La magnitud 160 (h/m) incluye el paso del vapor de agua a través del aire.

El cálculo figura en la tabla 4. El resultado muestra que la precipitación de humedad es inferior al límite máximo admisible de 500 g/m^2 .

4. Secado en verano

La cantidad de humedad que, bajo las condiciones estivales expuestas en las tablas 1 y 5, puede llegar a secarse, se determina mediante la misma fórmula fundamentalmente utilizada para



Curso de las tensiones del vapor, en la sección de la pared, cuando se seca la pared en verano. La pared está dibujada tomando como abscisas las resistencias a la difusión.

TABLA 5.- TENSION DEL VAPOR EN CONDICIONES ESTIVALES

	Temperatura	Tensión de saturación	Humedad relativa	Cálculo de la tensión del vapor	Tensión del vapor
	t	P_s	q		P
	° C	$\frac{kp}{m^2}$	%		$\frac{kp}{m^2}$
interior	+ 12	143,0	70	$\frac{143,0 \cdot 70}{100}$	100,0
exterior	+ 12	143,0	70	$\frac{143,0 \cdot 70}{100}$	100,0

TABLA DE TENSIONES DEL VAPOR SATURADO

Tensión del vapor (kg/m²) por encima del hielo o del agua, en función de la temperatura

° C	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
-30	3,8	3,8	3,8	3,7	3,7	3,6	3,6	3,6	3,5	3,5
-29	4,2	4,2	4,1	4,1	4,1	4,0	4,0	3,9	3,9	3,9
-28	4,7	4,7	4,6	4,6	4,5	4,5	4,4	4,4	4,3	4,3
-27	5,2	5,1	5,1	5,0	5,0	4,9	4,9	4,8	4,8	4,7
-26	5,8	5,8	5,7	5,6	5,6	5,5	5,5	5,4	5,3	5,3
-25	6,4	6,3	6,3	6,2	6,2	6,1	6,0	6,0	5,9	5,8
-24	7,1	7,0	7,0	6,9	6,8	6,8	6,7	6,6	6,5	6,5
-23	7,8	7,7	7,6	7,5	7,5	7,4	7,4	7,3	7,2	7,1
-22	8,7	8,6	8,5	8,4	8,3	8,2	8,2	8,1	8,0	7,9
-21	9,5	9,5	9,4	9,3	9,2	9,1	9,0	8,9	8,8	8,7
-20	10,5	10,4	10,3	10,2	10,1	10,0	9,9	9,8	9,7	9,6
-19	11,6	11,5	11,4	11,3	11,2	11,1	10,9	10,8	10,7	10,6
-18	12,7	12,6	12,5	12,4	12,3	12,2	12,0	11,9	11,8	11,7
-17	14,0	13,9	13,8	13,6	13,5	13,4	13,2	13,1	13,0	12,8
-16	15,3	15,2	15,1	14,9	14,8	14,7	14,5	14,4	14,2	14,1
-15	16,8	16,7	16,5	16,4	16,2	16,1	16,0	15,8	15,6	15,5
-14	18,4	18,3	18,1	18,0	17,8	17,6	17,5	17,3	17,2	17,0
-13	20,2	20,1	19,9	19,7	19,5	19,4	19,2	19,0	18,8	18,6
-12	22,1	21,9	21,7	21,5	21,3	21,2	21,0	20,8	20,6	20,4
-11	24,2	24,0	23,8	23,6	23,4	23,2	23,0	22,8	22,5	22,3
-10	26,5	26,3	26,0	25,8	25,6	25,4	25,1	24,9	24,7	24,4
-9	28,9	28,6	28,4	28,1	27,9	27,7	27,4	27,2	26,9	26,7
-8	31,6	31,2	31,0	30,7	30,4	30,2	30,0	29,7	29,4	29,2
-7	34,4	34,2	33,9	33,6	33,3	33,0	32,7	32,4	32,1	31,8
-6	37,5	37,2	36,9	36,6	36,3	36,0	35,7	35,4	35,0	34,7
-5	40,9	40,6	40,3	39,9	39,6	39,2	38,9	38,7	38,2	37,9
-4	44,5	44,1	43,8	43,4	43,1	42,7	42,3	42,0	41,6	41,3
-3	48,5	48,1	47,7	47,3	46,9	46,5	46,1	45,7	45,3	44,9
-2	52,7	52,4	51,9	51,5	51,1	50,6	50,2	49,8	49,3	48,9
-1	57,3	56,8	56,3	55,8	55,4	54,9	54,5	54,1	53,7	53,2
-0	62,3	61,7	61,2	60,7	60,3	59,8	59,3	58,8	58,3	57,8
+0	62,3	62,8	63,3	63,8	64,2	64,7	65,2	65,7	66,1	66,6
1	67,0	67,5	68,0	68,5	69,0	69,5	70,0	70,4	70,9	71,4
2	71,9	72,4	73,0	73,5	74,1	74,6	75,1	75,7	76,2	76,8
3	77,4	78,0	78,5	79,1	79,6	80,2	80,8	81,3	81,9	82,4
4	82,9	83,5	84,1	84,7	85,3	85,9	86,5	87,1	87,8	88,3
5	88,9	89,5	90,1	90,7	91,3	91,9	92,5	93,1	93,7	94,3
6	95,3	96,0	96,7	97,3	98,0	98,7	99,4	100,1	100,7	101,4
7	102,1	102,8	103,6	104,3	105,0	105,8	106,5	107,2	108,0	108,7
8	109,4	110,2	110,9	111,7	112,4	113,2	113,9	114,7	115,5	116,2
9	117,0	117,8	118,6	119,4	120,2	121,0	121,8	122,6	123,4	124,2
10	125,2	126,1	126,9	127,8	128,6	129,5	130,4	131,2	132,1	132,9
11	133,8	134,7	135,6	136,6	137,5	138,4	139,3	140,2	141,2	142,1
12	143,0	144,0	145,0	146,0	146,9	147,9	148,8	149,8	150,8	151,7
13	152,7	153,7	154,7	155,8	156,8	157,8	158,9	159,9	160,9	161,9
14	163,0	164,1	165,2	166,3	167,4	168,5	169,5	170,6	171,7	172,8
15	173,9	175,0	176,2	177,3	178,4	179,6	180,7	181,9	183,0	184,1
16	185,3	186,5	187,7	189,0	190,2	191,4	192,6	193,8	195,1	196,3
17	197,5	198,8	200,1	201,4	202,7	204,0	205,3	206,6	207,9	209,2
18	210,5	211,9	213,2	214,6	216,0	217,3	218,7	220,0	221,4	222,7
19	224,0	225,5	227,0	228,4	229,8	231,2	232,7	234,1	235,5	236,9
20	238,5	240,0	241,5	243,0	244,5	246,0	247,5	249,0	250,5	252,1
21	253,5	255,2	256,7	258,4	260,0	261,6	263,2	264,8	266,4	267,9
22	269,6	271,3	273,0	274,7	276,4	278,0	279,7	281,4	283,1	284,8
23	286,4	288,2	290,0	291,8	293,6	295,3	297,1	298,9	300,7	302,5
24	304,3	306,1	308,0	309,9	311,8	313,7	315,5	317,4	319,3	321,2
25	323,0	325,0	327,0	328,9	330,9	332,9	334,8	336,8	338,8	340,8
26	342,7	344,8	346,9	348,9	351,0	353,0	355,1	357,2	359,3	361,3
27	363,5	365,7	367,9	370,1	372,3	374,5	376,7	378,9	381,1	383,2
28	385,4	387,7	390,0	392,3	394,6	396,9	399,2	401,5	403,8	406,1
29	408,4	410,8	413,2	415,6	418,0	420,4	422,8	425,3	427,7	430,1
30	432,6	435,2	437,7	440,3	442,8	445,4	447,9	450,5	453,1	455,6

la humidificación, sólo que, como la difusión a partir de la capa húmeda se efectúa hacia ambos lados, es preciso sumar las densidades de las corrientes de difusión (figura 4). (Cuando al determinar la condensación se obtiene más de una zona de condensación, el secado se calcula de forma análoga.)

La tabla 6 muestra el proceso de cálculo correspondiente al ejemplo.

Del cálculo resulta que la posibilidad de secado es mayor que la de precipitación de humedad a esperar. La estructura de la pared es por tanto utilizable para casos normales de vivienda y condiciones climáticas normales.

Para climas extremos (alta montaña) y locales con humedad permanente y elevada del aire (por ejemplo, tintorerías), es preciso naturalmente variar el cálculo de forma apropiada, introduciendo en él otras condiciones climáticas.

Consideración final

Las condiciones climáticas unitariamente aplicadas por los Centros de Ensayo pertinentes para la verificación de las paredes de viviendas, según las cuales se hizo el cálculo de nuestro ejemplo, son muy rigurosas. En especial, una humedad relativa del 50%

en interiores a -10°C de temperatura exterior sólo se alcanza en casos excepcionales, como lo muestra la siguiente reflexión: Al aire ambiente de una vivienda se le aporta humedad por la respiración, por la evaporación de agua debida a plantas domésticas, por la cocción de alimentos, etc. A pesar de ello, en habitaciones normalmente caldeadas y en días fríos la humedad del aire es más bien escasa que elevada, ya que a causa de la ventilación de las piezas y de la falta de estanquidad de puertas y ventanas tiene lugar un intercambio permanente de aire entre el interior y el exterior. Pero el aire exterior a -10°C tiene, incluso si está saturado de humedad, un contenido absoluto de vapor de agua tan exiguo, que si esta misma cantidad de aire se elevase a $+20^{\circ}\text{C}$ sólo poseería una humedad relativa del orden de un 11%.

La mezcla con el aire fresco del exterior rebaja también el contenido de humedad del aire ambiente.

Sin embargo, los valores de cálculo indicados se eligen para tener en cuenta así la cantidad de condensado que se produce fuera del intervalo temporal de cálculo de dos meses, con temperaturas exteriores no tan bajas.

De forma análoga se ha introducido también cierto margen de

seguridad en los datos climáticos determinantes para el cálculo del secado.

Este método de cálculo constituye un auxilio utilizable para juzgar las condiciones de difusión de una estructura constructiva. De todas formas debe dejarse bien claro que sólo se trata de una estimación, nunca de un cálculo exacto.

Humedad práctica permanente

Igual que el aire, todas las materias que no son completamente impermeables al vapor contienen siempre un mínimo de humedad. Con el secado de la humedad de fabricación se establece un estado de equilibrio higroscópico oscilante con el estado de humedad del ambiente, en virtud de la permeabilidad al vapor de agua y de la capacidad de conducción o de absorción capilar del material. Este contenido práctico de humedad, fluctuante con las estaciones del año, se designa por tanto con el nombre de humedad de equilibrio o permanente. Se trata de una humedad que no puede evitarse ni siquiera con una ejecución conforme a las prescripciones técnicas, y que no disminuye acusadamente el amortiguamiento térmico. Según la DIN 52012, se tomará como valor de esta humedad el contenido de agua no sobrepasado en el 90% de los casos.

El estado de "sequedad" de un material depende de sus propiedades higroscópicas: en función de la temperatura y de la humedad del aire se depositan moléculas de agua en las superficies, se unen en el interior del material y se precipitan en los capilares más finos a causa del descenso de tensión del vapor. De ello depende el grado de absorción de las superficies de los elementos constructivos, de los revocos, pinturas, empapelados, revestimientos de tela y otros análogos, de buenos efectos para breves fluctuaciones de la humedad del aire con eventual formación de agua de condensación. Esta humedad es devuelta de nuevo rápidamente al exterior.

El grado de absorción capilar es consecuencia de la diferencia de tensiones en los capilares llenos de agua, debida a la cohesión y a la adhesión. Cuanto más finos son los capilares, tanto mayores son las fuerzas efectivas y tanto más regular y rápidamente tendrá lugar un intercambio de humedad. Cuanto mayores son los poros de un material, tanto menos absorbente y portador de humedad es éste. El ladrillo de poros finos y el hormigón de piedra pómez, de poros gruesos, corresponden por sus propiedades a estos dos extremos.

Por consiguiente, el principal cometido de la protección contra la humedad, especialmente de elementos constructivos exteriores situados por encima y por debajo del terreno, consiste en detener el efecto de la humedad sobre los materiales de forma que por lo menos a lo largo del ritmo de las estaciones el equilibrio entre absorción y cesión de humedad no pueda llegar a perturbarse hasta el punto de que, a causa de ello, el aislamiento térmico de dichos materiales sufra menoscabo en el transcurso del tiempo.

Las cantidades de agua de condensación formadas en las superficies o absorbidas por ellas son (prescindiendo de estructuras inadecuadas) por regla general varias veces superiores a las propias cantidades interiores de condensado. En determinados casos es preciso mantenerlas lo más reducidas posibles por medio de un suficiente aislamiento térmico y de un correcto montaje de los elementos constructivos, con objeto de evitar daños por humedad al edificio, al mobiliario y demás equipamientos.

Para no tener que recurrir posteriormente a medidas auxiliares difíciles y costosas, es necesario tener en cuenta estos puntos de vista ya al realizar el proyecto. Las causas que originan daños por humedad en una obra están estrechamente relacionadas con la forma de la planta y la composición en alzado de las edificaciones, con la elección de los materiales y la ejecución de los elementos constructivos, con la utilización de los diversos locales y con el tipo de calefacción y aireación que poseen.

Protección térmica

La norma DIN 4108 "Protección térmica" comprende bajo este subconcepto de la protección de las edificaciones todas las medidas tendientes a reducir el flujo calórico entre el ambiente exterior y el ambiente interior, por un lado, y entre locales a distintas temperaturas, por el otro. Aun cuando por lo general la norma tiene en cuenta los conceptos básicos de la Técnica del Calor, en cuanto a medidas constructivas se limita sin embargo a estudiar la reducción de las pérdidas de calor y los fenómenos que las acompañan durante la estación fría.

No obstante, la protección térmica debe considerarse además en su gran relación con la variación climática propia de las estaciones y con el bienestar de las personas. Se trata de mantener apartadas del propio ser humano, del mobiliario, de los géneros almacenados y en cierto modo también de la estructura constructiva las influencias negativas tanto de una disminución calórica excesiva como de una aportación exagerada de calor.

- Las bajas temperaturas reducen la sensación de bienestar y conducen a enfermedades.
- Las temperaturas elevadas determinan una disminución de rendimiento y son también peligrosas para la salud.
- Un aislamiento insuficiente frente a las temperaturas exteriores, que puede dañar asimismo las instalaciones y los géneros almacenados y perturbar la marcha de los procesos de producción, exige un elevado esfuerzo continuo en cuanto a medidas de calefacción y refrigeración.
- Las grandes fluctuaciones de temperatura provocan en muchos materiales considerables tensiones y deformaciones adicionales, que pueden ser el origen de daños en elementos constructivos interiores y exteriores.

Antes de deducir las conclusiones conducentes a reducir las pérdidas de calor, por un lado, y la irradiación térmica por el otro, serán expuestos los fenómenos físicos del intercambio calórico y las relaciones entre el bienestar de las personas y los componentes de climatización del ambiente.

HUMEDAD DE LOS MATERIALES PÉTREOS, EN % EN VOLUMEN según J. S. Cammerer, W. Schöle, A. Hummel y J. Sittel			
Clase de material de construcción	Humedades observadas en % en volumen	Humedades habituales en % en volumen	Humedades permanentes (valor más frecuente *) en % en volumen
Obra de fábrica de ladrillo ordinario o silicocalórico	0,3—4,0	0,3—1,5	2
Hormigón de todas clases y de cualquier porosidad; yeso	3,0—17,0	4—10	7
Hormigón de pómez	3,4—24,0	5—17	13
Barro	4,2—14,5	4—10	7
Tierra arenosa	4—14	—	8
Tierra arcillosa con humus	23—28	—	28
*) Valor más frecuente + margen de seguridad según la norma DIN 4110			

HUMEDAD DE LOS MATERIALES DE ORIGEN VEGETAL (MATERIALES AISLANTES) según J. S. Cammerer			
Material	Humedad en % en peso:		
	Circunstancias favorables en la obra	Circunstancias de tipo promedio en la obra	Circunstancias desfavorables en la obra
Planchas de corcho	2,5	4	8
Placas de lana de madera	15	20	33
Placas de turba	22	30	50
Placas aislantes de fibra de madera	15	20	33
Madera (sin enlucidos encima)	13	15	20

Proceso del intercambio calórico

Entre dos cuerpos o medios a distinta temperatura tiene lugar un inevitable intercambio de calor, el cual no puede impedirse totalmente de ninguna manera, sino sólo modificarse en cuanto a intensidad y duración. Independientemente del valor de la temperatura, el calor fluye siempre hacia el lado relativamente más frío. El calor no puede almacenarse —en todo caso sólo por un tiempo limitado—, por lo que para evitar su pérdida es preciso irlo regenerando con una nueva aportación constante.

Desde el punto de vista estrictamente físico no existe "frío", sino únicamente calor por encima de la temperatura absoluta más baja (cero absoluto). No obstante, las expresiones "frío" y "protección contra el frío" son corrientes en la técnica, y precisamente con respecto a instalaciones en las cuales debe generarse frío artificial, por ejemplo refrigeradores o cámaras frigoríficas. A pesar de ello, el problema inherente a tales instalaciones es en verdad de protección contra el calor, ya que consiste en reducir al mínimo la penetración del calor exterior en el recinto que desea mantenerse frío. Puesto que no es posible evitar por completo la penetración de calor a base de aislamiento térmico, hay que contrarrestarla siempre mediante la generación de frío, si no continua por lo menos intermitente.

El proceso natural de intercambio calórico, de compensación entre calor y frío puede ocurrir de varias maneras:

— Por radiación, en cuanto se hallan frente a frente dos cuerpos a diferente temperatura. Cuanto mayor es la temperatura tanto menor es la longitud de onda de la radiación calórica. Esta no queda circunscrita a un medio material de soporte, sino que atraviesa también el vacío. Todo cuerpo sometido a una radiación refleja una parte de la energía recibida, absorbe otra para transformarla en calor y transmite el resto a su través, en función de la temperatura ambiente, la estructura del cuerpo y la naturaleza de su superficie. Casos extremos son el cuerpo absolutamente negro, que absorbe toda la energía recibida, y el espejo ideal, que la refleja sin calentarse.

— Por conducción a través de la materia, en virtud de la cual el calor pasa de una partícula a otra y moléculas a diferente temperatura (por consiguiente, poseyendo diferente energía cinética) chocan entre sí e intercambian sus energías, sin alterar no obstante sus posiciones respectivas. Cuanto mayor es la temperatura tanto más intenso es el movimiento de las moléculas de un medio, las cuales sólo alcanzan el estado de reposo a la temperatura del cero absoluto (-273°C). Todos los materiales conducen el calor con una velocidad que varía en función de su densidad: tanto más rápidamente cuanto más densos son.

— Por convección, sólo en gases y líquidos. Las moléculas de éstos, fácilmente desplazables entre sí, propagan la energía térmica recibida por radiación y conducción, sea hacia arriba a causa del menor peso de las moléculas más calientes, sea gracias a corrientes artificiales, como ocurre en instalaciones de calefacción y acondicionamiento de aire.

— Por difusión del vapor de agua, cuando la energía térmica vinculada al vapor y arrastrada por él durante su condensación, sea en el aire o en el interior de elementos constructivos, es liberada de nuevo. La precipitación de la humedad en tales elementos va acompañada de una mayor conductibilidad térmica y, por tanto, de mayores pérdidas caloríficas.

Balance térmico de las personas

El cuerpo humano se halla en intercambio térmico permanente con el ambiente que lo rodea. Las sustancias nutritivas básicas de los alimentos —proteínas, grasas e hidratos de carbono— son descompuestas por efecto de procesos internos de metabolismo, y su combustión suministra el calor necesario para mantener la temperatura normal del cuerpo. En el hombre y en los mamíferos ésta es, por término medio durante el día, de $37,2^{\circ}\text{C}$. La temperatura interior del cuerpo tolera tan sólo exiguas fluctuaciones. Un enfriamiento por debajo de 32°C y un calentamiento superior a 42°C son mortales. La piel y las extremidades resisten, en cambio, mayores fluctuaciones. La uniformidad en la

temperatura del cuerpo es debida a la circulación de la sangre en todas las partes del organismo. La magnitud y constancia de esta temperatura algo variables, quedan determinadas por la relación entre calor cedido y calor producido. La energía generada que se libera se mide en kilocalorías.

El calor liberado por una persona adulta es:

durante el sueño	unas 75 Kcal/h
en reposo	unas 80 Kcal/h
en ligera actividad, por ej.,	
trabajos de oficina	unas 100 Kcal/h
en esfuerzos corporales medios	unas 200 Kcal/h
en esfuerzos corporales intensos	
puede llegar a	unas 500 Kcal/h
e incluso más	

El intercambio térmico del cuerpo humano con el ambiente se realiza por cuatro conductos:

1. Por la respiración (25... 30%). Al respirar, el ser humano aspira aire fresco (y con él también oxígeno) y expulsa aire caliente y humedad.
2. Por convección (25... 30%). Por convección al aire, a través de la piel, se elimina también humedad por evaporación.
3. Por radiación calórica (35... 40%). Se propaga, como toda radiación, a la velocidad de la luz, y está influida más por la temperatura superficial del cuerpo que por la del aire. Se transmite siempre del cuerpo más caliente hacia el más frío y es en parte absorbida y en parte reflejada. Del total de calor cedido por el cuerpo, la parte que lo es por radiación supera las que lo son por respiración o convección.
4. Por excreciones (5... 10%).

Influencias meteorológicas

En Europa central, las condiciones ambientales relativas a la protección térmica de las edificaciones, según la DIN 4108, son sumamente variables en función de las estaciones o épocas del año, de las condiciones meteorológicas y de las características regionales. Se distinguen diversas zonas climáticas según la temperatura mínima invernal del aire:

En la zona de aislamiento térmico I	unos -10°C
(se prescinde de las temperaturas más bajas que sólo aparecen raramente y duran pocos días)	
En la zona de aislamiento térmico II	unos -15°C
En la zona de aislamiento térmico III	unos -20°C

Durante el verano puede contarse, por el contrario, con temperaturas del aire de 30 a 35°C a la sombra y de 60 a 70°C al sol. Se ve que las primeras se aproximan a la temperatura del cuerpo, y que las segundas la sobrepasan de manera considerable. La intensidad de la radiación solar depende de la hora del día y de la época del año, prescindiendo de la nubosidad, de la humedad del aire y de la pureza o contaminación del mismo. Es asimismo importante el enfriamiento durante la noche, debido tanto a motivos meteorológicos como inherentes a la naturaleza de la región.

Condiciones invernales

La diferencia entre la temperatura del aire y la del cuerpo llega a ser en invierno, en casos extremos, hasta de 60°C e incluso más. Durante la estación fría del año el ser humano, pues, está sujeto al peligro de una cesión de calor excesiva. Contra este peligro se defiende el hombre ante todo llevando vestidos calientes, y el organismo se autoprotege poniendo todos los procesos de regulación en estado por así decirlo de "hibernación". Durante el invierno el cuerpo humano se adapta también en cierta medida a las temperaturas frías. En cuanto al descender la temperatura del aire se nota la sensación de malestar, en este caso de frío, se cierran los poros de la piel, disminuye la temperatura superficial de la misma, baja la evaporación y queda estrangulado el sistema circulatorio capilar. La piel adquiere un aspecto más pálido, se produce una mayor irrigación sanguínea y un mayor llenado

de las venas. Con ello la piel aparece azulada y los pelos del cuerpo se levantan (piel de gallina), reforzando así la protección térmica.

Condiciones estivales

Las condiciones propias del clima estival actúan de forma opuesta sobre el cuerpo. En cuanto la temperatura del aire excede de 25°C a la sombra, el intercambio calórico del hombre con el medio ambiente se ve dificultado. Si a ello se añade todavía la radiación solar directa o cualquier otra radiación calórica, por ejemplo de una máquina, es preciso tomar medidas eventuales o bien se produciría un peligroso estancamiento de calor.

Como protección contra este calor excesivo, el sistema circulatorio periférico del cuerpo se adapta a las nuevas condiciones: la piel y las mucosas reciben mayor irrigación sanguínea, y todos los procesos de regulación se desenvuelven por así decirlo "a gran velocidad". En esta época del año el hombre es, a causa de esto, muy sensible al frío.

El cuerpo se defiende de la dificultad de intercambiar su calor abriendo los poros de la piel, en ciertos casos con formación de sudor. La cesión térmica por convección baja, y la parte de la cesión total de calor correspondiente a la evaporación aumenta. El mismo efecto ocurre también con bajas temperaturas del aire cuando la cesión calórica del cuerpo aumenta considerablemente a causa de un pesado esfuerzo físico y la convección del aire no es suficiente para crear el equilibrio en la emisión de calor.

Sensación de bienestar

Los dos extremos, la pérdida excesiva de calor en invierno y la dificultosa emisión de calor en verano, provocan en las personas una sensación de malestar. Entre ambos extremos, hay no obstante —mayormente en muchos días de primavera y de otoño, si bien sólo en determinadas horas— condiciones atmosféricas, temperaturas del ambiente, y grados de insolación, que despiertan en el hombre una acentuada sensación de agrado o de bienestar.

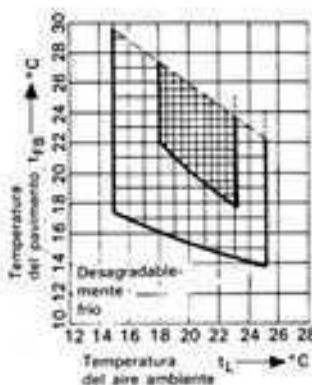
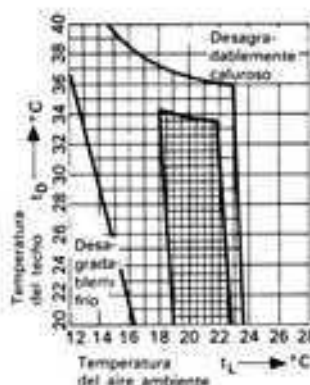
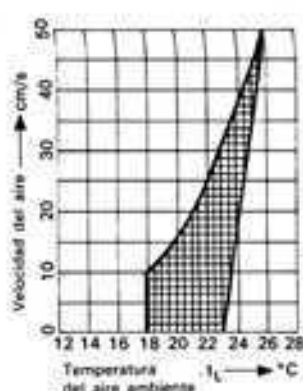
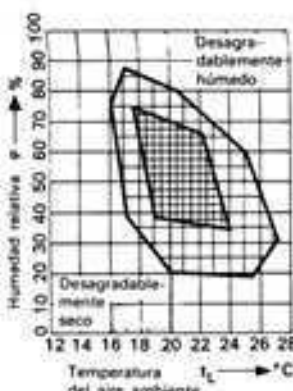
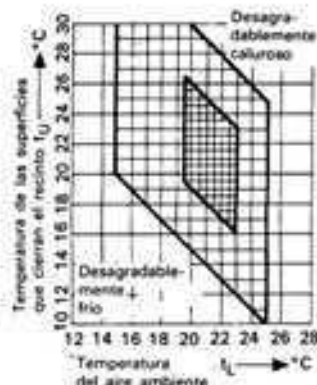
El concepto de "bienestar" sólo puede definirse con la misma imprecisión que el de sanidad. En primer lugar existen diferencias de un individuo a otro, y, además, también la edad desempeña cierto papel. Las personas ancianas tienen frío con más facilidad que las jóvenes. Por último, no debe olvidarse la importancia del "endurecimiento" y de la adaptación a determinadas circunstancias de calor. Las personas, por ejemplo, que han vivido largo tiempo en África, tienen todavía frío a temperaturas a las cuales nosotros ya sudamos. Teniendo presente estas reservas y limitaciones puede decirse que "bienestar" es el estado en el cual todos los procesos corporales de regulación se realizan con el mínimo dispendio de energía, es decir, cuando la generación de calor por parte del cuerpo se mantiene en equilibrio con el calor cedido por él al ambiente. En nuestras zonas climáticas y en estado de reposo, este estado se alcanza cuando la temperatura del aire oscila entre 20 y 22°C. Con el efecto adicional de la radiación solar estas circunstancias son susceptibles de variar. Nadie ignora que en alta montaña, en pleno invierno y hacia el mediodía pueden tomarse baños de sol en lugares resguardados del viento. Que la época y la costumbre también influyen en ello puede reconocerse por el hecho de que después de la primera guerra mundial empezaron a calcularse calefacciones por agua caliente a base de alcanzar temperaturas de 18 a 20°C en las viviendas.

Hay una serie de motivos que explican la mayor necesidad actual de energía calórica. Para nombrar sólo algunos: sistemas de calefacción más cómodos, más fácilmente regulables; escasa humedad en el aire de las viviendas; vestidos más ligeros, tendencia a la esbeltez (disminución del cinturón de grasa), diferente alimentación, trastornos del sistema vegetativo y mala regulación de los mecanismos de adaptación.

Regulación del clima ambiente

Si se desean crear para el hombre recintos habitables por largo tiempo o permanentes, es preciso por así decirlo fabricar en ellos artificialmente las condiciones climáticas propias de los días diá-

FACTORES QUE INFLUYEN EN LA SENSACIÓN DE BIENESTAR



fanos de primavera y otoño. Estas condiciones dan el clima interior deseado. Por clima ambiente se entiende el concurso térmico combinado de pared exterior, ventanas, tabiques, suelos y techos con la calefacción, ventilación o climatización, en sus efectos sobre la temperatura, humedad y circulación del aire contenido en el recinto.

Calefacción

Se nota sensación de bienestar en un recinto cuando, según la experiencia indica, con nuestras calefacciones corrientes por convección (calefacciones por agua caliente, estufas, calentadores eléctricos), la temperatura del aire ambiente es de 20 a 22°C y la temperatura superficial de suelos, paredes y techos es de 17 a 18°C. Si se trata de calefacciones puras o preponderantemente por radiación, la sensación de bienestar aparece ya con una temperatura del aire de 17 a 18°C.

La temperatura del aire y la de las superficies del recinto sólo pueden compensarse entre sí hasta ciertos límites. Así, por

ejemplo, si la temperatura superficial de las paredes sólo es de 10-13°C, una mayor temperatura del aire del recinto no puede compensar este déficit porque el cuerpo humano, situado próximo a la pared, pierde demasiado calor por radiación hacia la fría superficie de la misma. Es mejor el sistema inverso, es decir, elevar la temperatura de las paredes que cierran el recinto y bajar simultáneamente la temperatura del aire; es lo que ocurre con los diferentes tipos de calefacciones por radiación. Sin embargo, primero se genera siempre debajo de las ventanas y delante de las superficies acristaladas, un velo de aire caliente, generalmente por medio de radiadores. Los radiadores de agua caliente ceden aproximadamente el 70% de su calor por convección y el 30% por radiación. Las calefacciones por radiación pueden montarse en el suelo, en la pared o en el techo individualmente o también combinadas. A este respecto hay que tener presente que la superficie del suelo sólo debe estar a 25-28°C, y que la de una pared o un techo caldeados sólo puede alcanzar 35-40°C. Entonces basta para el aire una temperatura de 18°C. El sistema de calefacción que más agradablemente actúa sobre el ser humano es el que confiere a las superficies del recinto las temperaturas regulares y moderadas que mejor corresponden a la emisión térmica natural de las personas. Las calefacciones por radiación, ante todo las situadas en el suelo o pavimento, son las que más se aproximan a estas condiciones ideales.

Sin embargo, todas las calefacciones por radiación situadas en paredes y techos tienen el inconveniente de la inercia. Sólo se adaptan con lentitud a variaciones súbitas de temperatura, es decir, tras un cambio brusco de tiempo dejan perdurar durante horas un ambiente de frío o de calor excesivo.

Igual que en invierno se necesita calefacción, durante el verano es preciso tomar medidas para protegerse de la radiación y del calor solar, así como para disminuir la temperatura del aire ambiente. La consecuencia de un clima ambiente agradable durante los calurosos días estivales a base de construcciones ligeras y grandes ventanas sólo puede lograrse con mucho esfuerzo. Cuando la aireación y ventilación naturales no aportan suficiente alivio, es preciso ir eliminando la energía térmica que penetra en exceso, para lo cual hay que contar con costes varias veces superiores a los que supone la generación invernal de calor.

Ventilación

Como es sabido, el aire tiene la siguiente composición, en volumen:

Nitrógeno	78%
Oxígeno	21%
Ácido carbónico	0,03 a 0,04%
Vapor de agua	0,01%

Del oxígeno inspirado en la respiración el hombre devuelve el 17,5% al efectuar la espiración. Además, exhala del 3 al 4,5% de ácido carbónico, y evapora

35 g/h a 20°C de temperatura ambiente
45 g/h a 22°C de temperatura ambiente
60 g/h a 25°C de temperatura ambiente

Dado el espacio limitado de nuestras habitaciones y recintos de trabajo es, pues, preciso, prever para ellos la correspondiente renovación de aire. Ello implica no sólo la eliminación de las impurezas que contiene el aire, como humo y malos olores, etc., sino ante todo la supersión del vapor de agua y de la concentración de ácido carbónico. Un contenido de ácido carbónico del 0,2% puede considerarse todavía tolerable; uno del 4% tiene ya efectos mortales.

El hombre experimenta el máximo bienestar cuando respira un aire cuya humedad relativa oscila entre el 35 y el 65%. Un 30% provoca una sensación de sequedad e irrita las mucosas a consecuencia de las partículas de polvo contenidas en el aire. Un 70% o más provoca una sensación de bochorno y pesadez, y dificulta la necesaria emisión calórica.

La humedad relativa varía con el aumento o la disminución de la temperatura. Cuántas más personas se hallan en un recinto, tanta más humedad comunican al aire. A la disminución del conte-

nido de humedad contribuyen ya normalmente los resquicios de puertas y ventanas, los cuales determinan la renovación completa del aire, con aportación de aire seco, de una a dos veces por hora. El resto de humedad se elimina por ventilación a través de las ventanas, la cual es necesaria tanto para evacuar el aire viciado como para la aportación de oxígeno. En cocinas y baños, donde la humedad relativa del aire alcanza a menudo el grado de saturación o incluso lo sobrepasa, no suele limitarse la ventilación a la que proporciona una ventana, sino que se disponen conductos adicionales de aireación.

Climatización

Para generar un clima ambiente óptimo es necesaria una instalación de acondicionamiento o climatización susceptible de renovar, purificar, humidificar o deshumidificar y calentar o refrigerar el aire. El montaje de la misma, que influye ya sobre la estructura general de la obra y sobre la altura de las plantas, y su funcionamiento son, sin embargo, tan caros, que hasta el momento sólo se equipan con ella edificaciones especiales, por ejemplo grandes oficinas (que ya no pueden airearse por ventilación natural), instituciones científicas, laboratorios, hoteles de lujo, etc. Al calcular la refrigeración para los días calurosos debe tenerse siempre en cuenta que, en verano, el cuerpo está adaptado a una mayor temperatura del aire; por consiguiente, la agradable temperatura de 20 a 22°C del invierno se encuentra excesivamente fría en pleno verano.

A continuación se indica la relación que debe existir entre la temperatura exterior del aire y la temperatura interior ambiente:

Temp. exterior	Temp. interior
25°C	unos 23°C
30°C	unos 25°C
32°C	unos 26°C

En las instalaciones de acondicionamiento juega también un papel importante en la sensación de bienestar el movimiento del aire. Si bien la velocidad en las bocas de introducción de aire, en el techo o en los ángulos del local, depende del alcance necesario del chorro de aire, en los puestos de trabajo hay que mantenerla suficientemente reducida para que no sea percibida como corriente. A 21°C debe ser inferior a 20 cm/seg. y a 26°C inferior a 50 cm/seg.

Sin embargo, por fina que sea la regulación de una instalación de acondicionamiento no se podrá lograr jamás la plena satisfacción de todos quienes se hallan en el recinto climatizado. Las diferencias individuales en cuanto a necesidad de calor será siempre preciso compensarlas con vestidos más ligeros o más calientes. Finalmente, para el bienestar es todavía importante que el clima ambiente no permanezca absolutamente constante (la constancia térmica fatiga), sino que posea cierta amplitud de fluctuación, con el fin de estimar la circulación. Nuestras dependencias de trabajo y nuestras habitaciones por lo general carecen de instalaciones de climatización.

En edificaciones donde con predominio se desarrollan esfuerzos corporales o en determinados centros de producción, almacenes, etc., las condiciones de climatización pueden ser básicamente distintas de las que imperan en edificaciones para oficinas o para viviendas. Esto puede tener consecuencias para la disposición de paredes y techos, para la estructura constructiva entera y ante todo para la calefacción y ventilación. En cada caso habrá que buscarse la mejor solución apoyándose en la experiencia adquirida, en la colaboración de especialistas y, si así conviene, en el asesoramiento médico.

Medidas protectoras contra la pérdida de calor

Puesto que la evacuación o pérdida de calor del interior del edificio hacia el aire exterior más frío no puede evitarse por completo, es preciso compensarla mediante una aportación o generación artificial de calor en las diversas dependencias. El dimensionamiento de estufas, calefactores o radiadores, así como el tamaño y la potencia de una central de calefacción se basa en el cálculo de la necesidad de calor según DIN 4701. La necesidad

de calor es igual a la pérdida térmica del edificio como suma de las circunstancias que concurren en los diferentes locales. El calor necesario que de ello resulta depende de los siguientes factores:

- del macroclima del lugar (zona de aislamiento térmico).
- de la situación de la obra con respecto al sol y al viento (orientación).
- del clima interior obligado por la utilización de las diversas dependencias del edificio.
- de la relación entre el volumen y la superficie del edificio.
- de la permeabilidad térmica de las partes constructivas externas, o sea de las paredes, de las ventanas, de las puertas del forjado por encima de la planta más alta y del suelo situado debajo de la planta completa más inferior.
- de la comodidad en el servicio de las instalaciones y de la capacidad de adaptación del sistema de regulación de la temperatura.
- del precio de la energía empleada para generar el calor.

De todas estas magnitudes, en parte ya fijadas de antemano, la permeabilidad térmica de los elementos constructivos externos es lo más decisivo que debe tenerse en cuenta en la planificación. Sólo así pueden mantenerse exiguas las pérdidas de calor y, por tanto, la necesidad de energía térmica.

Cuanto más pequeña es la superficie de un edificio con respecto a su volumen, tanto menor es la pérdida calórica que experimenta el mismo. En consecuencia, desde el punto de vista térmico, el cubo es la forma más favorable de un edificio, y el rascacielos o la casa elevada esbelta, la más desfavorable. Lo mismo vale para la relación entre perímetro y superficie de base. Cuanto más difieren longitud y anchura una de otra, es decir, cuanto más alargada es una planta, tanto mayor y más desfavorable resulta la cantidad de paredes externas por m^2 de superficie útil. La forma cerrada más propicia es por tanto la de la circunferencia o del cuadrado. Los cuerpos de edificio y las fachadas muy subdivididos exigen también una elevada cantidad de calor a causa de su mayor superficie; lo propio ocurre con el edificio aislado frente al encajado en otros.

Sin embargo, a medida que crece la superficie destinada a ventanas va disminuyendo el aislamiento y la acumulación térmicos proporcionados por las superficies cerradas formadas por las paredes exteriores. La mayor pérdida térmica a través de las ventanas puede precaverse mediante un múltiple acristalamiento aislante e impidiendo que el aire se infiltre por las juntas. No obstante, puesto que el lado norte, al no disponer de la posibilidad de una irradiación solar adicional, se enfriará más intensamente que los lados este, sur y oeste, se ve que la orientación de un edificio influye también en definitiva sobre la necesidad de calor en el mismo (véase "Protección solar", página 59).

Cuanto mayor es la diferencia de temperatura entre el ambiente exterior y en interior y cuanto más elevado es el precio que cuesta la generación de energía calórica, tanta mayor atención debe prestarse a la protección térmica de los elementos constructivos externos en el proyecto. Una inversión suplementaria que se efectúa una sola vez, encaminada a mejorar la protección térmica, repercutirá en forma de ahorro no sólo en los costes corrientes de generación de calor, sino ya en el de la instalación de calefacción.

Protección térmica mínima y conveniente

Sin embargo, la norma DIN 4108 "Protección térmica en construcciones por encima del nivel del suelo" sólo prescribe un mínimo de medidas constructivas para todos los elementos que circundan recintos y edificios utilizados como morada permanente del hombre. Estas exigencias mínimas en cuanto a protección térmica deben estar satisfactoriamente demostradas en la instancia de solicitud de la licencia de construcción. Como base de evaluación de estas exigencias mínimas se partió primitivamente del hecho de que es preciso evitar la precipitación del agua de condensación en las superficies de cerramiento internas, a una humedad relativa del aire del 70% e incluso tras el enfriamiento nocturno, para no dañar la salud de las personas ni la propia obra. Esta protección térmica mínima no establece, sin

embargo, las condiciones óptimas para el clima ambiente ni para la rentabilidad a largo plazo.

Cuando se trata de viviendas de alquiler, el propietario tiende a construir lo más barato posible y el inquilino quiere satisfacer un alquiler lo más módico posible; un cálculo que, desde el punto de vista económico, carece del menor fundamento. Los costes de construcción se sufragar una sola vez, y en ellos deben tenerse naturalmente en cuenta el rédito y la amortización; por el contrario, los de calefacción son gastos permanentes, que no se amortizan.

En el transcurso de los últimos decenios han aumentado notablemente las exigencias en cuanto a clima doméstico confortable. Con la protección térmica mínima estas condiciones sólo pueden alcanzarse, en parte, reforzando la calefacción; en parte, porque una mayor temperatura del aire no puede compensar totalmente el calor irradiado por una pared exterior en invierno, ni el irradiado entre locales a diferente nivel térmico.

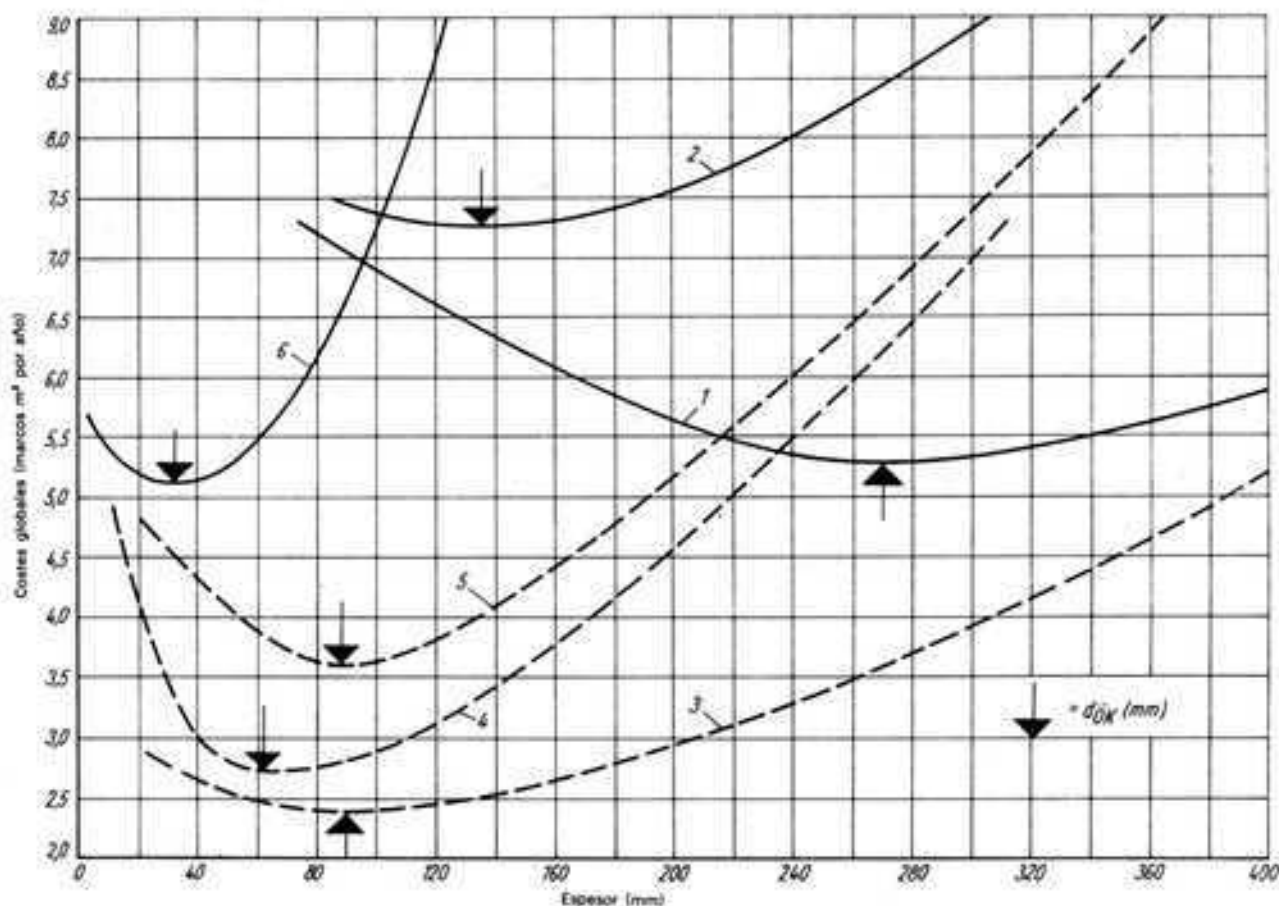
Para crear un clima ambiente lo más agradable posible es, pues, necesario elevar la temperatura superficial de las paredes que circundan los recintos. Esto contribuye la mayoría de las veces a elevar la sensación de bienestar. Las temperaturas superficiales de un recinto deben seguir lo más lentamente posible las fluctuaciones de las temperaturas exteriores, aproximadamente con el ritmo de día y noche; es decir, las paredes o elementos de cerramiento deben presentar la máxima inercia posible a la absorción y cesión de calor, o sea deben ser buenos acumuladores de energía calorífica (prescindiendo de locales climatizados).

Protección térmica óptima

Según las experiencias conocidas, para mejorar el clima ambiente en edificios de viviendas y otros análogos, da buen resultado aumentar el aislamiento térmico más allá de las exigencias de la norma DIN 4108. Una mayor protección térmica —preferentemente en todas las superficies exteriores de una obra— determina ante todo una elevación de los costes de construcción, pero supone a la vez una disminución de los gastos de calefacción. Para que la protección térmica adicional resulte rentable es preciso que los ahorros en calefacción cubran por lo menos los réditos y gastos de amortización causados por el mayor desembolso constructivo. Si los gastos de calefacción se hallan por debajo de los límites correspondientes se obtienen por lo general tras cinco años según la amortización de los mayores costes de construcción, ahorros de calefacción permanentes. Para alcanzar este objeto no puede facilitarse ninguna receta sencilla, ya que en la cuestión intervienen demasiados factores y muy variados. Las experiencias y las precisas investigaciones de W. Triebel, del Bauforschungsinstitut de Hannover, sobre los tipos de pared exterior más importantes, han puesto de relieve que, por ejemplo, en paredes de ladrillo macizo ordinario, el espesor de pared equivalente a ladrillo y medio (36,5 cm), conocido desde bien antiguo, proporciona la mejor relación entre costes de construcción y costes de calefacción (supuesta por agua caliente), es decir, la protección térmica óptima; el valor de k es en este caso 1,3. Un mayor espesor de pared no supondría ninguna disminución perceptible de los gastos de calefacción, y sí en cambio un notable aumento del coste de construcción de la pared exterior, acompañado de la reducción simultánea de la superficie útil. En paredes a base de ladrillos perforados, o sea con perforaciones verticales, se obtiene una protección térmica óptima para un espesor de pared exterior de 30 cm ($k = 1,1$).

El mejor aislamiento térmico de una pared exterior se logra cuando la parte sustentante, dispuesta en el interior del recinto y acumuladora de calor se dimensiona según las exigencias de la estática, y se le antepone exteriormente una materia de elevado poder aislante, por ejemplo Styropor, protegida a su vez por un tabicón contra las humedades. Con una capa aislante de pocos centímetros pueden lograrse así valores de k de 0,5 a 0,3. De forma análoga a los de las paredes exteriores se presentan los problemas de aislamiento térmico en caso de cubiertas planas, especialmente de las llamadas cubiertas calientes (ver pág. 575). Para dimensionar el espesor de la capa aislante es decisivo conocer el combustible empleado. Cuanto más caro es éste, tan-

Costes globales y espesores óptimos para diferentes materiales constructivos y aislantes, comparados entre sí y calculados a base de un precio de suministro de calor de 18 marcos alemanes por 10⁶ Kcal (según Eichler).



Curva 1: pared de hormigón a base de árido ligero.

Curva 2: pared de hormigón poroso.

Curva 3: capa aislante de lana de escorias.

Curva 4: capa aislante de polystyrol esponjoso.

Curva 5: capa aislante a base de placas de lana de madera.

Curva 6: capa aislante de vidrio celular.

to más efectiva debe ser la capa aislante. Como combustibles sólo se utilizan hoy —por orden creciente de precios— fuel-oil, gas natural y electricidad.

Para que una calefacción eléctrica resulte todavía rentable con respecto a una calefacción por fuel, es preciso reforzar sustancialmente el aislamiento térmico que esta última exige: es deseable ante todo una mayor capacidad de acumulación de los elementos constructivos. Los gruesos de aislamiento a dimensionar deben determinarse en cada caso.

Puesto que las isoterms anuales sólo difieren poco entre sí, el gasto por calefacción puede considerarse bastante constante a lo largo de varios periodos de utilización.

Protección solar

En el sentido más estricto se entiende por protección solar tan sólo el apantallamiento de superficies exteriores, especialmente de ventanas, para hacer frente a una irradiación o un deslumbramiento solares demasiado intensos. En un sentido más amplio, no obstante, todas las medidas encaminadas a estabilizar el clima ambiente interior, como son disponer un sistema de refrigeración o acondicionamiento de aire, construir con masas acumuladoras de calor en el interior del edificio o bien orientar debidamente la obra y dimensionar convenientemente sus aberturas, cuentan también entre las medidas de protección solar que es lícito incluir bajo el concepto más general de "Protección de las obras".

Radiación solar

Los rayos solares actúan psíquica y físicamente sobre el ser humano. El brillo del sol puede ser deseado y estimulante, pero también molesto, cuando no perjudicial o peligroso, si su intensidad va creciendo. El hombre puede soportar más el sol cuando está al aire libre que cuando se halla expuesto a él detrás de la ventana de una habitación, sentado o en posición de reposo. Al aire libre, tanto el movimiento propio como el del aire hacen que la superficie del cuerpo, por convección y evaporación, ceda el calor absorbido más fácilmente que en el interior de un recinto cerrado. Las personas no reaccionan del mismo modo a la energía radiada por el sol, sino de forma distinta según el hábito, la constitución, la edad y el sexo. Las personas con sistema vascular periférico bien irrigado soportan más el sol que aquellas con mala circulación.

Ahora bien, la radiación solar puede actuar no sólo de forma directa sobre el bienestar de las personas, sino también de forma indirecta, por influencia sobre el clima ambiente. Precisamente las construcciones ligeras (aunque aíslan lo suficiente del calor, y son poco susceptibles de acumularlo) y las grandes superficies acristaladas de la arquitectura moderna, originan con rapidez, en caso de radiación solar libre e ininterrumpida, un insoportable calentamiento del aire, de las paredes y de los techos en el interior de los edificios. Este fenómeno es deseable en las escasas horas de sol existentes durante los meses de invierno, ya que reduce la calefacción necesaria para compensar la pérdida térmica hacia el exterior. No es deseable, por el contrario, la afluencia de calor durante el verano, cuando por no haber diferencia de temperaturas el calor no puede evacuarse al

exterior a través de los elementos constructivos externos ni de ventilación, ni compensarse por acumulación en el interior del edificio. La eliminación artificial del calor es unas seis veces más cara que su generación. Para mantener un clima ambiente aceptable es, pues, necesario considerar la protección solar que se obtiene con la orientación de la obra, la configuración de los elementos constructivos externos y también con la estructura interna de la obra. Con objeto de que pueda apreciarse correctamente la eficacia de las medidas de protección solar, es imprescindible recordar algunas consideraciones astronómicas, geográficas y físicas.

Consideraciones astronómicas

Como es sabido, el Sol se mueve alrededor de la Tierra sólo aparentemente. La rotación de la Tierra sobre su propio eje determina las diferentes alturas del Sol sobre el horizonte en el transcurso del día y la sucesión de días y noches. Puesto que el eje de rotación de la Tierra no es perpendicular al plano de su órbita, sino que está inclinado unos $23,5^\circ$ con respecto al mismo, y se mantiene constantemente paralelo a sí mismo en el espacio, los hemisferios norte y sur de la Tierra son caldeados con intensidad variable por el haz de rayos solares durante las diferentes épocas del año, (sucesión de las estaciones). Por el contrario, la distancia variable entre el Sol y la Tierra, consecuencia de la elipticidad de la órbita que esta última describe alrededor del primero, tiene a este respecto una importancia secundaria. Comparativamente a la distancia media que separa la Tierra del Sol ($\sim 150.000.000$ de kilómetros) y al diámetro de este último ($1.400.000$ kilómetros) frente al de la primera (sólo 12.756 kilómetros), las fluctuaciones de la distancia del Sol alcanzan tan sólo $\pm 1,67\% = 2.500.000$ kilómetros. No ejercen por tanto ningún efecto apreciable sobre la intensidad de la radiación solar en la Tierra.

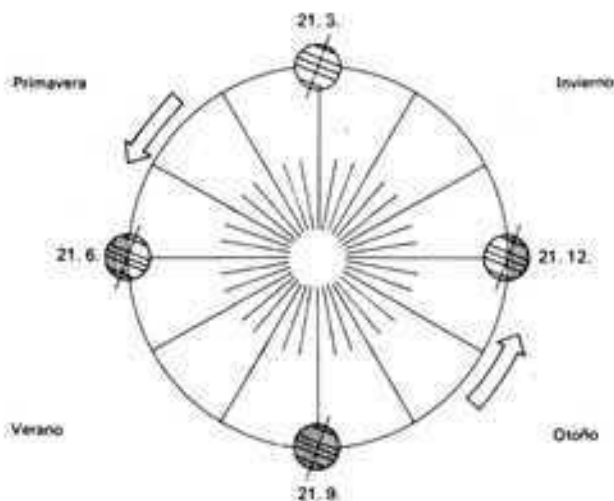
Intensidad de la radiación solar

La energía irradiada por el Sol alcanza, antes de penetrar en la atmósfera terrestre, la cifra de $1200 \text{ Kcal/m}^2\text{h}$ (constante solar). El efecto de esta radiación solar directa sobre una superficie cualquiera depende ante todo de la inclinación de dicha superficie con respecto a los rayos solares, es decir, del ángulo de incidencia de la radiación. Cuanto más nos aproximamos sobre la superficie terrestre a los círculos polares, y por tanto al eje de rotación, tanto más pequeño es este ángulo de incidencia y sobre una superficie tanto mayor debe repartirse la misma energía de radiación. Los casquetes polares de la Tierra sólo son alcanzados por rayos rasantes y sus puntos permanecen hasta seis meses en la propia sombra del planeta. En el interior de los círculos polares, durante el solsticio de invierno, el Sol no llega a salir ni siquiera al mediodía por encima del horizonte; durante el solsticio de verano, por el contrario, el Sol no se pone ni siquiera a medianoche. Con el menor ángulo de incidencia aumenta además el recorrido de los rayos solares a través de la atmósfera, hasta alcanzar la superficie terrestre. En su paso a través de la atmósfera no varía la intensidad de las radiaciones de onda corta, en parte visibles y en parte invisibles (ultravioleta). La energía que, irradiada por el Sol incide directamente sobre la atmósfera terrestre ($1200 \text{ Kcal/m}^2\text{h}$) en parte es reflejada como radiación indirecta (luz celeste difusa) y en parte absorbida para ser nuevamente cedida a la superficie terrestre en forma de radiación calórica de onda larga; a las latitudes centroeuropeas, apenas alcanza a la mitad la parte de aquella energía que llega a dicha superficie.

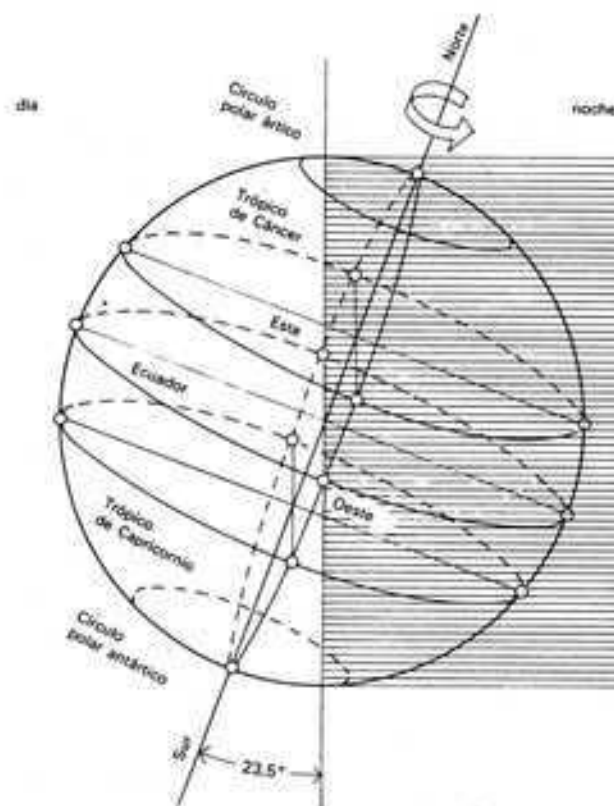
Influencias geográficas

Las masas de los océanos y de los continentes de la superficie terrestre reflejan y absorben las radiaciones incidentes y las devuelven a las capas atmosféricas más próximas en forma de energía térmica de onda larga, de acuerdo con las leyes de la conducción y radiación del calor. A causa de esta inercia térmica

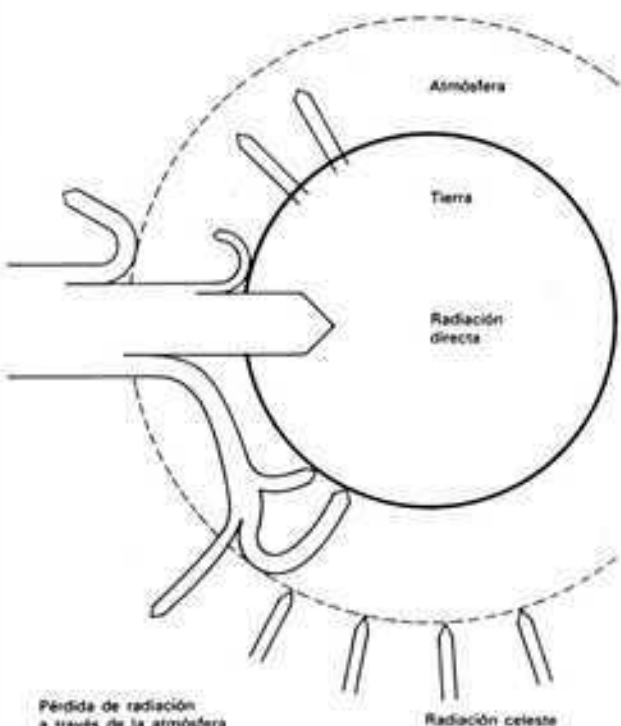
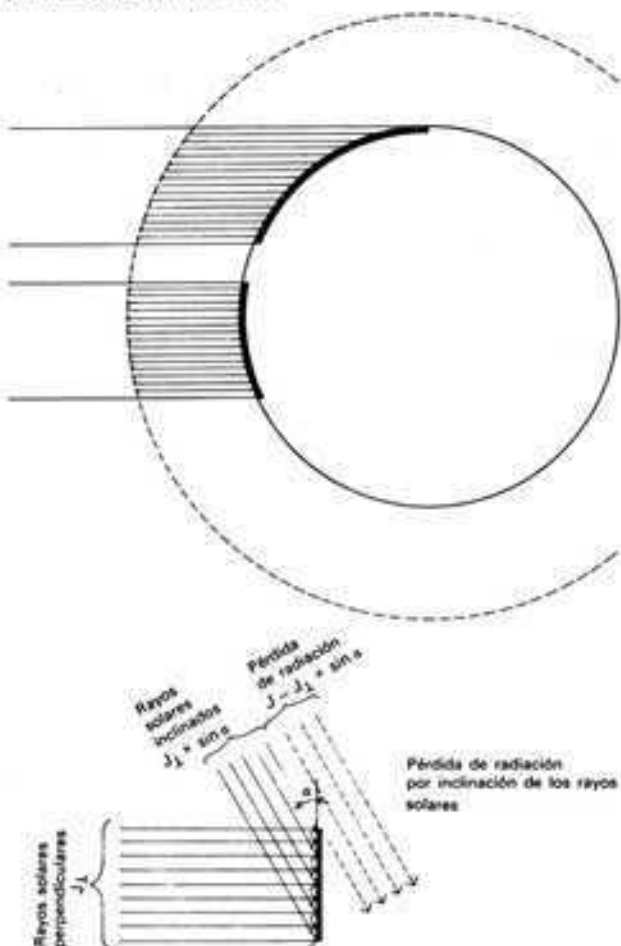
MOVIMIENTO DE LA TIERRA EN EL TRÁNSCURSO DE SU REVOLUCIÓN ANUAL ALREDEDOR DEL SOL



MOVIMIENTO DE LA TIERRA EN EL TRÁNSCURSO DE UNA ROTACIÓN DIARIA SOBRE SU EJE (ÉPOCA: PRÓXIMA AL SOLSTICIO DE INVIERNO PARA EL HEMISFERIO NOROCCIDENTE)



Pérdida de radiación
por inclinación de los rayos solares



de la superficie terrestre, las temperaturas máximas del aire se establecen con neto retardo respecto a las alturas máximas del Sol que las han provocado, lo cual puede observarse tanto en el transcurso de un mismo día como en la sucesión de las estaciones.

Los puntos de igual latitud geográfica quedan expuestos al Sol bajo la misma inclinación de los rayos y durante el mismo tiempo en el transcurso de un día. El caso extremo de rayos perpendiculares está reservado a puntos comprendidos entre ambos trópicos y limitado a dos veces por año. En tales días el Sol se eleva verticalmente por encima del horizonte. En esta zona tórrida los rayos solares pueden caer, en el transcurso del año, tanto desde el Sur como desde el Norte. La intensidad de la radiación solar es distinta en puntos de igual latitud, incluso en días claros, a causa de la topografía y de la altura sobre el nivel del mar, de la humedad y del movimiento del aire, y no en menor grado a causa de la contaminación de este último. Debido a la desigual distribución, a gran escala, de las masas de agua y de los continentes, las zonas climáticas y las franjas de vientos de la Tierra se corresponden sólo aproximadamente con las zonas de igual radiación solar.

Altura del Sol y tiempo de insolación

La posición del Sol en su recorrido aparente por encima del horizonte puede indicarse exactamente para cada punto de la Tierra con auxilio de un sistema espacial de coordenadas (esfera celeste). El plano fundamental lo constituye el horizonte, con sus cuatro puntos cardinales. Perpendiculares a dicho plano se suponen trazados los planos de los círculos verticales que pasan por el cenit, el nadir y el punto donde en un momento considerado se halla el Sol. En este sistema de coordenadas, la posición del Sol en cada lugar del espacio y en cada instante de tiempo queda fijada por dos datos angulares:

Acimut α : Separación del Sol de la dirección Sur, en el plano del horizonte, medida como ángulo entre el meridiano local y el círculo vertical que pasa por el Sol.

Altura h : Ángulo de elevación del Sol sobre el plano del horizonte, medido sobre el círculo vertical que pasa por el Sol.

El acimut y la altura solares varían continuamente a causa de los movimientos de la Tierra alrededor de su propio eje y alrededor del Sol, y también en función de la latitud geográfica.

No debe confundirse con la altura del Sol el ángulo de incidencia h' , que es la proyección de la altura del Sol h sobre un plano perpendicular a la superficie irradiada y al horizonte.

Existen diferentes sistemas de diagramas solares que permiten leer más o menos exactamente, para una determinada latitud geográfica, el acimut y la altura del Sol en cualquier hora del día y época del año. Mucho más intuitivos son los diagramas solares trazados sólo para determinados días significados del año, como son los correspondientes a solsticios y equinoccios. Los diagramas solares permiten leer directamente la altura del Sol y el tiempo de insolación para cualquier orientación de un edificio proyectado. También se puede determinar fácilmente mediante ellos, por vía gráfica, la sombra de las partes de edificio que resaltan, para condiciones extremas de insolación, con auxilio de sencillas proyecciones en planta y alzado.

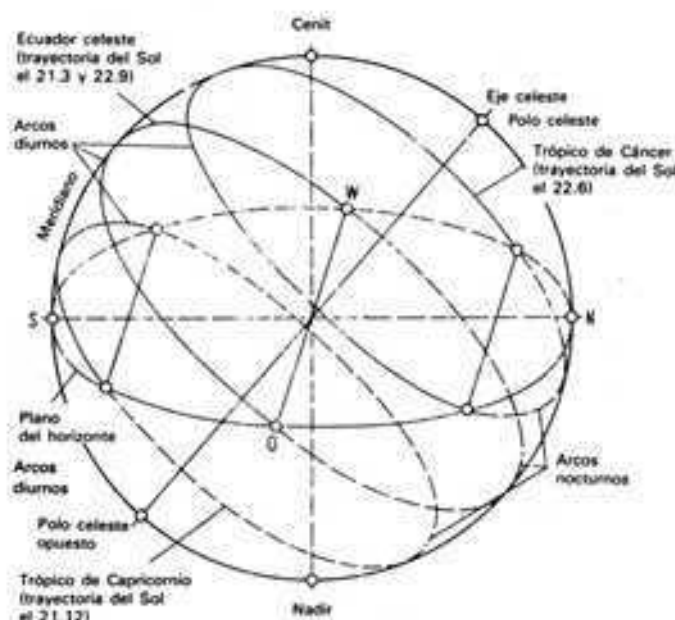
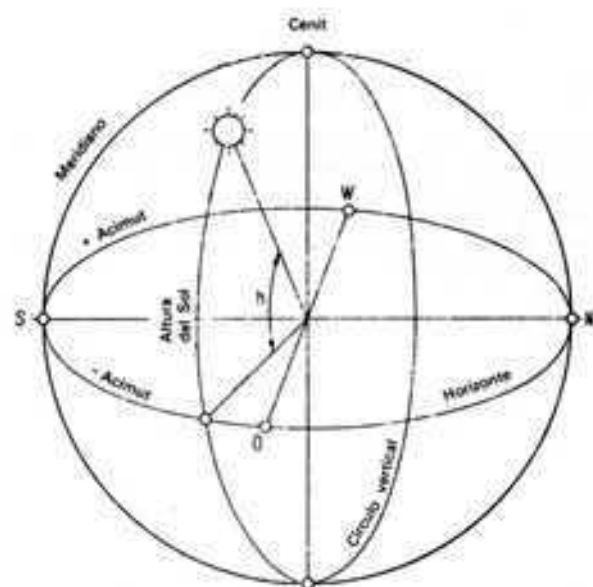
Medidas de protección solar

A la luz de cuanto se ha dicho anteriormente, en el proyecto de las medidas de protección solar y para cada circunstancia local será preciso tener en cuenta los siguientes factores, con objeto de reducir al mínimo, mediante medidas constructivas, las instalaciones técnicas necesarias:

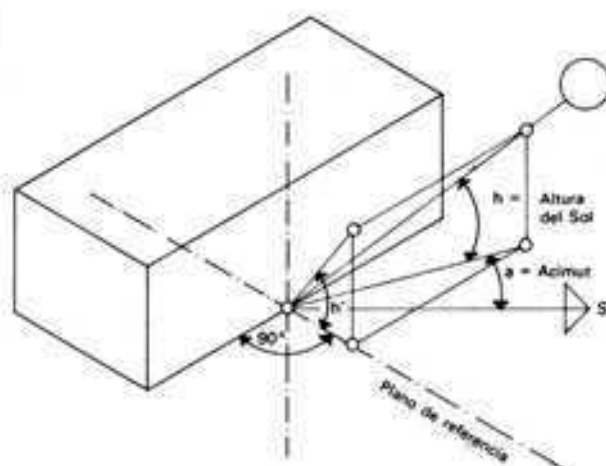
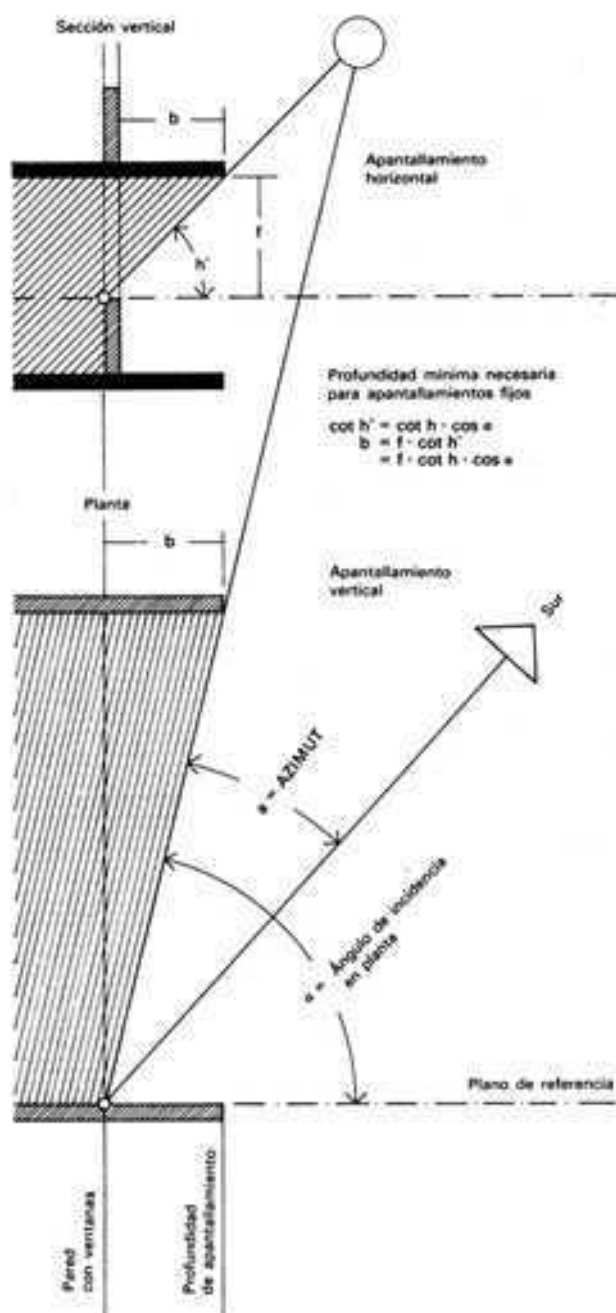
- orientación más adecuada de la obra;
- orientación, número y tamaño de las ventanas;
- clase de estructura constructiva;
- configuración de la fachada;
- dispositivos de protección solar.

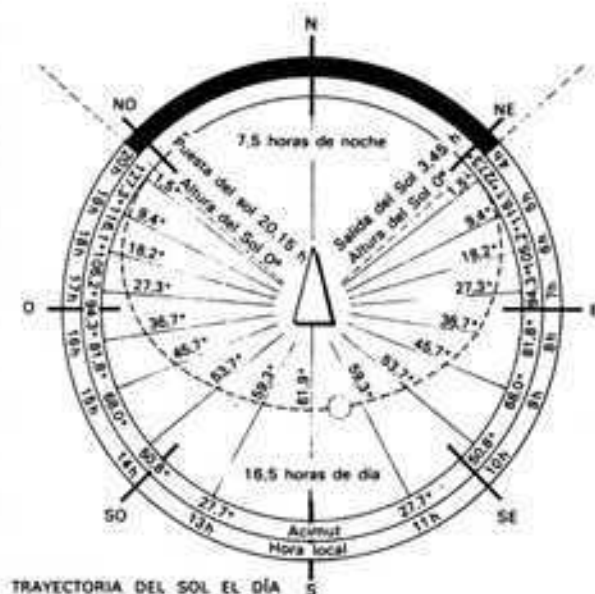
Entre las posibilidades dadas deben elegirse las medidas protectoras apropiadas a cada caso según los criterios siguientes, e incluirlas en la estructura de la pared exterior y de las ventanas:

- apantallar la radiación no deseada, con el fin de impedir el calentamiento y el deslumbramiento en el interior del edificio, especialmente durante la época calurosa.
- conseguir una gran reflexión y una escasa absorción de la radiación directamente incidente, es decir, utilizar colores lo más claros posible.
- transformar la luz solar directa en luz difusa para obtener una iluminación uniforme, evitando el deslumbramiento.

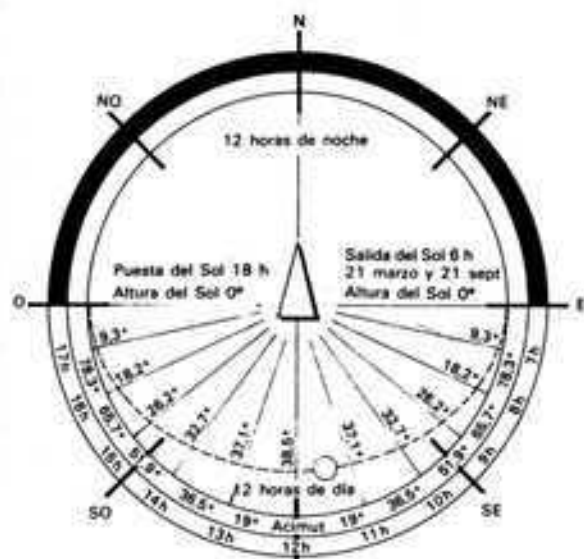


ALTURA DEL SOL h Y ÁNGULO DE INCIDENCIA α'

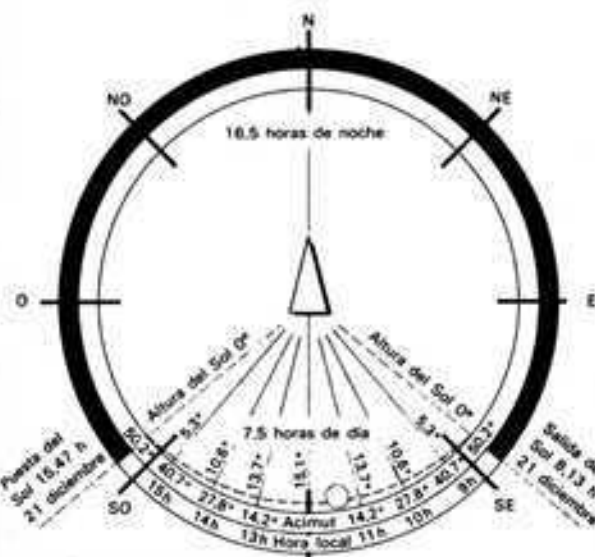




TRAYECTORIA DEL SOL EL DÍA DEL SOLSTICIO DE VERANO (~21 JUNIO), DÍA MÁS LARGO DEL AÑO, PARA UNA LATITUD NORTE DE 51.5°



TRAYECTORIA DEL SOL EL DÍA DEL EQUINOCCIO DE PRIMAVERA (~21 MARZO) Y EL DÍA DEL EQUINOCCIO DE OTOÑO (~23 SEPTIEMBRE)



TRAYECTORIA DEL SOL EL DÍA DEL SOLSTICIO DE INVIERNO (~21 DICIEMBRE)

Por otra parte, conviene reducir al mínimo la sombra provocada en el interior por los dispositivos de protección solar, con objeto de conseguir iluminación diurna natural aun en días nublados, principalmente durante el invierno:

- diferencias de claridad lo mínimas posible entre el elemento que da sombra y el cielo visible desde el recinto;
- posibilidad de vista a través de ventanas;
- posibilidad de apertura de las ventanas a fines de ventilación, en locales no climatizados;
- posibilidad de limpieza de las ventanas;
- posibilidad eficaz de controlar el dispositivo de protección solar, especialmente en edificios climatizados, con objeto de mantener lo más bajos posible los costes de servicio de las instalaciones técnicas de ventilación y refrigeración;
- resistencia frente a daños mecánicos por uso inadecuado o debidos a los agentes atmosféricos.

Influencia de la orientación del edificio

El terreno y todas las superficies horizontales de una edificación quedan expuestos a los rayos solares, bajo ángulos de incidencia crecientes y decrecientes desde la salida a la puesta del Sol, siempre y cuando no se hallen en la sombra de objetos más altos. En cuanto se refiere a la intensidad de la radiación sobre cubiertas planas, carece por tanto de importancia, la orientación del edificio. Lo que realmente cuenta aquí es sólo el ángulo de incidencia de los rayos y, por ende, la altura máxima del Sol al mediodía. Esta puede alcanzar el máximo (90°) entre ambos trópicos, pero poco más de 60° a las latitudes de la Europa central, que se reducen a unos 15° en el solsticio de invierno, mientras en el círculo polar ártico sólo se reciben entonces rayos rasantes. Por el contrario, para todas las cubiertas inclinadas y todas las paredes verticales con distintas orientaciones respecto al Sol, no es la máxima altura del Sol lo que importa, sino el ángulo de incidencia más elevado con respecto a la superficie en cuestión, es decir, la situación con respecto a los puntos cardinales. Los diagramas de irradiación solar directa horaria sobre superficies verticales (según Freymuth) en función de la hora del día y de la orientación de la pared muestran que, allí donde todavía existe la posibilidad de decisión y no hay que otorgar mayor peso a otros criterios, la medida de protección solar más eficiente radica ya en la orientación adecuada del edificio.

Si bien la orientación principal de un edificio hacia Norte y Sur exige el mínimo gasto en cuanto a medidas de protección solar, proporciona de todos modos dos mitades de edificio muy diferentes por lo que a instalaciones técnicas de calefacción y climatización se refiere. La pared sur recibe, durante los meses críticos de verano, en que es mayor el ángulo de incidencia de los rayos solares, menos intensidad de radiación que en primavera y otoño, ya que aun cuando entonces el ángulo de incidencia de la radiación es ciertamente menor, resulta en cambio mayor referido a la superficie de dicha pared. La exigua iluminación de la cara norte durante el largo día estival puede en general desprejarse.

En cambio, con la orientación hacia Este y Oeste dos lados del edificio quedan expuestos durante los calurosos meses de verano a mayor intensidad de radiación que el lado sur. Sobre el lado oeste coincide, además, en verano la máxima intensidad de radiación con la punta de temperatura diaria del aire exterior; sólo en invierno, cuando se desea el calor del sol, tiene esta orientación sus ventajas.

Los lados sudeste y sudoeste reciben durante los meses de marzo a octubre una radiación cuyos valores máximos se hallan entre los que reciben los lados sur, este u oeste. Los lados nordeste y noroeste reciben por el contrario sólo durante los tres meses de verano una mayor radiación, que corresponde aproximadamente a la del lado sur, la cual se produce no obstante más de 4 horas antes o después.

En las consideraciones sobre protecciones solares que haremos a continuación se parte del hecho de que es más fácil apantallar el sol procedente del Sur, que es elevado, que el del Este o del Oeste, más bajos, cuya altura varía rápidamente y contra el que debe recurrirse a otras medidas de protección.

Influencia de la superficie de la obra

Más todavía que la orientación influyen sobre las consecuencias de la radiación solar la distribución de la fachada en zonas de pared y zonas de ventanas, el tamaño de las ventanas con respecto al recinto que iluminan y el porcentaje de superficie que representan en la superficie total de la fachada. Las dimensiones de las ventanas y la disposición restante de la fachada son lo que determinan, conjuntamente con la estabilidad de la temperatura en el interior del edificio, los efectos de la radiación solar sobre el clima ambiente. Las temperaturas del aire exterior, la densidad de ocupación y las posibilidades de aireación de los locales sólo tienen un papel secundario, en el estado actual de la técnica.

Acristalamiento

La permeabilidad a la radiación solar directa del cristal normal de ventana es del orden del 90%. Por consiguiente, ya a partir de un porcentaje de ventanas del 30% de la superficie de toda la fachada es lícito tomar medidas de protección solar, la cual se situará lo más al exterior posible, frente a la ventana. La energía radiante de onda corta que penetra a través del cristal de una ventana no protegida calienta las superficies interiores sobre las cuales incide, y éstas ceden nuevamente este calor por convección y radiación al aire o a las zonas más frías en forma de radiación de onda larga. No obstante, el cristal de ventana no se deja atravesar por radiaciones de longitud de onda superior a 2,8 mm. Éstas permanecen, pues, en el recinto, cuya temperatura va ascendiendo a consecuencia de la sostenida acumulación de energía, y se produce el conocido "efecto de invernadero". Las proporciones en que intervienen permeabilidad, absorción y reflexión pueden variarse modificando la composición del cristal o dándole un tratamiento superficial especial.

Los vidrios absorbentes reflejan y absorben mayor proporción de energía que el vidrio normal. Ello supone, además de una permeabilidad más reducida en la banda visible, un calentamiento gradual más intenso del vidrio, y con él una emisión térmica retardada al recinto. Cuanto mayor es la proporción de permeabilidad en la banda visible frente a las bandas del ultravioleta e infrarrojo, tanto menos afectadas quedan las condiciones de iluminación en el interior del recinto.

Mediante vidrios reflectores se persigue reflejar la radiación, más eficazmente en la banda del infrarrojo, con lo cual se reduce también, de todas formas, la permeabilidad a la radiación en la banda visible.

Por consiguiente, en cada caso es necesario ponderar la eficacia de cualquier vidrio de protección solar con la disminución de luz diurna que representa, a la cual no debe atribuirse siempre (por ejemplo, en grandes oficinas) la misma importancia. El empleo de cristales de protección solar como pantallas suspendidas ante la fachada y aireadas por detrás proporciona una iluminación diurna esencialmente mejor que el de dispositivos a base de material opaco que arroja sombra, y no se menoscaba por ello el efecto de protección.

Paredes

El efecto de la radiación solar sobre una pared exterior cerrada es poco importante comparado con su influencia en las aberturas de las ventanas. Cuanto menos se notan las fluctuaciones de la temperatura exterior en el lado interior de una pared, tanto mejores son también las propiedades amortiguadoras de la misma frente a puntas de temperatura provocadas por radiación solar. Las óptimas condiciones las ofrecen las estructuras con una sola capa de gran masa, con suficiente aislamiento térmico, por ejemplo fábrica de ladrillo de 36,5 cm, o elementos a base de varias capas, con capa interior gruesa. Un revestimiento de fachada con aireación por detrás puede contribuir a mitigar las puntas exteriores de temperatura causadas por la radiación solar, a pesar del calentamiento que experimenta. El pintado de la fachada con tonalidades oscuras es perjudicial, sobre todo si se trata de estructuras de una sola capa. Con el incremento de absorción se elevará también señaladamente la penetración de calor de fuera hacia dentro, a causa de un mayor descenso, de la temperatura entre el exterior y el interior. Entre superficies blancas y negras puede haber diferencias de temperatura hasta de

50°C, según el espesor y el poder de acumulación térmica del material.

Contrariamente a los sistemas de calefacción de mayor inercia, con radiadores como fuente de calor (sin refrigeración), una instalación de climatización con temperatura del aire exactamente ajustada puede adaptarse rápidamente a las condiciones variables del sol y de tiempo. En tal caso es desventajoso el uso de paredes pesadas, absorbentes de calor, ya que retardan la aparición del efecto de calefacción o de refrigeración causado por el sistema de acondicionamiento. Cuando se han proyectado o existen instalaciones son, por tanto, ventajosas las paredes ligeras, reflectoras del calor.

Cubiertas

Así como las cubiertas planas quedan expuestas al sol todo el día, bajo diferentes ángulos de incidencia y sin sombra alguna, las cubiertas inclinadas sólo reciben los rayos solares a ratos, pero bajo un ángulo de incidencia más elevado.

En caso de cubiertas planas, el calentamiento puede combatirse eficazmente por reflexión de los rayos o bien mediante enfriamiento por evaporación, configurándolas como cubiertas-estanque con lecho de gravilla y entrada de agua elevada o incluso con una capa de agua.

En cubiertas ligeramente inclinadas es difícil conseguir una protección solar, ni siquiera cuando están formadas por varias capas, por falta de capacidad de acumulación de calor. Bajo este punto de vista resulta desfavorable el desván habitable. Incluso con una aireación suficiente por detrás de la capa de cubrición, no puede alcanzarse el efecto protector que confiere la cubierta inclinada con desván no habitable. No obstante, para cubiertas es también válido, en general, que el empleo de materiales claros o de capas reflectoras permite aminorar apreciablemente el calentamiento de las mismas.

En caso de naves de gran superficie con respecto al volumen del recinto, la configuración de la cubierta en diente de sierra sigue siendo, ahora como antes, la mejor solución que, orientada de manera conveniente, evita toda incidencia solar a través de las zonas acristaladas. Dando además a la sección de la cubierta una forma técnicamente favorable a la circulación del aire, es posible lograr directamente la evacuación natural del calor penetrado a través de la cubierta. Desde el punto de vista de la protección solar no resultan muy favorables las cubiertas planas con lucernarios. Si bien su tamaño puede reducirse a un mínimo utilizando cúpulas luminosas, toda protección solar es complicada desde el punto de vista técnico.

Elementos que proyectan sombra

La protección contra el sol procedente del Sur es la más fácil de realizar. Para conseguir pleno efecto, el elemento protector situado frente a la ventana debe estar rodeado de aire. En caso de orientación puramente sur, pueden disponerse pantallas a base de láminas horizontales fijas, sin ensombrecer excesivamente el interior. La distancia entre láminas aumenta con la distancia entre pantalla y fachada. Las láminas por lo general son de metal ligero. Las pantallas fijas tienen la ventaja de no precisar servicio alguno y en la práctica ningún entretenimiento, por lo cual son especialmente apropiadas para escuelas, etc. Pero se emplean también de buen grado en otros tipos de edificio, ante todo frente a fajas continuas de ventanas.

No obstante, más frecuentes que las pantallas fijas son las llamadas persianas de láminas móviles, aptas para cualquier orientación. Sus delgadas láminas son de metal ligero con un recubrimiento. Deben ser de un color más bien claro, con objeto de reflejar mejor la luz solar. Puesto que son móviles, pueden adaptarse a todas las alturas del sol y es posible, por tanto, ajustar a voluntad la incidencia de luz. Los batientes de las ventanas pueden abrirse entonces libremente a fines de ventilación. Si las persianas se hallan entre dobles cristales quedan protegidas contra la intemperie y la suciedad, pero pierden eficacia, ya que irradian parte del calor solar absorbido al interior. En algunos casos, como por ejemplo en caso de laboratorios biológicos, es no obstante necesario recurrir a esta disposición para proteger los locales contra las radiaciones solares súbitas durante los

fin de semana, y preservar las sensibles persianas de las inclemencias del tiempo. Si las persianas se disponen en el interior del edificio su eficacia como protección solar queda todavía más disminuida. Las persianas enrollables de metal ligero con láminas ajustables son más pesadas y sólidas, y también más caras. Cuando las ventanas están orientadas hacia el Este o el Oeste, las pantallas fijas de láminas horizontales no ofrecen ya suficiente protección solar. Con ellas ya no es posible impedir los tórridos rayos del sol naciente o poniente durante los meses de verano. En tal caso sólo resulta eficiente el empleo de suficientes láminas giratorias, horizontales o verticales, en toda la superficie de las ventanas. Las persianas corrientes de láminas móviles representan de nuevo a este efecto la ejecución más económica. Si es preciso, además de los dispositivos exteriores de protección solar pueden adoptarse otras medidas complementarias contra el sol y su radiación térmica. Contra la radiación solar directa de corta duración pueden servir también persianas interiores enrollables de plástico translúcido o bien cortinas semitransparentes, pero ni unas ni otras pueden reemplazar la protección solar exterior. También los balcones y las galerías cubiertas, todas las subdivisiones y los escalonamientos acumulados de la fachada deben coordinarse en definitiva con las medidas de protección solar. No obstante, su eficacia se limita al sol del Sur o a un determinado ángulo de incidencia, por lo que en general no resultan superfluas las medidas adicionales de protección.

Protección contra incendios

Entre las medidas de protección de edificios, la protección contra incendios asume una situación especial. Contrariamente a las protecciones contra el frío, el ruido y la humedad, la resistencia de un edificio en caso de incendio, es decir, su capacidad de mantenerse en pie, sólo puede garantizarse, a base de un dispendio sostenible, para un tiempo de duración determinado, durante el cual los elementos constructivos son susceptibles todavía de cumplir su cometido.

Peligro de incendio

Cuando el hombre introdujo el fuego en su hogar para la cocción de los alimentos y como protección contra el frío y la intemperie, este progreso supuso al propio tiempo un peligro y una amenaza para su vida, sus bienes y su casa. El peligro fue creciendo a medida que los poblados se transformaron en aldeas y ciudades. En nuestras latitudes las casas estaban no sólo construidas de material combustible —generalmente madera— sino además cubiertas con materias fácilmente inflamables, como paja, cañizos o chillas de madera.

La preocupación para disminuir el peligro de transmisión de incendio influyó por ejemplo de manera acusada en la edificación de ciudades durante la Edad Media. Las diferentes casas individuales se levantaban dando el frente hacia la calle y dejando entre ellas una pequeña distancia, la llamada "andrón". Sólo aparecieron trechos de la calle con los frontales de las casas alineados sucesivamente tras el empleo de muros cortafuegos, paredes de mampostería y "cubiertas pétreas", sobre todo de ladrillos, que no empezaron a imponerse en gran escala en edificios civiles hasta entrado el siglo XVIII. En la época de Goethe todavía la mitad de las casas de Weimar tenían cubierta de paja.

En las ciudades antiguas el peligro de incendio era tan grande, que no era raro ver zonas urbanas quemadas o ciudades enteras reducidas a cenizas. Ciertas ciudades fueron aniquiladas varias veces por el fuego. Mientras las posibilidades de extinción fueron nulas, la gente se tuvo que limitar a medidas preventivas. El sereno vigilaba la ciudad y exhortaba a sus habitantes a apagar la lumbre y la luz antes de acostarse.

El peligro principal radica hoy, en que la madera ya no es el elemento básico de la construcción, menos en la combustión de los propios edificios que en el riesgo cada vez mayor de que se incendien las mercancías combustibles o fácilmente inflamables almacenadas en los mismos. El valor y la cantidad de tales mer-

cancias influyen de manera decisiva en las pérdidas causadas por un incendio.

Según las normas relativas a seguridad contra incendios se distingue entre:

- Materias incombustibles. No pueden arder formando llama ni sin formar llama. Por ejemplo, piedras, tierra, acero.
- Materias difícilmente inflamables. Sólo se descomponen, y aun de forma gradual, con aportación de una considerable energía exterior. Por ejemplo elementos a base de madera aglomerada con materias minerales.
- Materias difícilmente combustibles (B_1). Tienen una temperatura de ignición superior a su temperatura normal de combustión. Por ejemplo, tabaco o determinados plásticos. La combustión por incendio sólo es posible cuando gracias a otras sustancias se va manteniendo siempre la necesaria temperatura de ignición.
- Materias normalmente combustibles (B_2). Tienen una temperatura de ignición inferior a la de combustión, y arden por sí mismas. Por ejemplo, fuel, carbón y madera.
- Materias fácilmente combustibles (B_3). En el proceso de encendido liberan energía a gran velocidad, a gran presión y con elevado desprendimiento de calor. Por ejemplo, gases y bencina. Por tal motivo no deben almacenarse nunca en edificios cerrados, o sólo en pequeñas cantidades y siempre bajo medidas preventivas especiales que pueden ser de tipo constructivo o relativas al servicio, como prohibición de fumar, protección de máquinas e instalaciones eléctricas contra explosiones, etc.

El proceso de combustión es un proceso de oxidación, que se inicia y mantiene cuando se calientan materias combustibles por encima de su temperatura de ignición y se les aporta suficiente oxígeno por afluencia de aire. Con ello se crea un intercambio térmico por conducción, radiación y convección que impulsa el foco del incendio a extenderse hacia toda la materia circundante posible.

En el interior de edificios el peligro de incendio puede producirse por chispas, por fuego abierto, por hornillos, estufas y chimeneas, por autoencendido de materias fácilmente inflamables a causa del calor, por corto circuitos en instalaciones eléctricas o por explosiones de gases; y desde el exterior, por pavesas procedentes de chimeneas, por intromisión de fuego, por caída de rayos o por desprendimientos.

Carga de incendio

El peligro de fuego en el interior de un edificio, la duración y la violencia del mismo aumentan con la cantidad de materias combustibles contenidas en él, con el contenido de energía química de éstas y con la velocidad con que dicha energía es liberada. Una medida de este peligro de fuego la da la llamada carga de incendio. En el proyecto de norma DIN 18230 "Protección constructiva contra incendios en la industria" está definida como sigue: "Se entiende por carga de incendio q el cociente de dividir la totalidad de calorías que representa la combustión de todas las materias combustibles contenidas en un sector sujeto a incendio, por la superficie calculada de dicho sector." Se expresa en Mcal/m^2 y se calcula mediante la fórmula siguiente:

$$q = \frac{\sum(G_i \cdot H_{ui})}{A} = \frac{\sum Q_i}{A}$$

donde G = peso de cada materia combustible, en kg

H_u = calor específico de cada materia combustible, en Mcal/kg

$\sum Q_i$ = suma de todas las cantidades de valor correspondientes al sector, en Mcal .

A = superficie del sector, en m^2 .

Es preciso tener en cuenta todas las materias combustibles de la construcción, en servicio y almacenadas, incluidos el embalaje y los revestimientos de la fase final de la construcción, pero no en cambio los materiales que se trabajan o guardan en un estado tal que excluye cualquier posibilidad de ignición (materias combustibles mojadas).

La carga de incendio se representa también en kg equivalentes de madera por m², lo cual resulta más explícito y fácil de imaginar. Puesto que el calor resultante de la combustión de 1 kg de madera es por término medio de 4 Mcal, se obtiene la carga de incendio en kg/m² dividiendo por 4 el valor total del Mcal/m² hallado. Una placa de madera de 1 cm de espesor tiene, por ejemplo, una carga de incendio de 6 kg/m².

A título de orientación, se facilitan otros valores que se toman para el cálculo.

- para edificios administrativos, $q \approx 40 \text{ kg/m}^2$
- para edificios con laboratorios, $q \approx 50 \text{ kg/m}^2$
- para bibliotecas, $q \approx 125 \text{ kg/m}^2$

Cometidos de la protección contra incendios

En caso de incendio, la estructura de un edificio debe mantener su estabilidad y su capacidad sustentante por lo menos hasta que hayan podido ponerse a salvo personas y, eventualmente, animales, y tomarse medidas eficaces para combatir el fuego. Por consiguiente, además de la garantía de una resistencia suficientemente duradera al fuego de los elementos constructivos compete también a la protección contra incendios la reducción del peligro de incendio por medio de precauciones en la planificación, en la construcción y en el servicio, la prevención de causas capaces de originar y propagar el fuego, la creación de vías de escape y salvamento y de ataque para los bomberos y medios de lucha contra el incendio.

A pesar de los nuevos tipos de construcciones y de las nuevas posibilidades de extinción del fuego, no ha variado hasta hoy el orden de preferencia de los objetivos a alcanzar en todas las medidas de protección:

- preferente: protección y salvamento de personas y animales, así como de la propiedad de terceros.
- secundario: restringir los daños causados a la obra y poner a salvo valores efectivos.

Los costes relativos a las exigencias preferentes en la protección contra incendios no se pueden evaluar con respecto a los objetivos alcanzables. Están limitados, de todos modos, por las posibilidades técnicas. Se dedica especial atención a la seguridad de las vías de escape, a dar suficiente estabilidad a la estructura formando sectores aislados, a crear posibilidades de evacuación al humo y al calor, y a impedir la transmisión del fuego a otras edificaciones.

A pesar de estas precauciones, una obra puede sufrir daños en caso de incendio. Si a este respecto vale la pena dotarla de medidas suplementarias, por ejemplo de instalaciones automáticas de aviso de incendio o de dispositivos para combatir el fuego, suponiendo que no hayan sido ya previstos, es una cuestión económica. Estas medidas afectan a la relación entre el interés de los costes de inversión y las primas de seguro para unas posibles pérdidas por incendio, así como a la evaluación de los gastos y pérdidas por interrupción del servicio.

Prescripciones y conceptos

Las prescripciones generalmente obligatorias relativas a la prevención de incendios ya fueron introducidas con las Ordenanzas de la Construcción de los diferentes países en la segunda mitad del siglo XIX. Puesto que el rápido crecimiento de las ciudades afectaba ante todo a la creación de viviendas, las prescripciones de la Construcción y de Prevención de Incendios se referían casi exclusivamente a la edificación de viviendas y edificios análogos. Tales prescripciones fueron deducidas de experiencias legadas por los años, pero no descansaban sobre conocimientos científicos ni sobre investigación a propósito.

Así, por ejemplo, en las ordenanzas prusianas las dimensiones mínimas de los patios traseros estaban fijadas tan sólo por el círculo de viraje de las escaleras de los bomberos de Berlín. Sólo la progresiva industrialización, con la consiguiente multiplicidad de nuevos tipos de edificios, y no en último término la fabricación y utilización general de materiales y productos quí-

micos fácilmente inflamables o explosivos, llevaron a la diferenciación entre Ordenanzas de la Construcción y Ordenanzas contra incendios. Las exigencias generales de la protección de construcciones contra incendios* figuran como prescripciones básicas en las ordenanzas de los diversos estados de la República Federal Alemana.

Contienen detalladas especificaciones de ejecución, preferentemente para edificios de viviendas y obras comparables a ellos, como por ejemplo edificios de oficinas, con inclusión de rasca-ciños. Por este motivo se han introducido allí especificaciones técnicas especiales en forma de directrices y normas complementarias, ya que pueden adaptarse con más facilidad al desarrollo técnico que las ordenanzas a sancionar por ley:

- Disposiciones ejecutivas relativas a las ordenanzas de la Construcción de los estados federales.
- Disposición sobre construcción y servicio de establecimientos comerciales y grandes almacenes.
- Disposición sobre locales de asambleas.
- Disposición sobre garajes.
- Directrices sobre construcción de escuelas, con prescripciones sobre protección contra incendios.
- DIN 18230, Protección constructiva contra incendios en la industria (en preparación).
- Directrices para el empleo de materiales combustibles en la construcción.
- DIN 4102, Comportamiento de materiales y elementos constructivos en caso de incendio. Norma introducida como directriz para la inspección de construcciones.
 - Hoja 1 — Conceptos, requisitos y prueba de materiales constructivos (en preparación).
 - Hoja 2 — Conceptos, requisitos y prueba de elementos constructivos.
 - Hoja 3 — Conceptos, requisitos y prueba de elementos constructivos especiales.
 - Hoja 4 — Ordenación en los conceptos.
 - Hoja 5 — Comentarios a las hojas 1 a 4 (en preparación).

Para materiales y elementos constructivos que están comprendidos técnicamente, en cuanto a protección contra incendios, entre los que figuran en la hoja 4 de la DIN 4102, no es necesario verificar su comportamiento en caso de incendio.

Clases de materiales

Según las "Especificaciones complementarias a la DIN 4102", ante todo en sustitución de la hoja 1 —Exigencias y prueba de materiales— que todavía falta, los materiales se subdividen en las siguientes clases, de acuerdo con su comportamiento en caso de incendio:

Clase de material	Denominación a efectos constructivo legales
A A1 A2	materiales incombustibles
B B1 B2 B3	materiales combustibles materiales difícilmente inflamables materiales normalmente inflamables materiales fácilmente inflamables

La clasificación de los distintos materiales de construcción según los resultados obtenidos en los ensayos y de acuerdo con las denominaciones anteriores figura en DIN 4102, hoja 4, artículo 3.

* En la actualidad se están efectuando investigaciones sistemáticas sobre incendios por parte de instituciones científicas, por ejemplo, en la T.U. Braunschweig (prof. Dr. Kordina).

Clases de resistencia al fuego

Como ya se ha indicado con anterioridad, en el comportamiento de una obra durante un incendio es fundamental, no la combustibilidad de los materiales que la componen, sino la duración de sus resistencia al fuego. Esta no sólo depende del material, sino también de las dimensiones y la sección del elemento constructivo, de su solicitación estática y de la posibilidad de ser atacado por el fuego.

Elementos constructivos

A la luz de lo expuesto en la DIN 4102, hoja 2, se entiende por "elementos constructivos" únicamente aquellos de la estructura que han de asumir funciones de soporte, apuntalamiento y separación de espacios para asegurar la estabilidad de la obra durante las medidas de salvamento y de extinción del fuego, como son:

- Paredes.
- Cubiertas y techos.
- Vigas y jácenas.
- Pilares y pies derechos.
- Escaleras.

La duración de resistencia al fuego de un elemento constructivo se define como el tiempo mínimo en minutos durante el cual dicho elemento satisface las exigencias especificadas en DIN 4102 hoja 2 al ser sometido a prueba de incendio. La duración alcanzada queda caracterizada por la clase de resistencia al fuego:

Clases de resistencia al fuego	Duración de resistencia (en minutos)	Denominación a efectos constructivo-legales
F 30	≥ 30	retardador del fuego
F 60	≥ 60	
F 90	≥ 90	resistente al fuego
F 120	≥ 120	
F 180	≥ 180	de alta resistencia al fuego

Los elementos constructivos que figuran en la DIN 4102, hoja 4, pueden emplearse, sin necesidad de otra prueba, en la clase de resistencia al fuego allí especificada. Para elementos que no aparecen en la norma es preciso hallar la clase de resistencia al fuego mediante dos ensayos de incendio por lo menos.

Las condiciones de estos ensayos, a efectuar por Instituciones de Ensayo de Materiales reconocidas a efectos legales, están detalladas en la hoja 2, artículo 5. Las probetas de ensayo, en circunstancias de instalación o según dimensiones prescritas, se someten a las pruebas de incendio en un local inflamado por

combustión de aceite. Durante el ensayo debe regularse el curso de la temperatura en este local de acuerdo con la curva de temperatura unitaria internacionalmente convenida, la cual corresponde estadísticamente al curso normal de un gran incendio. Después del ensayo de incendio para comprobar la estabilidad, la capacidad portante y la deformación, para la prueba de resistencia debe efectuarse además el ensayo de choques con bola, caso de haber paredes que encierran un recinto, o el ensayo de agua para extinción del fuego, en caso de revestimientos y envolventes a partir de F90.

Para poder ser incluidos en la correspondiente clase de resistencia al fuego, los elementos constructivos deben cumplir, durante el ensayo, las condiciones que marca la tabla de pie de página.

$$\delta - \delta_0 = 345 \lg t + 0$$

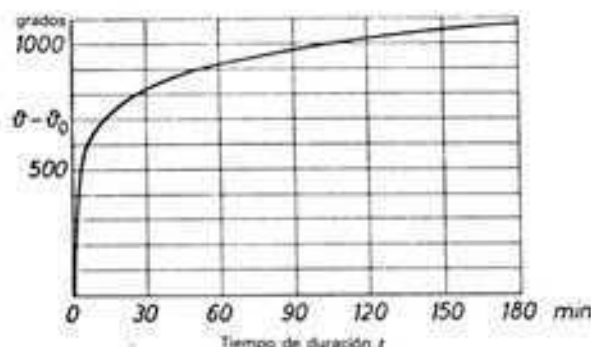
δ Temperatura del recinto sometido a incendio, en °C.

δ_0 Temperatura de la pieza sometida a prueba (°C) al principio de ésta

t Tiempo de duración, en minutos

t min	$\delta - \delta_0$ grados
0	0
5	556
10	659
15	718
30	821
60	925
90	986
120	1029
180	1090
240	1133
360	1193

CURVA DE TEMPERATURA UNITARIA



Definición de las clases de resistencia al fuego

Clase de resistencia al fuego	sustentantes	no sustentantes	Elementos constructivos que encierran un recinto
	Elementos constructivos		
F 30	No se derrumban bajo la carga de utilización admisible según el cálculo. Caso de no poderse probar con la carga de utilización, para la duración t con aumento de temperatura < 400°C y en cualquier punto aislado < 500°C. Tiempo de prueba $t \geq 30$ minutos.	No se derrumban bajo el peso propio.	Obstaculizan la propagación del fuego. No se forman gases inflamables en la cara opuesta al fuego, con una elevación de temperatura < 140°C sobre la temperatura inicial, por término medio, < 180°C en puntos aislados. Deben conservar por lo menos 1 cm de espesor o cumplir el ensayo de resistencia. Tiempo de prueba $t \geq 30$ minutos.
F 60	como antes, pero con tiempo de prueba $t \geq 60$ min.		como antes, pero con tiempo de prueba $t \geq 60$ min.
F 90	como antes, pero con tiempo de prueba $t \geq 90$ min. Además: los apoyos con revestimientos y envolturas deben resistir una prueba de agua de extinción, perfectamente definida, inmediatamente después del ensayo de incendio. Los elementos sustentantes de acero no deben quedar al descubierto. Los componentes estáticamente importantes de una obra deben estar formados por materiales de la clase A.		como anteriormente, pero con tiempo de prueba $t \geq 90$ min. Además: capa continua a base de materiales de la clase A, que no queda destruida.
F 120	igual que para F90, pero con tiempo de prueba $t \geq 120$ min.		igual que para F90, pero con tiempo de prueba $t \geq 120$ min.
F 180	igual que para F90, pero con tiempo de prueba $t \geq 180$ min.		igual que para F90, pero con tiempo de prueba $t \geq 180$ min.
	Ningún elemento constructivo debe contener materiales de la clase B.		

Los elementos constructivos que cierran un recinto, por ejemplo paredes, deben impedir el paso del fuego dentro del periodo de resistencia al fuego, no deben generar gases inflamables en el lado opuesto al fuego y no deben calentarse allí en más de 140°C. Tras el ensayo de incendio deben poseer todavía en el punto más débil un espesor continuo de ≥ 1 cm o bien resistir una prueba de solidez según ensayo normalizado de choque con bola. Así como los elementos sustentantes no deben derrumbarse bajo la carga de utilización y los no sustentantes bajo su peso propio, para los apoyos de acero debe cumplirse además que la temperatura del acero no exceda por término medio de 400°C. En caso de elementos sometidos a flexión, la velocidad de flexión no debe exceder durante la acción del fuego de $L^2/9000$ h cm/min, donde L = luz entre apoyos y h = altura estática, ambas expresadas en cm. Si hay revestimientos o envolventes, suspendidos o antepuestos, para mejorar la resistencia al fuego, deben satisfacer dichas exigencias junto con el elemento constructivo al que protegen. Estas exigencias valen por igual para todas las clases de resistencia al fuego. Para F90, F120 y F180 hay todavía la exigencia de usar materiales incombustibles de clase A en un espesor continuo de ≥ 5 cm, y la de resistir una prueba normalizada de agua de extinción, para los revestimientos y envolventes, inmediatamente después del ensayo de incendio.

Elementos constructivos especiales

Según la DIN 4102, hoja 3, son elementos especiales los elementos de una obra para los cuales rigen exigencias especiales en cuanto a técnica de protección contra incendios. No pueden ser incluidos en las clases de resistencia al fuego de la hoja 2 a causa de las distintas exigencias y condiciones de ensayo que deben cumplir.

Todos los elementos constructivos especiales mencionados en DIN 4102, hoja 4, son utilizables sin más indicación para los fines allí especificados. Para los materiales que no figuran en dicha norma, la hoja 3 establece en cada caso las exigencias y condiciones de ensayo especiales que les corresponden. Según esta hoja, se consideran como elementos constructivos especiales.

— Paredes cortafuegos:

Como paredes de separación entre sectores de incendio, deben conservar su estabilidad y constituir un cierre eficaz de espacio durante un incendio de por lo menos 90 minutos de duración, incluso bajo carga excéntrica y sometidas a una sollicitación especial al choque.

— Elementos de pared exterior o de antepecho resistentes al fuego, no sustentantes ni arriostrantes:

Su misión es impedir el paso del fuego entre plantas. En caso de incendio los soportes de fijación y las juntas entre elementos deben conservar su función bajo la carga del peso propio y de las tensiones de temperatura. Según la duración de su resistencia al fuego se distinguen las clases de resistencia W30, W60 y W90.

— Cierres de protección contra el fuego:

Deben impedir el paso del fuego a través de aberturas en paredes y techos. Se trata de puertas, portales, escotillones o persianas que, en caso de incendio, deben garantizar un cierre automático y una deformación mínima —a causa de la hermeticidad— a la penetración del humo y de gases inflamables. Según la clase de resistencia al fuego de los elementos constructivos que deben "cerrar", se exigen las clases de resistencia T30, T60, T90, T120 ó T180.

— Cierres al fuego en paredes de recintos de ascensor de resistencia de clase F90:

Deben cumplir exigencias especiales en cuanto a estanquidad, a causa del tiro que tiene lugar en los recintos en caso de incendio; tal cumplimiento se comprueba mediante ensayos de incendio y con gases calientes.

— Acristalamientos resistentes al fuego:

Junto con sus marcos y juntas deben resistir como mínimo 60 minutos a los efectos del incendio y permanecer como cierres eficaces, sin permitir el paso del humo y de las llamas.

— Revestimientos y juntas de cubiertas resistentes a materias volantes inflamadas y al calor radiante:

Deben impedir la transmisión del incendio desde el exterior. Ni las llamas deben atravesar la superficie de la cubierta, ni deben

caer o gotear de la parte inferior de ésta partes ardiendo o incandescentes.

— Conductos de aireación, pozos y canales de instalaciones en los que no es posible la propagación del fuego ni del humo: Incluso deben construirse sus capas aislantes, tubos de envolvente, soportes, juntas y conexiones, de modo que la estabilidad y la estanquidad a los gases se mantengan. La elevación de temperatura en el lado exterior de los conductos, especialmente en las aberturas de salida a los recintos vecinos, no debe exceder de 140°C. Según el tiempo durante el cual subsiste resistencia a estas exigencias se distinguen las clases de resistencia L30, L60, L90 y L120.

Prescripciones de empleo

Las prescripciones generales de las Ordenanzas de la Construcción de los diferentes "Länder" de la República Federal Alemana sobre la utilización de las diversas clases de materiales y de resistencias al fuego en el interior de las estructuras figuran en el cuadro de la página 69.

No se han tenido en cuenta ciertas diferencias relativas a la jurisprudencia de cada "Land". La utilización de materias fácilmente inflamables de la clase B3 (por ejemplo, paja, cañizos y elementos de madera en forma disgregada) está limitada en las "Orientaciones para el empleo de materiales combustibles en la construcción" a casos en los que dichas materias están rodeadas por todos lados de materiales inorgánicos aislantes del calor. Tales orientaciones tratan además del uso de materiales que en caso de incendio desprenden mucho humo y que al arder gotean o se descomponen, del uso de capas aislantes combustibles, de revestimientos combustibles y de conducciones de agua, de desagüe y de aireación combustibles. Sin embargo, la norma DIN 4102 exige que la resistencia al fuego de elementos constructivos que por lo mínimo sean retardadores al fuego (F30) no quede menoscabada por un revestimiento a base de materias combustibles de las clases difícilmente inflamable y normalmente inflamable (B1/B2).

Para construcciones y recintos de tipo y utilización especial, en las Ordenanzas jurídicas adicionales de los diversos "Länder" están especificadas las disposiciones oficiales de protección contra incendios. En ellas se tienen en cuenta las circunstancias que concurren en edificaciones especiales, para vivienda o no para vivienda y se prevén, con respecto a las Ordenanzas de la Construcción a veces más facilidades, y a veces más severas exigencias.

Medidas de protección contra incendios

Medidas en el proyecto

Afectan ante todo a la obra como conjunto, a su integración urbanística y a sus vías de acceso interiores, en todo cuanto estos puntos ya deban establecerse en el anteproyecto.

Todo eventual daño por fuego debe limitarse en lo posible a la proximidad inmediata de su foco de origen, al propio tiempo que vías de escape y de ataque al incendio, exentas de todo peligro, deben garantizar la seguridad de las vidas humanas en esta zona. También es preciso asegurar el acceso de los vehículos bomberos a los grupos de edificios con el fin de combatir el fuego y realizar las medidas pertinentes de salvamento.

Los pasajes para coches de bomberos deben tener unas dimensiones mínimas de 3,50/3,50 m. Para entradas en calles estrechas puede aumentarse el ancho. A este respecto hay que tener en cuenta el radio de viraje de los coches (19 m).

Las vías para peatones o salidas de emergencia (p. ej. en teatros) exigen un ancho adicional de la entrada.

La dificultad de combatir el fuego aumenta también con la altura de los edificios. Desde el exterior, las medidas de extinción y salvamento quedan limitadas a unos 30 m de altura. Para garantizar las medidas de extinción desde el interior en edificios de altura superior a 30 m, las nuevas Directrices sobre Edificios Elevados de Hesse exigen un ascensor adicional, exclusivamente

EXIGENCIAS EN CUANTO A PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS

(diferencias para los diversos "Länder" alemanes)

Elemento constructivo	Edificios hasta 2 plantas completas (también con desván habitable) Obra de fábrica	Materias combustibles (casa de madera), construcción abierta, mt. máximo 2 viviendas, grandes distancias (como excepción)	Edificios con 3 a 5 (en Nordrhein-Westfalen 4) plantas completas	Edificios con más de 5 (en Nordrhein-Westfalen 4) plantas completas	Casas elevadas
Paredes (en general)	inc (ó rf)	Entramado de madera ó rf	cb	inc (ó rf)	inc (ó rf)
Paredes exteriores (no sustentantes, W30 resp. W50)	inc (ó rf)	Entramado de madera ó rf	Como paredes sustentantes (en construcción retardadora del fuego con por lo menos revestimiento exterior difícilmente inflamable, bastan distancias como en construcciones de obra de fábrica)	inc (ó rf) A causa del peligro de incendio pueden imponerse mayores exigencias (p. ej. W30, W90).	inc; además, entre las plantas, antepechos W90 de 1 m altura mínimo
Tabiques en viviendas (sin aberturas)	rf	(Entramado de madera rf ó rf como excepción)	rf (rf ó cb como excepción)	rf	rf
Paredes sustentantes (exteriores y divisorias)	rf Excepciones: rf ó inc (en general sólo para una planta)	Entramado de madera ó rf	cb (con 1 1/2 y 2 plantas: planta baja rf)	rf	rf
Paredes divisorias, no sustentantes de una misma vivienda, y similares	cb	cb	cb	cb	cb
Paredes de cajas de escalera (revestimientos incl)	(Como las paredes sustentantes, y los tabiques de viviendas. Para casas unifamiliares, ninguna exigencia)		rf en espesor de pared de incendio	rf en espesor de pared de incendio	rf en espesor de pared de incendio
Techos, excepto de sótanos (incluido techo de las cajas de escalera)	En casas unifamiliares aisladas y sobre edificios de una planta sin desván utilizable, ninguna exigencia Forjados de vigas de madera con materias aislantes por lo menos di	rf	rf e inc	rf	rf
Techos de sótanos	rf e inc	rf e inc	rf e inc	rf	rf
Escaleras	cb	cb	inc (ó rf e incl)	rf	rf
Revestimientos (y materias aislantes)	cb (ni)	cb (ni)	ni (ó di)	di (ó ni)	inc (ó di)

rf exigido en general con capa protectora (por ejemplo revoque) de clase A. En el límite del terreno y entre edificios son exigibles en general paredes cortafuegos.

Para edificios de tipo o empleo especiales, exigencias también especiales.

Para edificios agrícolas, forestales o utilizados para jardinería, más facilidades

Abreviaturas:

Materiales: incombustibles: inc
combustibles: cb
difícilmente inflamables: di
normalmente inflamables: ni

Elementos constructivos: retardadores del fuego: rf F30
resistentes al fuego: rf F 90
Elementos constructivos especiales: Cierre de protección contra el fuego: T 30
T 90
antepechos y paredes exteriores: W 30
no sustentantes: W 90
materiales de cubierta duros: md

a disposición de los bomberos en caso de incendio. Este ascensor debe hallarse en un recinto propio, accesible desde cada planta a través de una antecámara suficientemente aireada en caso de incendio. La cabina del ascensor debe estar construida con materiales no combustibles, poseer una planta de superficie superior a 1 x 2,3 m y llevar una instalación telefónica dúplex que permita comunicar con la sala de máquinas y con un local situado en la planta baja (p. ej., garita del portero). Además, la instalación de suministro eléctrico de emergencia debe estar dispuesta y conectada de forma que el ascensor para bomberos permanezca a punto de prestar servicio si falla la alimentación de la red.

Mediante la subdivisión de la obra en sectores de incendio, exigida por las ordenanzas, se evita la propagación del fuego a toda edificación directamente colindante y en el interior del propio edificio, si es de gran superficie. Las consecuencias de cualquier incendio quedan limitadas así en primera instancia al sector correspondiente. Los sectores corresponden en general a las zonas situadas entre vías de escape.

Vías de escape

A cada sector de incendio debe atribuirse por lo menos una posibilidad de escape. La vía de escape debe conducir, en línea recta y a una distancia máxima de 25... 30 m, hacia una salida al

aire libre, un balcón de emergencia, una caja de escaleras asegurada contra la irrupción del fuego o hacia otros sectores de incendio. Cuanto mayor es el peligro que corre la vida humana tanto más cortas pueden exigirse (por ej. inferiores a 6 m en edificios con laboratorios) las vías de escape que desembocan en un balcón de emergencia con escalera de descenso o en un pasillo interior capaz de ser evacuado con auxilio de cajas de escaleras o escaleras de emergencia situadas a intervalos de 25 a 30 metros. Lo que debe medirse es el camino que efectivamente hay que recorrer.

La vía de escape no debe quedar estrangulada por equipos de instalaciones o depósitos de mercancías ni por las puertas. Los anchos mínimos de callejones de escape, pasillos, puertas y escaleras varían con el número de personas que deben usarlos y con el estrechamiento eventual creado por puertas que se abren de franco, las cuales básicamente deben abrirse sólo en la dirección de salida, en determinados casos dentro de huecos.

Si en edificios de varias plantas las vías de escape desembocan directamente en cajas de escaleras, debe disponerse lo suficiente para la extracción del humo. En casas con escaleras interiores debe impedirse la penetración de gases y humo en las propias cajas de escaleras o en las cámaras esclusa que la preceden por medio de sobrepresión, la cual por otra parte dificulta la apertura de las puertas. Por este motivo las llamadas "cajas de escaleras

de seguridad" sólo deberían ser accesibles a través de un balcón o de una galería.

Sectores de incendio horizontalmente

Partiendo de una distancia máxima a las vías de escape de 25 a 30 m, se obtienen para los sectores de incendio superficies de 1000 a 2000 m², según la configuración de la planta y la profundidad del edificio. Para el caso corriente de disposición a 2 ó 3 cruías resultan de ello unas longitudes máximas de edificación o de sector de unos 40 a 60 m, orientando las vías de escape hacia el centro. Longitudes de edificación que abarquen varios sectores de incendio exigen la colocación de puertas como mínimo resistentes al fuego (rsf) en la zona de pasillos y a estas distancias. Cuando estas puertas, de gran peso, perturban sensiblemente la utilización del edificio, pueden mantenerse abiertas hasta que se presente un caso de incendio mediante sujeciones que disparen por efecto del calor o de la presencia de humo, o bien mediante un control de alarma.

El establecimiento de sectores de incendio procede originariamente de la construcción de casas y viviendas. Dos viviendas deben estar separadas mutuamente por lo menos por una pared resistente al fuego, y dos edificios, por un muro cortafuegos según DIN 4102, hoja 4. En edificios de 3 o más plantas, las cajas de escalera deben considerarse como sectores propios de incendio y tienen que aislarse con paredes resistentes al fuego de espesor variable según el material. Para las puertas basta la ejecución retardadora del fuego (rf), mientras que para aberturas de muros contra incendios están prescritos una ejecución resistente al fuego y un cierre automático.

En muchos tipos de edificaciones —pléneses en centros de producción, almacenes, casas de despachos, centros comerciales, grandes garajes, lugares de reunión— se exigen actualmente vastas e ininterrumpidas superficies útiles hasta de 20000 m², con las cuales no es ya posible satisfacer las prescripciones relativas a protección contra incendios de la manera tradicional, a base de muros cortafuegos y puertas resistentes al fuego. También en estos casos es preciso respetar la longitud máxima admisible de las vías de escape, y con ella el número y la separación de salidas de emergencia, cajas de escalera y túneles de escape, utilizados a la vez para combatir el fuego. Sin embargo, no basta ya atacar el incendio únicamente desde el exterior. Los antiguos sectores de incendio y las paredes resistentes al fuego son reemplazados ahora por un sistema de combatir el fuego en el interior del edificio a base de instalaciones de aviso de incendio y de extinción automáticas, fijas, dispuestas siempre a entrar en funciones (véase "Medidas de servicio", pág. 74).

Sectores de incendio verticalmente

Junto a lo dicho respecto a la distribución de sectores de incendio en el interior de las plantas hay que tener en cuenta también, en muchos casos de utilización (p. ej. en centros comerciales, grandes garajes o determinados edificios de fabricación), la unión abierta de las plantas entre sí a través de escaleras mecánicas, rampas deslizantes o aberturas en los forjados para el paso de aparatos y máquinas, etc.

Puesto que los forjados representan sectores de incendio horizontales, a menos de tomar precauciones especiales no debería practicarse en ellos aberturas ni perforaciones de ninguna clase, exceptuando las de las conducciones normales de alimentación de agua y desagüe, de calefacción y de ventilación de baños y cocinas. Las perforaciones de forjados superiores a 400 cm², como p. ej. las necesarias para las instalaciones de ventilación y climatización u otras semejantes, deben llevar trampas o escotillones de protección contra incendios, según las prescripciones de las compañías de seguros. En caso de grandes aberturas de forjado se exigen suficientes instalaciones automáticas de extinción para garantizar una plena seguridad contra incendio si el fuego intenta propagarse de una planta a la próxima.

Pero el fuego puede propagarse de una planta a otra no sólo a través de las aberturas del forjado, sino también a través de las ventanas. Para precaver este peligro es necesario disponer en las fachadas fajas horizontales de obra de fábrica suficientemente altas (antepechos y dinteles), o bien reemplazarlas por medidas adecuadas de igual eficacia, por ej. placas en voladizo (cornisas). La altura de una de tales fajas se exige corrientemente de

1 metro. Puesto que la altura del antepecho de la ventana suele ser superior a 90 cm, se obtienen siempre alturas mayores (incluidas las del forjado y el dintel), especialmente en caso de cielos rasos suspendidos.

La duración de resistencia al fuego se exige generalmente de F90, por lo que en vez de antepechos de obra de fábrica pueden emplearse también elementos de fachada prefabricados, a base de materiales difícilmente inflamables.

Si una fachada debe llevar antepechos bajos o bien prolongarse hasta el suelo de la planta, es preciso efectuar de otra manera la protección contra incendios. En vez del antepecho vertical puede disponerse una pantalla horizontal sobresaliente o placas en voladizo que hagan el mismo servicio. En la construcción de viviendas encontramos, por ejemplo, tales dispositivos en los balcones con sus puertas ventana.

Medidas constructivas

La resistencia al fuego y la estabilidad de una obra se mejoran por la acertada elección de los materiales a emplear y de la estructura más favorable a los mismos, así como por un dimensionamiento adecuado de las secciones sustentantes y por la configuración de los detalles estructurales. Por ejemplo, para naves muy expuestas a peligro de incendio no se elegirá precisamente la madera como material de construcción. En naves y edificios de viviendas con luces y cargas medias, las estructuras de hormigón armado son generalmente las más favorables en cuanto a coste; sin embargo, a medida que aumentan las cargas útiles, luces y distancias entre cerchas, se emplean frecuentemente por motivos de peso, estructuras de acero. A causa del revestimiento resistente al fuego que la construcción metálica requiere usualmente para pies derechos y jácenas, y en edificio de varias plantas también para los forjados, la obtención de la necesaria resistencia al fuego exige en tal caso mayor trabajo y costes adicionales.

A menudo, engorrosas comparaciones de estructuras y costes permiten ya hallar la solución económicamente más favorable para cada caso particular. Antes de considerar las repercusiones constructivas sobre la protección contra el incendio hay que conocer el comportamiento de los diversos materiales cuando están sometidos al fuego. Remitimos además al lector a la hoja 4 de la DIN 4102, donde figura una relación de los materiales más usados y de los elementos constructivos formados con ellos, clasificados en función de su resistencia al fuego.

Comportamiento al fuego de la madera

La madera es inflamable a una temperatura de 225°C. A partir de 330°C puede inflamarse espontáneamente. Al arder se forma en la superficie una capa de carbón de madera que en principio impide la rápida progresión del fuego. Sin embargo, tras el continuado efecto del calor son atacadas también las capas interiores. Por ello las secciones gruesas de madera resisten mejor el fuego que las delgadas. Las jácenas formadas por tablas superpuestas corren más peligro que las formadas por piezas de canto o que las estructuras encoladas. Las maderas procedentes de coníferas ofrecen al fuego una resistencia considerablemente menor que las maderas duras. Los peldaños de madera de roble permanecen, por ejemplo, practicables en caso de fuego durante mucho más tiempo que los de piedra natural, ya que éstos se resquebrajan. Si el incendio se combate a tiempo, las estructuras de madera —por lo menos las de secciones robustas— pueden conservar su estabilidad, ya que los elementos que las componen, a diferencia de lo que ocurre con las estructuras metálicas, no experimentan deformación alguna.

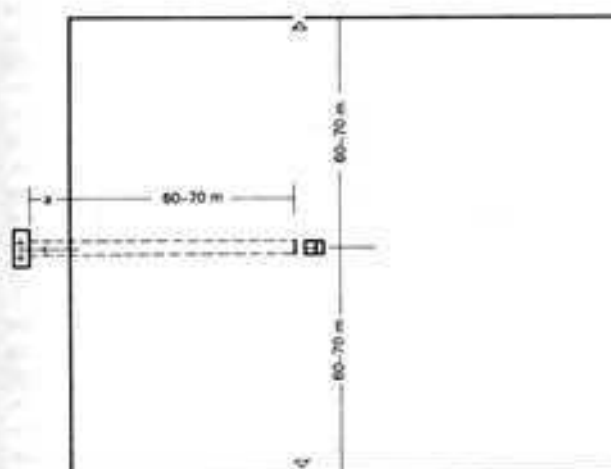
La protección preventiva de la madera ante un caso de incendio está especificada en la DIN 4102. Se refiere ante todo a las distancias de las piezas de madera a chimeneas, hogares, y revestimientos de chapa, cartón de amianto, revoque, etc.

Como protección contra las llamas se suelen aplicar actualmente pinturas con espumantes a base de resina sintética. Cuando simultáneamente es preciso ejecutar un tratamiento de protección contra insectos u hongos parásitos, la pintura protectora

NAVES INDUSTRIALES
Y EDIFICACIONES DE UNA SOLA PLANTA



Instalación industrial a dos cruces. Profundidad máxima de penetración, 20 m, determinada por el alcance del chorro de las mangas ~15...20 m. Distancia mínima a la salida más próxima, 25 m.

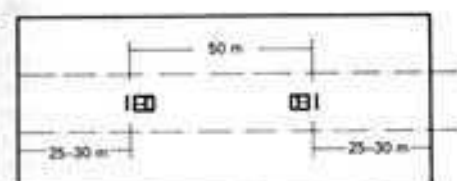


Nave de fábrica con vía de escape subterránea. La distancia entre el borde del edificio y la caja interior de escaleras es de 60 a 70 m. La distancia de la salida de emergencia, situada al exterior y unida con la caja de escaleras a través de un conducto subterráneo, es 3/4 de la altura del edificio y cae fuera de la zona de posibles escombros.

Edificaciones
de varias plantas

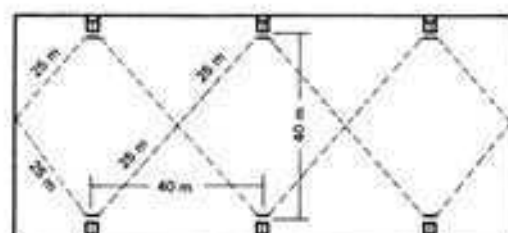


Disposición a dos cruces con cajas de escaleras junto a la fachada. La distancia entre cajas de escaleras es de 60...70 m, y entre cajas y extremo de edificio, de 30...35 m.

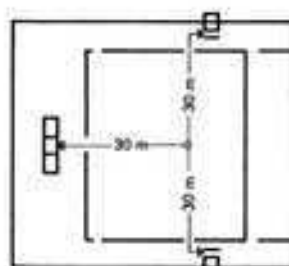


Disposición a tres cruces con cajas de escaleras interiores. Distancia entre entradas a las cajas, 50 m; entre cajas y extremo de edificio ~25 m. Estos datos varían en los diversos estados federales de la RFA y no son válidos para edificios de viviendas. Toda caja de escalera interior que alcance 3 plantas completas debe llevar una protección contra el humo (§ 28 I a).

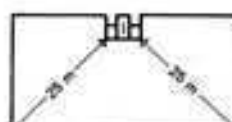
CENTROS COMERCIALES
Y SALAS DE REUNIONES



Desde cualquier punto debe poderse alcanzar una caja de escaleras recorriendo como máximo 25 m. Por otra parte, las cajas de escaleras no deben distar entre sí más de 40 m.



Si la sala de reuniones está elevada sobre el nivel del suelo, debe haber por lo menos 2 cajas de escalera. Estas deben poderse alcanzar desde cualquier punto sin recorrer más de 30 m.



Caja de escaleras de seguridad para edificios elevados. La caja de escaleras debe hallarse en el lado exterior del edificio y alcanzarse desde cualquier punto sin recorrer más de 25 m.

contra las llamas debe constituir siempre la última capa, es decir, la superior.

Comportamiento al fuego de la obra de fábrica

La segunda guerra mundial, con sus vastos incendios, constituyó la peor, aunque también la más convincente enseñanza objetiva en cuanto a la resistencia al fuego de los diversos tipos de obra de fábrica. Se comprobó, por ejemplo, que paredes de ladrillos recocidos y grueso superior a media asta, construidas con morteros corrientes, resistían indemnes los incendios. Tan sólo mostraban una caída parcial del revoque, lo cual cabía atribuir a una defectuosa adherencia del mismo y, a veces, también al efecto de impacto del agua de extinción. Asimismo el salto o desprendimiento de una capa laminar superficial de unos 3 cm de espesor, a menudo observado, tenía su explicación en el choque del agua de extinción, cuando no en la estructuración laminar de los ladrillos causada por la prensa de extrusión.

Muy resistentes resultaron ser todas las paredes y revoques de yeso—incluso de poco espesor— así como las paredes delgadas de hormigón de piedra pómez. También poseen gran resistencia al fuego otros hormigones ligeros, como p. ej. el hormigón poroso.

En cuanto a comportamiento al fuego la piedra natural queda rezagada con respecto a los materiales anteriormente indicados. Ya en los minerales duros, como p. ej. el granito, saltan fragmentos laminares por efecto del fuego. Este efecto queda incrementado por el del impacto del agua de extinción. Las partes de pie-

dra de poco espesor, como p. ej. peldaños de escalera simplemente superpuestos o empotrados, se desmenuzan a causa del fuego, por lo que no resultan apropiados para vías de escape. También el esfuerzo portante de los pies derechos de piedra queda menoscabado. Como muchas ruinas muestran, sólo resistieron al fuego los muros de piedra natural de gran espesor.

Comportamiento al fuego del hormigón y del hormigón armado

Los hormigones pesados de composición granular corriente secados al aire sólo experimentan exiguas disminuciones de resistencia hasta temperaturas no superiores a 400°C. No obstante, cuando éstas exceden de 400°C se produce una relajación en su estructura, la cual determina un descenso cada vez más acusado de la resistencia.

Motivos: el agua combinada física y químicamente en el cemento y en los áridos queda liberada y actúa distensionando la estructura. A temperaturas superiores a 500°C, los cuarzos existentes en los áridos modifican su forma cristalina, lo cual se traduce en una variación brusca de volumen. También a partir de 600°C las dilataciones de los áridos que no contienen cuarzo se comportan de manera ya no lineal.

En caso de hormigón armado, el fallo, la deformación o la rotura de un elemento constructivo por efecto del fuego puede ser motivado por diferentes causas. En forjados de vigas nervadas y vigas atacadas por el fuego desde la parte inferior, la dilatación de la armadura situada en esta parte puede provocar una rotura en la zona de flexocompresión.

En forjados de losas de hormigón armado, donde la zona de flexocompresión está sobredimensionada, sólo se producirá una rotura por fallo de la armadura de tracción.

En vigas de hormigón armado, que en general no disponen de gran reserva en la zona de flexocompresión, se producirá una rotura en dicha zona —por redistribución de los esfuerzos— sin que tengan que ceder todas las varillas de acero. A causa de la dilatación de la armadura y de la disminución del módulo de elasticidad del hormigón varía el estado primitivo de tensiones. La línea neutra se desplaza hacia arriba, y la compresión del hormigón puede aumentar hasta el punto de sobrepasar la resistencia admisible. Se producen por tanto flexiones y deformaciones que conducen finalmente a la rotura.

El peligro de desprendimiento de los recubrimientos de hormigón de la armadura crece con el contenido de humedad del hormigón, con la compactación del mismo y con la rapidez del calentamiento. Cuando las varillas de acero quedan al descubierto tiene lugar en ellas una rápida elevación de la temperatura, que acelera notablemente el proceso eventual de rotura.

El peligro de rotura depende también de la clase de acero utilizado y del aprovechamiento de su tensión. Grandes reservas de compresión y tracción elevan la duración de resistencia al fuego de un elemento constructivo. También puede contribuir a ello un refuerzo del recubrimiento de hormigón de las varillas.

Las estructuras de hormigón pretensado pierden la tensión previa por efecto del fuego, y con ella desaparece el aumento de resistencia mecánica alcanzado por este medio artificial. Por consiguiente, las estructuras de hormigón pretensado corren más peligro, en caso de incendio, que las estructuras normales de hormigón armado.

Comportamiento al fuego del acero

Las propiedades especiales del acero, su elevada resistencia a la flexión, a la tracción y a la compresión, su límite de fluencia y su módulo de elasticidad varían con el aumento de la temperatura. Su resistencia a la compresión y a la tracción crecen todavía inicialmente hasta 200... 250°C y bajan luego rápidamente.

Si bien las piezas de acero tienen secciones pequeñas, a causa de la elevada resistencia de este material, poseen en cambio una gran superficie a causa del perfil que debe dárseles para elevar su rigidez. En edificios sujetos a peligro de incendio deben aplicarse por tanto exigencias adicionales de protección a todos los elementos de acero con función sustentante.

La creciente simplificación y baratura de las medidas protectoras contra el fuego, así como la mejora progresiva de las instalaciones de extinción de incendios deben no obstante incrementar los campos de aplicación y la participación en el mercado de la construcción de acero.

Influencias del dimensionamiento de la sección

Al elegir el material es preciso tener también en cuenta algunos puntos de vista físicos. Cuanto mayor es la masa de los elementos y órganos constructivos, tanto mayor es su capacidad de absorción térmica y tanto mayor su duración de resistencia al fuego. También tiene en ello su importancia el número de lados por los que el fuego puede atacar dichos elementos.

Los elementos más frecuentemente amenazados por el fuego son los pies derechos aislados interiores, ya que quedan expuestos al fuego y al calor por sus cuatro costados; las vigas de forjado y los nervios de las losas lo están por tres lados; las paredes intermedias por dos. Las paredes exteriores y las losas de forjado macizas están generalmente expuestas al fuego por un solo lado. En forjados de plantas con recubrimientos de suelo incombustibles, el efecto del fuego desde arriba no tiene gran importancia. En caso de paredes exteriores, la temperatura del lado externo queda atenuada por la corriente de aire ascendente, incluso con fuego extendido. Con recubrimientos incombustibles de cubierta, ésta sólo puede ser atacada por el fuego desde el lado interior.

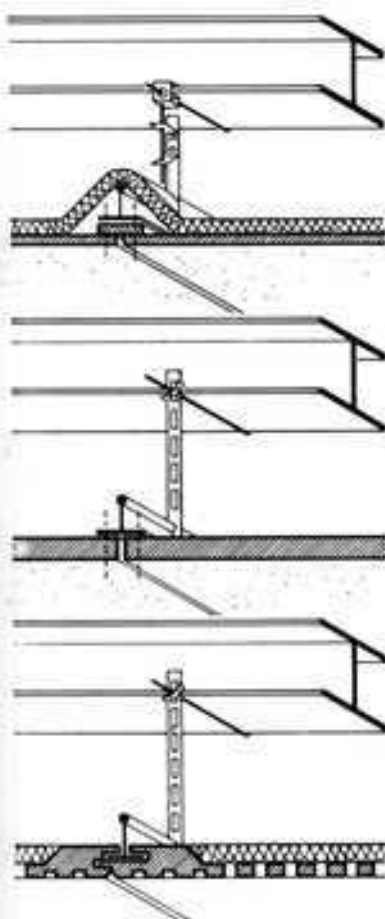
La resistencia al fuego de un elemento u órgano constructivo no queda, sin embargo, únicamente determinada por su sección F , sino también por su perímetro U ; a este fin, la relación U/F debe ser lo más pequeña posible. Los pies derechos y las jácenas de sección cuadrada son por tanto más favorables que los de sección rectangular en cuanto a resistencia al fuego. Análogamente, los elementos constructivos gruesos poseen siempre una relación U/F más pequeña, y por ello más favorable, que los delgados. Esto atañe especialmente a los perfiles. En perfiles de acero y de chapa se obtiene la relación U/F más desfavorable.

Influencias de la estructura constructiva

Desde el punto de vista de la resistencia al fuego, las edificaciones con paredes de obra de fábrica y forjados de losas de hormigón armado son las más favorables. Si las losas están armadas en dos sentidos y están empotradas o son continuas sobre varios tramos, es decir, son sistemas estáticamente indeterminados, ello constituye en caso de incendio una nueva ventaja. En edificios con esqueleto sustentante son preferibles pies derechos y jácenas de sección cuadrada ampliamente dimensionados —a causa de una mayor distancia o luz entre apoyos— a pies de secciones más reducidas y en número mayor. Desde el punto de vista de la protección contra incendios es ventajoso colocar los apoyos de la pared exterior —especialmente si son de acero— ante la fachada, de modo que sólo queden por un lado vueltos hacia el edificio. La resistencia al fuego de un apoyo exterior depende así básicamente sólo del apantallamiento interior y de la distancia que sobresale lateralmente.

En edificios con esqueleto de hormigón armado, la sección estáticamente necesaria y el recubrimiento de la armadura en apoyos y jácenas no bastan a menudo para crear la resistencia al fuego que se precisa. Para conseguirla habría que aplicar un revoque de determinado espesor y composición. Esta operación exige, no obstante, varias etapas adicionales de trabajo. Sucede además que con la técnica actual de encofrado se obtienen superficies planas y lisas, sobre las cuales los revocos adhieren peor que en las primitivas superficies rugosas dejadas por las tablas. En caso de incendio dichos revocos pueden, pues, desprenderse más fácilmente y quedar destruido así el efecto protector. Para remediar esta situación es mejor —en función de los costes, del trabajo y del efecto a conseguir— aumentar el recubrimiento de hormigón de la armadura en un porcentaje a establecer.

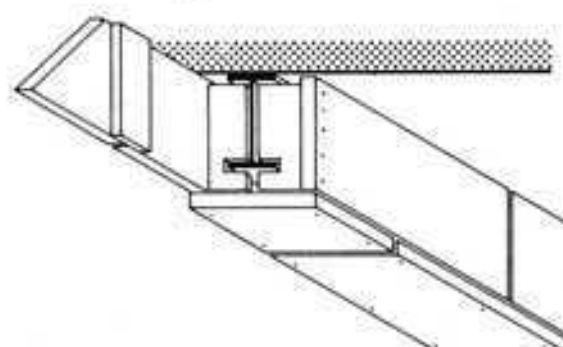
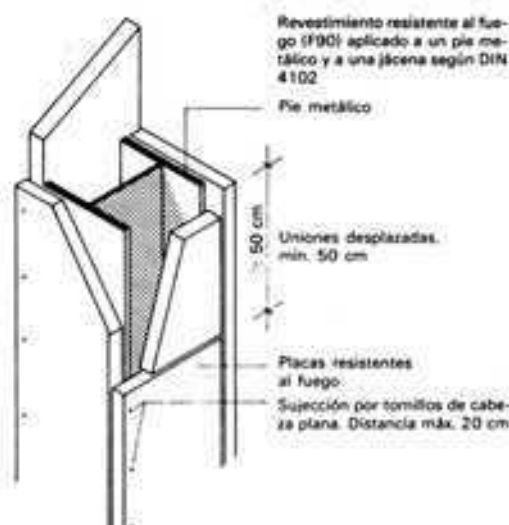
Se obtiene una notable mejora de la resistencia al fuego con sistemas estáticamente indeterminados, es decir, adaptables hasta



Cielo raso a base de placas de fibrocemento de 10 mm y una capa de lana mineral de 40 mm (resistente al fuego: F120 según DIN 4102)

Cielo raso a base de placas de cartón-yeso de ≥ 15 mm de espesor (resistente al fuego: F90 según DIN 4102)

Placas de cartón-yeso de amortiguación acústica, retardadoras del fuego (F30) o resistentes al mismo (F90), según el espesor



cierto punto, sean construcciones a base de paredes de carga transversales con paredes de hormigón armado y forjados fabricados en obra, sean construcciones de esqueleto a base de hormigón a pie de obra. Incluso sin tenerlos en cuenta en los cálculos, existen en ellos empotramientos en apoyos y jácenas y efectos mixtos o combinados en jácenas y losas. Lo propio ocurre, en grado todavía mayor, en edificaciones con esqueleto de acero. Tales estructuras elevan, gracias a sus reservas de sustentación, la seguridad frente al peligro de desplome, por lo que es posible entrar sin riesgo en estos edificios tras haber sufrido un incendio. En construcciones metálicas, por ejemplo cubiertas de naves, se unen en lo posible las correas con las vigas en uniones capaces de resistir esfuerzos, con lo cual en caso de incendio se produce un efecto de cable que aumenta la seguridad frente a caídas. Además, en la construcción de naves metálicas no deben emplearse placas macizas de cubierta, pesadas, sino cubiertas metálicas ligeras aisladas térmicamente, cuyas partes se unirán entre sí de forma continua.

Una medida adicional para aminorar el efecto del fuego en cubiertas de naves y en forjados de edificios de varias plantas consiste en disponer aberturas para la evacuación del calor y del humo. El número y tamaño de estas aberturas dependen principalmente de la carga de incendio, y actualmente están prescritas, en general, por los organismos oficiales de protección contra el fuego.

Medidas constructivas adicionales

Cuando los órganos constructivos, a causa de las propiedades de los materiales que los componen, de la configuración de su sección y de su utilización efectiva, no satisfacen la clase de resistencia al fuego exigida, es preciso recurrir a medidas constructivas adicionales de protección.

A este fin cabe distinguir entre protección directa mediante:

- revestimientos y recubrimientos,
- pinturas y recubrimientos que formen una capa aislante,
- relleno del núcleo en perfiles huecos;

y protección indirecta mediante:

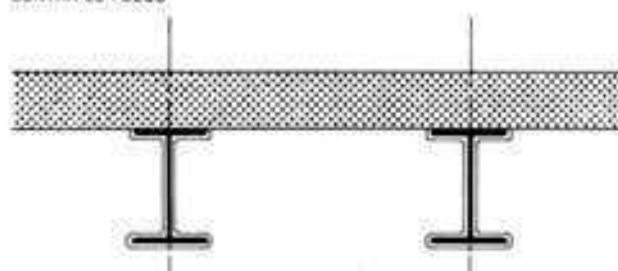
- apantallamientos tales como cielos rasos, envolturas antepuestas y dinteles.

En la norma DIN 4102 se mencionan los revestimientos, los cielos rasos y los recubrimientos normalizados de ejecución en obra.

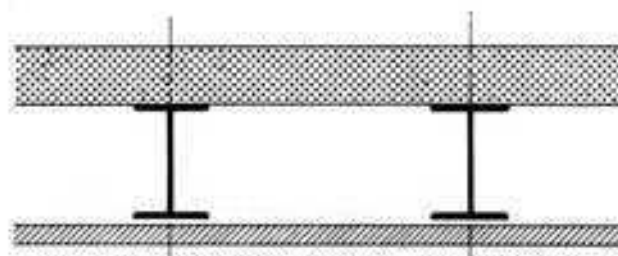
Además de los revestimientos y apantallamientos aplicados como revoque o por proyección a pistola, han aparecido mientras tanto en el mercado gran variedad de placas prefabricadas o aptas para ser mecanizadas en seco, a base de vermiculita, perlita, yeso, fibrocemento o fibra mineral. Si disponen de autorización general por parte de la Inspección de Obras, pueden emplearse de acuerdo con la clase de resistencia al fuego acreditada mediante protocolo de ensayo según DIN 4102, siguiendo las prescripciones allí especificadas en cuanto a ejecución y montaje.

Los mismo rige para pinturas, recubrimientos o láminas que forman una capa aislante en caso de incendio. Unas y otros representan, especialmente para la construcción metálica, un revestimiento adecuado al material y adaptado a los perfiles, cuyas sustancias componentes se hinchan a causa del calor y forman una costra de carbón de cierto efecto aislante. Hasta el presente puede alcanzarse la clase de resistencia F30-F60 (retardador al fuego), pero el desarrollo de tales materias no ha llegado todavía a su fin. El problema lo constituye ante todo la resistencia al envejecimiento y a los agentes atmosféricos que debe poseer el líquido activo incluido. Para garantizar suficiente protección contra la corrosión es preciso además, incluso en interiores, dar por lo menos una mano de pintura de base y otra de recubrimiento. En caso de revestimientos prefabricados roscados tampoco resulta superflua una protección de las partes metálicas contra la corrosión, si bien en general basta una mano de pintura. Atención especial exigen, no obstante, los espacios vacíos que quedan detrás de los revestimientos en forma de cajón: aun cuando la resistencia al fuego crece con la profundidad del espacio hueco, para evitar convección y efecto de tiraje deben intercalarse en él, a intervalos de unos 4 m, unos mamparos que ejerzan el correspondiente efecto protector.

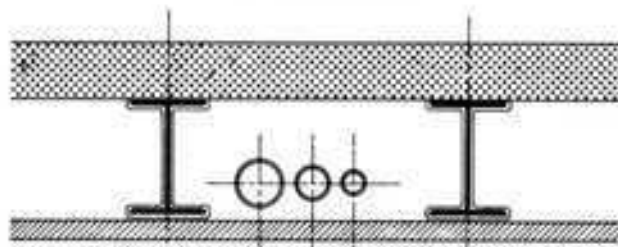
PROTECCIÓN DE VIGAS DE ACERO CONTRA EL FUEGO



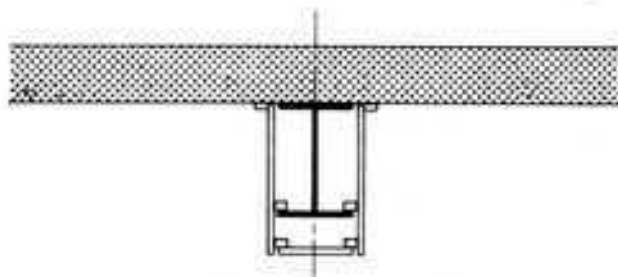
Si las vigas están por debajo del forjado, deben ser recubiertas con un revestimiento resistente al fuego.



Si un cielo raso suspendido constituye una capa resistente al fuego según DIN 4102, no es preciso recubrir las vigas.

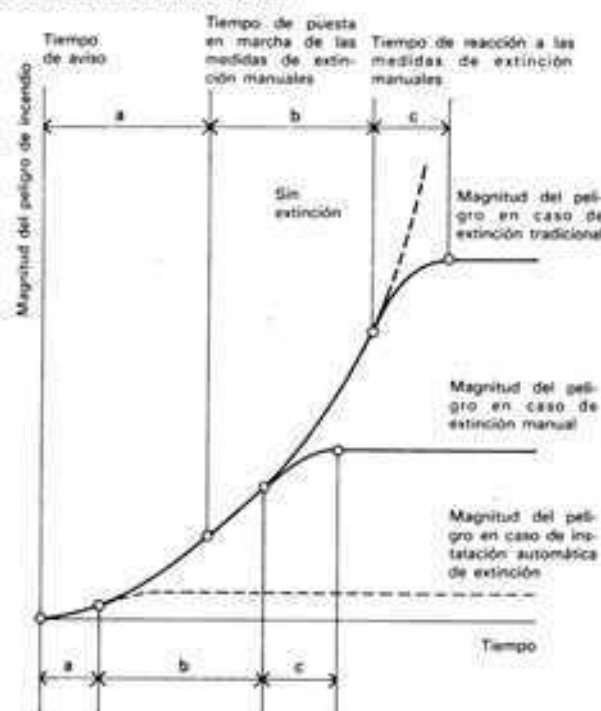


Si hay conductos de instalaciones sobre el cielo raso suspendido entre las dos vigas de acero, ambos perfiles deben recubrirse con un material resistente al fuego.



Las vigas pueden recubrirse también con placas resistentes al fuego según DIN 4102.

COMBATE CONTRA EL FUEGO POR LOS SISTEMAS TRADICIONALES



Dispositivos automáticos de alarma y, en ciertos casos, de extinción

- a Tiempo de aviso
- b Tiempo de puesta en marcha
- c Tiempo de reacción a las medidas de extinción

- Dispositivos extintores automáticos o bien accionados a mano.
- Dispositivos para extracción del calor y del humo (sprinklers).
- Zonas con prohibiciones especiales, p. ej. prohibición de fumar.
- Determinadas exigencias a los materiales no estructurales de montaje y equipo.
- Ordenación del material de instalación y de almacén, separación de los pasillos de escape y de los accesos para combatir el fuego.

Puesto que tales medidas influyen no sólo sobre los costes de construcción, sino también sobre los de servicio, y pueden limitar las posibilidades de utilización, deben analizarse mediante una comparación gastos-utilidad incluso con respecto a las primas del seguro y a las pérdidas por eventuales interrupciones de la producción.

Medidas de servicio

Las exigencias funcionales y tecnicoproductivas en obras pueden contradecir, en cuanto a medidas constructivas, las diferentes disposiciones sobre protección contra incendios de las Ordenanzas de los diversos estados federales alemanes. Los motivos de orden técnico impuestos por la utilización de los locales exigen siempre mayores sectores ininterrumpidos de incendio.

Para poder satisfacer incluso en tales condiciones las disposiciones sobre protección contra incendios son necesarias determinadas medidas de servicio, de acuerdo con las autoridades competentes del caso, en substitución de las medidas constructivas no cumplidas:

- Instalaciones de alarma contra incendios.
- Instalaciones de lluvia y rociado artificiales.

Instalaciones de alarma contra incendios

La elevación del riesgo de incendio no es sólo una consecuencia de la acumulación de puntos peligrosos por insuficiencia de la obra en cuestión. La magnitud del peligro de incendio en una obra viene determinada ante todo por el valor de los bienes efectivos concentrados actualmente en ella y por el riesgo de la pérdida de los mismos.

En la magnitud del peligro de incendio, la rápida detección ha pasado a constituir el primer criterio y la demora en la puesta en acción de las medidas de extinción, el segundo. Los dispositivos de alarma y de extinción manuales sólo son aptos con ciertas condiciones. Las instalaciones automáticas de alarma acopladas a dispositivos automáticos de extinción y extracción de humo reducen a un mínimo los daños de incendio. En todas las medidas manuales de extinción, incluso si hay conexión directa entre la instalación de alarma rápida y la central de bomberos, hay que contar siempre con una demora más o menos larga.

Cada instalación de alarma o aviso forma parte de una planificación general de protección contra incendios, que prevé:

el montaje de una organización de alarma (medios y puntos de alarma, puesta en marcha del combate contra el fuego acordada a las circunstancias del servicio,

el gobierno de dispositivos de seguridad de toda clase (puertas de protección contra incendios, trampillas contra el humo),

el disparo de una instalación fija de extinción (agua, ácido carbónico, etc.), cuando el riesgo local de incendio exige esta medida adicional. El disparo de un dispositivo de extinción se hace normalmente dependiente del aviso de los detectores de incendio situados en líneas diferentes de alarma.



En centros con complicadas instalaciones electrónicas que contienen numerosos cables y tuberías que pasan por canales y conductos, y en edificios climatizados, se emplean detectores de humo por ionización o bien ópticos, que disparan ya en cuanto se generan las primeras trazas de humo. En casos extremos, por ejemplo en centros de cálculo climatizados, se dispone un detector por ionización por cada 10 a 15 m² de superficie de servicio. Uno de cada cinco detectores por ionización puede también reemplazarse por un detector óptico. Esta combinación ha dado buenos resultados, porque en casos de combustión lenta de materiales aislantes se desprende humo blanco y claro, mientras que en la de tejidos y papel el humo es oscuro.

Dispositivos de extracción del calor y del humo

La antigua idea de cerrar herméticamente los edificios en caso de incendio para que el fuego se autoextinga por falta de oxígeno ha quedado contrariada por recientes investigaciones, principalmente en Inglaterra y Suecia. Los gases calientes apresados ponen en peligro a los elementos constructivos no protegidos. El riesgo de derrumbamiento constituye una amenaza para las personas y los bienes, incluso fuera de la proximidad directa del foco del incendio. Los gases calientes y el vapor de agua provocan amplios daños subsiguientes al incendio. La espesa humareda dificulta la visibilidad e impide una acción eficaz contra el fuego. Es importante, por tanto, una afluencia suficiente de aire fresco. Éste penetra en cuanto los gases del incendio, más ligeros, pueden escapar. El combate contra el fuego es entonces posible en un aire relativamente claro y no queda impedido por las llamas y nubes de humo que salen al encuentro de los que luchan con él.

Tales dispositivos de extracción del calor y del humo se combinan, según el tipo de edificio, la carga de incendio y el riesgo, en forma de aireadores de láminas, o se fabrican como cúpulas luminosas con posibilidad de aireación. Están acoplados con la instalación de alarma y son accionados automáticamente por grupos. El accionamiento normal de las cúpulas luminosas que actúan como trampillas de aireación y extracción de humo se efectúa, no obstante, manual, hidráulicamente o electrohidráulicamente. Según la extensión del incendio y la altura del edificio (efecto de tiraje) es necesaria una determinada superficie de extracción de humo. Cuanto más alargado puede desarrollarse un incendio, a igualdad de superficie, tanto mayor es la superficie de extracción de humo necesaria. Según Hinkley y Thomas, el cálculo debe basarse por consiguiente no en la superficie, sino en el perímetro de un sector de incendio. Estos autores indican la siguiente fórmula:

$$\text{Superficie de extracción de humo} = \text{factor de aireación} \times \text{perímetro del sector de incendio}$$

En ella el factor de aireación tiene los valores siguientes, en función de la altura del edificio:

6 m	siempre desde el nivel	0.43
8 m	del suelo hasta el centro	0.34
12 m	de la abertura de aireación	0.25

Así se obtiene no sólo la posibilidad de extraer el humo, sino también especialmente una abertura de tamaño suficiente para evacuar el calor. Estos valores sobrepasan ligeramente las exigencias mínimas que figuraban hasta ahora en el proyecto de la norma DIN 18230 "Protección constructiva contra incendios en la industria" y en las Ordenanzas de la Construcción* de los diferentes estados federales alemanes.

1. Cajas de escalera

1. Construcciones en general:

En edificios con más de 4 plantas completas y con cajas de escalera interiores, debe colocarse en la parte superior de dicha caja un dispositivo de extracción de humo que pueda abrirse desde la planta baja. Cabe exigir que dicho dispositivo pueda accionarse también desde otros puntos.

a) Tamaño de las aberturas de extracción de humo y de calor: 5% de la superficie de base de la caja de escalera, con un mínimo de 0,5 m².

b) Exigencias especiales: ninguna.

2. Casas elevadas:

En casas elevadas puede exigirse que las cajas de escalera, exceptuando las de seguridad, queden divididas en sectores estancos al humo a la altura límite de 22 m y, más arriba, cada cuatro plantas completas. Cada sector se equipará con un dispositivo de extracción de humo capaz de ser accionado desde la planta baja y desde el rellano superior del sector situado inmediatamente debajo.

a) Tamaño de las aberturas de extracción de humo y calor: 5% de la superficie de base de la caja de escalera, con un mínimo de 0,5 m².

b) Exigencias especiales: ninguna.

* Tamaños de las aberturas para la extracción del humo según las Ordenanzas de la Construcción de los estados federales alemanes.

3. Industrias: como en I/1.

4. Centros de conferencias y asambleas:

Las cajas de escalera reglamentarias, que comunican a más de dos pisos, deben disponer en su parte superior de un dispositivo de extracción de humos con una abertura de por lo menos un 5% de la base de la caja o del sector correspondiente; como mínimo, 0,5 m². Los dispositivos para abrir las aberturas de extracción deben poder accionarse desde la planta baja, y en el punto de accionamiento figurará el letrero indicativo correspondiente. En el dispositivo de accionamiento debe ser reconocible si la abertura está abierta o cerrada. Las ventanas pueden servir como aberturas de extracción de humos siempre que estén a suficiente altura.

a) Dimensiones de las aberturas de extracción de humos y calor: 5% de la base de la caja de escalera; siempre, como mínimo, 0,5 m².

b) Exigencias especiales: debe ser reconocible si la abertura de extracción de humos y calor está abierta o cerrada.

II. Otros locales:

1. Locales comerciales y de almacén, naves, talleres, etc., en edificaciones elevadas y en construcciones industriales, en general

a) Dimensiones de las aberturas de extracción de humos y calor: 1-2% aproximadamente de la planta del local, incluidas los ventanillos de ventilación de las ventanas situadas en la parte alta.

b) Exigencias especiales: un punto de accionamiento en el estrado y otro fuera de él.

2. Edificios altos: como en II/1.

3. Locales para conferencias y asambleas:

A. Locales sin ventanas y sin estrado central (p. ej. aulas escolares, salas de conferencias, restaurantes).

a) Dimensiones de las aberturas de extracción de humos y calor: 0,5 m² de superficie neta por cada 250 m² de planta o 1 m² por cada 250 espectadores, o sea una ventana de extracción de dimensiones nominales 116/116.

b) Exigencias: los puntos de accionamiento deben situarse al exterior de la sala.

Debe ser reconocible si las aberturas están abiertas o cerradas.

B. Locales para conferencias y asambleas con estrado central.

a) Dimensiones de las aberturas de extracción de humos y calor: 3% de la superficie del estrado sin contar el estrado lateral.

b) Número de puntos de accionamiento: por lo menos dos.

c) Exigencias especiales: ninguna.

C. Locales para conferencias y asambleas con estrado total (a partir de 150 m² de superficie de estrado).

a) Dimensiones de las aberturas de extracción de humos y calor: sección según la fórmula $R = 0,52F - 100$, en que F = superficie del estrado.

b) Número de puntos de accionamiento: como mínimo dos.

c) Exigencias especiales: como en B.c). Los puntos de accionamiento deben llevar el letrero correspondiente bien visible. Además debe ser identificable la zona correspondiente servida por cada abertura de extracción (p. ej. el estrado). Debe ser reconocible si la abertura de extracción está abierta o cerrada.

Instalaciones para la extinción de incendios

La combustión, como proceso de oxidación, tiene lugar cuando materiales combustibles se calientan por encima de su temperatura de inflamación, en presencia de suficiente cantidad de oxígeno, por lo general procedente del aire.

De esto se deducen las dos posibilidades de atacar los incendios:

- Enfriamiento del material combustible por debajo de la temperatura de combustión.
- Impedir el aporte del oxígeno, es decir, disminuir la relación entre cantidad de oxígeno aportada para la combustión y la cantidad de material combustible.

Desde tiempo inmemorial, y todavía importante hoy día, el elemento fundamental para la extinción de incendios es el agua. Para su vaporización requiere grandes cantidades de calor. Así se puede extraer del foco de combustión una cantidad suficiente de calor para que su temperatura quede por debajo de la de inflamación. Cubriendo la superficie de combustión con agua, con la formación de vapor, además se impide el aporte de oxígeno y se ataca la combustión.

Existen tipos de incendios y materiales para los cuales el agua no es suficiente, e incluso podría ser un elemento inapropiado y peligroso. El agua es insuficiente en el caso de incendios que crecen muy rápidamente y con gran facilidad; no es apropiada

tampoco para el caso de muchos productos y materias químicas inflamables, así como en el caso de líquidos fácilmente combustibles. Querer apagar con agua la gasolina en combustión conducirá al efecto contrario de la extinción, ya que la gasolina ligera flota sobre el agua y extenderá el incendio. Con grasas se producirían explosiones.

Debido a la dificultad de atacar el incendio de materias especialmente inflamables y principalmente ciertos líquidos, es conveniente almacenarlos fuera de la edificación, en fosas rodeadas de tierra o de muros protectores.

Lucha contra los incendios desde el exterior

Hasta el siglo XVIII se estuvo impotente frente a los grandes incendios. En la primera mitad del siglo XIX se construyeron las primeras mangueras con bombas. Mejores medios de extinción se tuvieron al instalar en las ciudades conducciones de agua. Las mangueras con motor actuales permiten, con grandes cantidades de agua, alturas de chorro de ~ 73 m y alcances de ~ 54 m. Las bocas de agua fijas (por debajo o por encima del nivel del suelo), que deben existir en suficiente número en las cercanías de todo edificio proporcionan la posibilidad de acciones más efectivas en los trabajos de extinción. Para la lucha local contra incendios y para el posible rescate de personas se dispone además de escaleras especiales, alargables, giratorias o telescópicas, con o sin plataforma en el extremo. (Altura de trabajo hasta 30 m). Para hacer accesibles edificios altos situados en medio de césped, debe preverse un enlosado que constituya una zona transitable para vehículos de 15 ton de carga en los ejes.

Lucha contra incendios en el interior de los edificios

La forma tradicional de lucha contra el incendio desde el exterior falla, sin embargo, en algunos de los importantes tipos de edificaciones modernas, por ejemplo en edificios con plantas panorámicas y en rascacielos. Paralelamente existen edificios cuya función trae consigo nuevas posibilidades y causas de incendio desconocidas hasta ahora, principalmente casos de incendios localizados, limitados pero de gran intensidad que ni pueden combatirse desde el exterior ni con los medios usuales de extinción. Quizá podemos hoy día proporcionar a nuestros edificios una mayor seguridad contra los incendios mediante la construcción con materiales más apropiados y mejorando los métodos tradicionales de extinción, así como desarrollando nuevos procedimientos. La innovación más importante, sin embargo, es la lucha inmediata y más efectiva contra el incendio en lugar de su producción, es decir en el interior del edificio, mediante aparatos detectores automáticos y posibilidades de extinción automática. Distinguiamos entre instalaciones de extinción fijas y aparatos móviles.

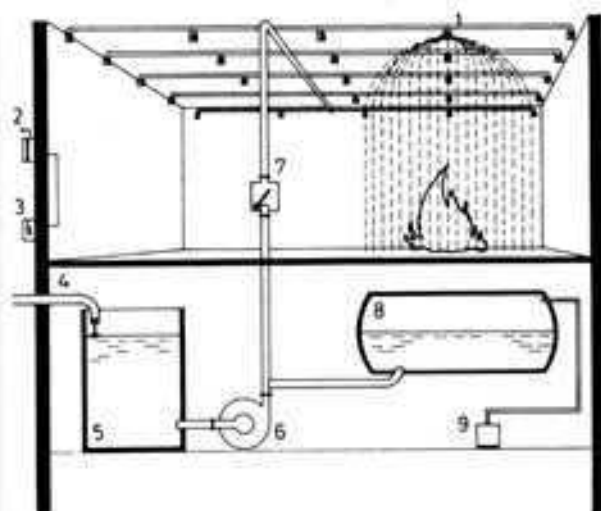
Bocas de incendios

En las cajas de escalera o en sus cercanías se instalan bocas de incendios de Ø 80 mm y además unos armarios con 1 ó 2 tambores de mangueras. El diámetro de los conductos montantes se determina según el número de mangueras a conectar. Las mangueras tienen un diámetro interior de 52 mm y una longitud de 15 m. Las condiciones locales determinan el número de las bocas de incendio y la distancia entre ellas.

Se aplica la DIN 14461.

Rociadores automáticos (sprinklers)

Como instalación de rociadores automáticos entendemos una instalación de riego cuyas toberas se abren automáticamente en el caso de un incendio, poniendo en marcha un sistema de alarma. La red de tubos se dispone por debajo del techo y debe ser alimentada por dos fuentes distintas. Normalmente por la red pública y por un depósito de agua con aire a presión. Este debe



1) En caso de incendio se abren solamente los sprinklers de las inmediaciones del foco del incendio (1). El agua de extinción dispara una señal de alarma (2). En el conductor de la alarma puede intercalarse un interruptor de presión (3) para la alarma eléctrica. Procedente de una acometida pública o de la acometida general de la fábrica (4) se alimenta un depósito intermedio (5) a partir del cual la bomba rotativa (6) impulsa el agua a la red de tuberías. El agua pasa por la válvula de alarma (7). Como alimentación adicional se puede disponer de un depósito de agua con aire a presión (8) en el que se mantiene un cojin de aire por medio del compresor (9).

dimensionarse de forma que puede proporcionar agua para extinción por lo menos durante una hora. Se calcula en término medio una tobera o rociador por cada 6-9 m². Las superficies de rociado de las toberas deben solaparse de forma que se alcance a regar toda la superficie del suelo. Generalmente las instalaciones de rociadores se montan según el llamado "sistema húmedo". En ellas la red de tuberías queda llena de agua hasta los propios rociadores. Cuando los locales presentan peligro de heladas se elige el "sistema seco". En tales instalaciones el agua llega sólo hasta la llamada válvula seca de alarma, en tanto que las tuberías están llenas permanentemente con aire a presión. En los sistemas húmedos usuales los sprinklers se cierran mediante un mecanismo que actúa por la acción del calor. A la temperatura ambiente crítica a unos 70°C (en casos especiales, incluso mayor) se abren las válvulas y se inicia el rociado. Se abren sólo las válvulas situadas en las proximidades del foco de combustión, en tanto que las restantes permanecen cerradas. Si se abriesen mayor número de sprinklers que los necesarios para la extinción, en algunos casos podrían ser mayores los daños producidos por el agua que los producidos por el fuego. Se puede contar normalmente con una capacidad de rociado de 60 litros de agua por minuto y por tobera.

Como dispositivos de cierre existen algunas variantes:

- Tipo de pera de vidrio: Un pequeño recipiente de vidrio con un líquido de bajo punto de ebullición que al alcanzar una temperatura crítica predeterminada estalla y, con la ayuda de la presión del agua y del aire revienta totalmente el cierre.
- En el tipo de cierre fundible, éste, al alcanzar la temperatura prevista de fusión libera el mecanismo de obstrucción y permite el paso del agua.
- En el tipo de cristal fundible, o químico, al alcanzarse la temperatura crítica prevista, se funde bruscamente una sal en forma de cristal, que en estado sólido bloquea un mecanismo de cierre en tensión.

Cuando se dispone una instalación de sprinklers deberá procurarse siempre que abarque toda la superficie del edificio. Si se prevé sólo un rociado parcial, existe el peligro de que al iniciarse un fuego y transmitirse a zonas vecinas se agote la capacidad de la instalación; es decir, que al quedar demasiados sprinklers abiertos sea insuficiente el aporte de agua.

Presentan inconvenientes los edificios con plantas demasiado altas, ya que el tiempo que tardan en abrirse los sprinklers crece con la altura. Por ello no conviene que la red de tuberías esté situada a más de 7 m de altura. En locales especiales, como por

ejemplo en "silos palletizados", que pueden alcanzar a menudo alturas de 30 m y más y en que los pasillos y espacios intermedios actúan como verdaderas chimeneas, se distribuyen los sprinklers no sólo en planta sino en altura. Por cada 2 alturas de "pallet" = 3 m se dispone un nivel de sprinklers. Las instalaciones de sprinklers alimentadas con agua son inapropiadas cuando cabe esperar incendios de progresión rápida, tales como los que son de temer en algunas fábricas con procesos de producción químicos. Lo mismo en fábricas en las que se manejan líquidos inflamables o en cierto tipo de almacenes en que no se puede efectuar la extinción con agua. Por ello, en laboratorios, almacenes de productos químicos, etc., se construyen a menudo instalaciones de sprinklers a base de CO₂ como elemento de extinción. El sistema de tuberías se alimenta de una batería de botellas de anhídrido carbónico. Se calculan unos 30 m² por tobera, con un consumo de 1 kg de CO₂ por m².

Aparatos contra incendios

Los aparatos móviles pueden ser, según DIN 14406, extintores de mano o aparatos de mayor tamaño. Como medio de extinción se emplea casi exclusivamente el anhídrido carbónico y polvos extintores a base de carbonato amónico (polvo normal) y a base de sales amónicas del tipo de los fosfatos y sulfatos (polvo de pluriacción). Los medios de extinción deben corresponder al tipo de combustión. El polvo normal actúa sólo sobre combustiones de superficie, como en los líquidos y grasas. El polvo de pluriacción es apropiado también para combustiones de brasa tales como los de madera, productos textiles y plásticos. El número y disposición de los extintores móviles debe fijarse siempre de acuerdo con las ordenanzas correspondientes.

Protección contra los rayos

El rayo es una amenaza para el hombre, tanto al aire libre como en el interior de los edificios; también éstos y las mercancías que contienen están expuestos a los rayos. Antes del descubrimiento de los pararrayos no existía ningún tipo de protección frente a este peligro. Hoy día, con las precauciones adecuadas, puede soslayarse.

Un rayo es una descarga eléctrica natural de gran magnitud entre nubes con cargas eléctricas de distinto potencial o entre una nube y tierra. En lo referente al hombre y a los edificios hay que considerar sólo los rayos que saltan entre una nube y tierra. La duración de un rayo viene a ser de alrededor de 1/50 de segundo y pueden originarse tensiones de algunos cientos de millones de voltios, con intensidades de hasta 100.000 amperios. Benjamin Franklin (1706-1790) fue el primero que advirtió en 1752 la naturaleza eléctrica de los rayos y se le considera por ello el descubridor del pararrayos. Posteriormente se implantó progresivamente (al principio, en torres) la instalación de pararrayos. En la actualidad se dispone de abundante literatura para tratar el problema de una manera científica.

Probabilidad de la acción de un rayo

En las llanuras debe contarse con un mínimo de tormentas entre 10 y 15 días al año; en media montaña, con un número doble. En poblaciones de edificación cerrada y en localidades con edificios de altura pequeña y uniforme el peligro de la acción de los rayos es pequeño. Aumenta a partir de alturas de 15 m. Los rayos caen sobre objetos o partes constructivas sobresalientes, como por ejemplo los cuartos que hay sobre las azoteas, las chimeneas, etc. Se ha determinado que el peligro y frecuencia de la acción de los rayos crece con el cuadrado de la altura. Según investigaciones efectuadas en los Estados Unidos se obtuvieron los siguientes valores:

Altura en m	Descargas al año
65	0,5
130	1,5
260	4,4
330	10,0

Un estudio llevado a cabo en la Baja Sajonia en 1966 sobre los daños producidos por 4000 rayos dio la siguiente distribución entre los puntos en que cayeron:

Cumbreras y hastiales	1685 rayos
Chimeneas	1165
Antenas	394
Otros elementos de cubierta	360
Chimeneas de fábrica y campanarios	216
Árboles vecinos	80
Otros puntos	110

Construcciones que requieren protección

Entre las construcciones que por su emplazamiento, tipo, o función están sometidas al peligro de los rayos o en que, aunque el peligro sea poco, las consecuencias pueden ser graves, consideraremos:

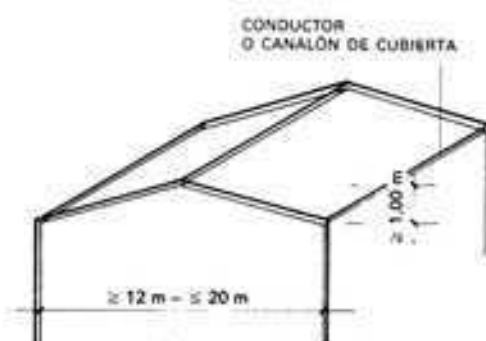
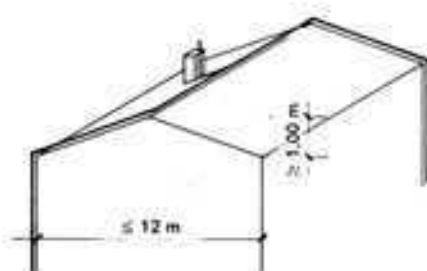
1. Construcciones que sobresalen marcadamente de su entorno, como rascacielos, torres elevadas, chimeneas.
2. Construcciones en que por su contenido entrañan peligro de incendio o de explosión, como talleres para trabajo de la madera, serrerías, fábricas de lacas y barnices, fábricas de munición y detonantes, talleres de pirotecnia, polvorines, depósitos de líquidos y gases.
3. Construcciones especiales por su tipo y función, en las que debido a la asistencia de público cabe prever situaciones de pánico por la caída de un rayo, (teatro, cines, instalaciones deportivas, pabellones de circo, iglesias), grandes almacenes, hospitales, escuelas, residencias, cuarteles, cárceles, estaciones de ferrocarril, etc.
Para las estaciones de la Red Federal de Ferrocarriles véanse las normas de explotación correspondientes.
4. Construcciones especiales, fácilmente inflamables o que cobijan objetos que deben protegerse, como cobertizos rurales aislados o de grandes dimensiones, construcciones de techumbre endeble, monumentos bajo protección oficial, museos, archivos de documentación importante, etc.

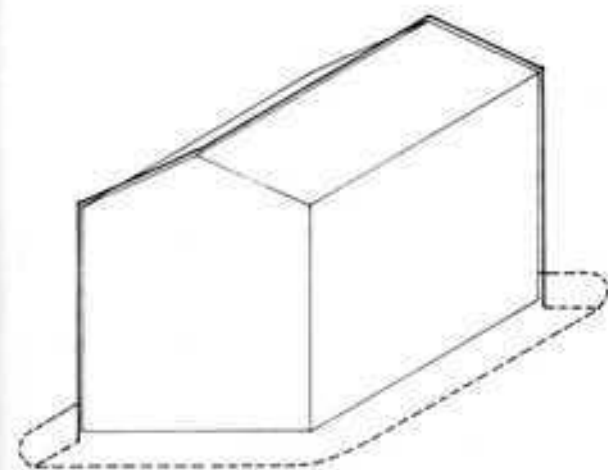
Las instalaciones contra los rayos deberán proteger las propias construcciones, su contenido y sus moradores frente a la acción de los rayos. Los peligros y daños pueden evitarse cuando la construcción se provea de una instalación que cumpla las "disposiciones generales para protección frente a los rayos" (parte 3). Para su dimensionado y ejecución son determinantes:

- seguridad eléctrica,
- sección de los conductores,
- resistencia mecánica,
- resistencia a la corrosión,
- disposición,
- consideraciones económicas.

Comportamiento de las instalaciones de protección contra el rayo

El físico y químico inglés M. Faraday (1791-1867) descubrió en 1836 que dentro de una jaula metálica formada por chapas o por reja no penetraba ningún campo eléctrico exterior. De aquí la denominación de jaula de Faraday. Según este principio se construyen las instalaciones de protección contra el rayo. Un buen sistema antirrayo debe cumplir los siguientes condiciones: La malla de conductores metálicos (generalmente redondos de acero galvanizados de $\varnothing 8$ mm) debe poseer buenas uniones entre sus componentes, buena resistencia mecánica, resistencia a las inclemencias atmosféricas y una suficiente sección para la puesta a tierra. Ningún punto de la superficie de cubierta debe quedar alejado más de 10 m de algunos de los conductores de la malla. Todas las partes metálicas de la cubierta, como antenas, retenciones para nieve, canalones de agua, etc., deben conectarse a la malla. El proyecto y construcción de una instalación antirrayos, fuera de los casos rutinarios, no es misión ni del arquitecto





Instalación antirrayos
en un edificio de entramado de acero

En los edificios de entramado de acero, el conductor de cumbrera debe quedar unido al armazón de cubierta cada 20 m, por lo menos



Instalación antirrayos
en un edificio de hormigón armado

Barandilla o conductor de cubierta
como elemento captador

Unión de los conductores
de cubierta
a los conductores
de transmisión

Anillo
en la chimenea

Unión subterránea del colector en
tierra con las armaduras del hormigón
o con los conductores de transmisión
embebidos en el hormigón

to ni, como era usualmente, del constructor de cubiertas, sino del ingeniero eléctrico o de un especialista en instalaciones antirrayos.

No existen disposiciones constructivas que mejoren las condiciones de protección contra los rayos, como sucede en la protección contra los incendios. En todo caso la multiplicidad de partes metálicas empleadas hoy día en los edificios, principalmente de acero, ofrecen mejor oportunidad de desviar los rayos a masa. Son particularmente aptos para ello los entramados de acero y también las armaduras del hormigón, así como todos los revestimientos metálicos de cubierta y los conductos de las instalaciones. Todas estas partes metálicas se conectan al conductor a tierra. El conductor a tierra se suele disponer hoy día en los edificios nuevos en la masa de cimentación.

PUESTA A TIERRA DE LA INSTALACIÓN ANTIRRAYOS

Conductor en tierra Fieje $\geq 30/35$ mm

Acero redondo $\geq \varnothing 10$ mm

Cimentación
en zanjas

Cimentación
sobre losa

Distanciador

Extremo libre del conductor de
enlace en el cuarto de acometidas

≥ 10 cm Lecho de hormigón

Protección acústica

El arquitecto, hoy día, se ve muchas veces obligado a operar en campos científicos que no pertenecen de manera inmediata a su competencia profesional y en los que nunca puede actuar con completa independencia. Uno de estos casos, y bien típico, es el del aislamiento acústico y de los problemas con él relacionados. La mayor parte de las construcciones actuales en nuestro país adolece de una insuficiente protección acústica contra los ruidos molestos; en cambio, muchas construcciones antiguas llenaban mejor los requisitos necesarios en esta materia. Esto se debe al progresivo empleo de formas más ligeras de construcción, más adecuadas cada vez a las circunstancias económicas de estos últimos tiempos. Se procura utilizar al máximo las resistencias de los materiales con objeto de reducir al mínimo el consumo de los mismos, trabajo y transportes para lograr con ello la máxima cantidad de volumen edificado. Antes de la primera guerra mundial sólo se construía con gruesas paredes de ladrillo macizo y pesados techos de vigas de madera; hoy día, en cambio, podemos construir, en general, a base de paredes delgadas y techos ligeros. Las ventajas económicas y técnicas así logradas arrastran consigo inconvenientes en materia de protección térmica y acústica, con todas sus consecuencias. A las exigencias planteadas por la protección térmica se atendió muy pronto, redactando unas bases de cálculo científicamente estudiadas y con la aplicación de valiosas materias aislantes.

Las investigaciones en el campo de protección acústica se han intensificado a partir de 1945, alcanzándose un nivel de conocimientos esenciales que permite su aplicación a los modernos sistemas a base de construcciones ligeras. Este retraso relativo se explica en parte por la dificultad intrínseca del tema, y en par-

te también a que la adopción de medidas de protección acústica no está contrapesada, como, p. ej., en el caso de la protección térmica con economías de consumo. Sin embargo, una suficiente protección acústica de todos los locales de vivienda y de trabajo se hace cada vez más indispensable, desde el punto de vista del constante aumento de los ruidos en las ciudades, si se quiere mantener en un buen nivel de la salud y la capacidad de trabajo de la población. De todas partes llegan quejas acerca de la sonoridad de nuestros edificios, que va perturbando la tranquilidad doméstica cada vez más. Sería deseable a ciertas horas y para determinados trabajos, disfrutar de silencio suficiente, pero al mismo tiempo poder moverse y actuar con libertad siempre que convenga. Es molesto que de las viviendas vecinas lleguen los ruidos de los servicios e instalaciones de agua y calefacción, los de los modernos aparatos domésticos, los de teléfonos y radio, etc., y lo es más aún si hay que llevar a cabo algún trabajo intelectual o que requiera concentración de espíritu, soportando el tecleo de máquinas de escribir o la trepidación de alguna máquina de coser. Los ruidos de esta clase causan con frecuencia mayores molestias que el ruido del tráfico y de la industria, que a causa de la necesidad de practicar ventanas en las paredes exteriores sólo puede combatirse mediante disposiciones urbanas y técnicas de las autoridades municipales o estatales.

Campo del problema

Los problemas de la protección acústica tienen por finalidad la defensa contra el ruido molesto y también, ya en un sentido más amplio, la disposición acústica de teatros y salas de asambleas. Según la manera de influir en la difusión de los sonidos, hay que distinguir:

Aislamiento sonoro:

Aislamiento contra sonidos propagados por el aire

Aislamiento del ruido de pisadas

Aislamiento contra sonidos propagados por sólidos

Absorción sonora:

Disminución de los ruidos dentro de un local. Audibilidad en locales de asambleas

Amortiguación sonora:

En tuberías y especialmente en las instalaciones de ventilación (en su mayor parte por absorción sonora)

Aislamiento de vibraciones:

En cimentaciones de maquinaria y de construcciones y en vehículos = aislamiento contra sonidos propagados por sólidos (Protección contra trepidaciones)

En los problemas del aislamiento sonoro intervienen siempre dos o más locales. El aislamiento sonoro persigue como finalidad evitar, todo lo posible que los sonidos y ruidos producidos en un punto determinado se oigan en las habitaciones vecinas. Para ello hay que atender a la calidad técnico-acústica de los elementos de obra intermedios, techos o pisos, paredes, ventanas y puertas.

El *sonido propagado por el aire* es el que llega a nuestro oído utilizando el aire atmosférico como medio de transmisión. El *sonido propagado por los sólidos* es aquel que utiliza los cuerpos sólidos para la transmisión de sus vibraciones. El aislamiento del ruido de las pisadas es, en esencia, un aislamiento de ese último tipo de sonidos. En último resultado es, sin embargo, un sonido propagado por el aire para la habitación inferior aunque los ruidos partan del techo que la cubre y allí hayan llegado por propagación a través de sólidos.

La absorción sonora se refiere únicamente a procesos sonoros dentro de un mismo local. Para la disminución del ruido, las superficies de las paredes y techos deben absorber todo lo posible las ondas sonoras y de modo completo, mientras que para lograr una buena audibilidad, y según para el objeto a que se destine el local, debe procurarse una absorción relativa de acuerdo con el diferente tono de los sonidos (frecuencia).

El aislamiento sonoro en las tuberías es esencialmente un problema de absorción sonora, en tanto que el aislamiento de las vibraciones y trepidaciones de máquinas en las cimentaciones de éstas y de las construcciones, así como en los vehículos, es,

en primer término, un aislamiento destinado a impedir su propagación por los cuerpos sólidos.

Protección acústica en el proyecto

Las medidas a adoptar para la protección acústica del edificio deben venir previstas en el proyecto, de otro modo sólo podrán llevarse a efecto (con posterioridad) en condiciones muy difíciles. Por ello, hay que procurar que, en el planeamiento, los dormitorios y en general las habitaciones destinadas a trabajos que necesitan "concentración" como aulas, salas de concierto, salas de espera, etc. — "locales tranquilos" — estén lo menos expuestos posible al ruido de las calles, garajes, trenes, industrias, etc. Las dependencias que ocasionan ruidos, como las cocinas, baños y retretes — "locales ruidosos" — no deberían estar junto a dormitorios o salas de estar de las viviendas vecinas. En las casas plurifamiliares deberían disponerse unas junto a otras —unas encima de otras— no sólo para facilitar las instalaciones, sino para minimizar la propagación de ruidos a los otros locales más tranquilos.

Habría que lograr, en la medida de lo posible, que en todas las distribuciones en planta, sólo estuvieran unas junto a otras —o encima de otras— aquellas habitaciones destinadas a funciones iguales. También debería procurarse que las partes ruidosas de las instalaciones (p. ej. conducciones de agua, desagües y gas, trituradores de basura, ascensores, etc.) no se adosaran a las paredes de las habitaciones de reposo, especialmente cuando se tratase de paredes delgadas.

Sólo deberían adosarse a los muros de separación entre viviendas cuando al otro lado se encontraran habitaciones donde tales ruidos son menos molestos (cocinas, W.C., baños, trasteros, corredores, etc.).

Hay que evitar los huecos y rebajes en los muros que separan viviendas o cajas de escalera en especial si limitan con zonas de reposo, porque una pequeña superficie de mayor permeabilidad acústica puede bastar para disminuir de forma notoria la capacidad amortiguadora de todo el muro.

Al arquitecto se le plantea, a la hora del diseño de un edificio, un gran número de problemas acústicos, de una parte de los cuales trataremos en lo que sigue. A fin de que no quede ninguna cuestión parcial sin abordar, se facilita el adjunto esquema debido a P. Schneider, en el que se han previsto todas las relaciones posibles entre los elementos del edificio y los ruidos que les llegan, transmiten o producen y que ha sido ratificado en su utilidad por numerosas experiencias prácticas.

La construcción más económica será en general aquella que satisfagan a la vez el mayor número posible de los problemas planteados.

Las leyes que rigen la propagación del sonido a través de paredes y techos son esencialmente más complicadas que las que rigen la propagación del calor. El arquitecto no puede adoptar por sí solo decisiones sobre las propiedades acústicas de los elementos constructivos y debe recurrir en todos los casos particulares a la colaboración con científicos especializados. Pero a pesar de ello, a fin de que conozca los problemas esenciales y pueda tener por lo menos una idea general de los principios que posibilitan su solución, en las páginas siguientes se antepone la exposición de las bases en que se funda la protección acústica a la de las principales medidas constructivas de protección contra el ruido.

Fundamentos de la técnica acústica

Los problemas esenciales de la protección acústica en la construcción se hallan compendiosamente en las normas:

DIN 4109, Protección acústica en la construcción.

Hoja 1. Nociones.

Hoja 2. Exigencias (mínimos de protección acústica, valoración y comprobación).

Hoja 3. Ejemplos de acondicionamiento (elementos planos de un edificio con adecuada protección acústica). Véase reproducción en hoja adjunta.

Esquema de lista de todos los elementos y partes de un edificio que por sus características, situación o funcionamiento influyen en sus cualidades acústicas

1. Planos del edificio

1.1 Disposición en planta

1.11 Localización de las fuentes de ruidos a evitar

1.12 Planta de las viviendas

1.121 Distribución en planta

- a) Ubicación de la sala de estar y los dormitorios
- b) Ídem de las cocinas y baños
- c) Dispositivos y conductos de las instalaciones
- d) Situación de las cajas de escalera
- e) Situación del ascensor
- f) Situación del triturador de basuras
- g) Situación de otras instalaciones
- h) Resto

1.122 Distribución en vertical (sección)

- a) Situación en planta baja y sótano de:
 - a") Locales comerciales
 - b") Calderas de calefacción
 - c") Espacio para bicicletas
 - d") Garaje
 - e") Instalación de bombas impulsoras
 - f") Depósitos de carbón (ruidos de palas)
 - g") Transformadores
 - h") Lavaderos
 - i") Motor, poleas, etc. del ascensor
 - j") Resto de posibles instalaciones
 - k") Varios
- b) Situación en la azotea de:
 - a") Lavaderos
 - b") Secadores
 - c") Motor del ascensor
 - d") Otras instalaciones
- c) Situación relativa en el caso de viviendas alternadas en vertical (p. ej. separación por pared continua a lo largo de media planta o viviendas de dos plantas («duplex»))

1. Consideración acústica del sistema constructivo (estructura de hormigón armado, acero, bloques de hormigón, muros de ladrillo, de bloques huecos, etc.)

2. Forjados (valoración de su respuesta al ruido de pisadas y al sonido propagado por el aire)

2.1 Cubiertas

2.2 Forjados de piso

2.3 Techos de los sótanos

2.4 Techos especiales (cocinas, baños, pasillos, distribuidores [corredores], cajas de escalera, galerías)

2.5 Posibles propagaciones indirectas

3.6 Transmisión en diagonal

3.7 Importancia de la propagación del sonido a través de sólidos en el seno de la obra (en sentido vertical y horizontal)

3.8 Transmisiones a lo largo de cañerías

3.9 Otras consideraciones

4. Construcción de muros y paredes

4.1 Muros exteriores, fachadas

4.2 Paredes de la caja de escalera

4.3 Paredes separadoras entre viviendas

4.4 Casos especiales (paredes formando el pozo del ascensor)

4.5 Paredes de los aseos, cocinas y baños

4.6 Transmisiones posibles a lo largo de estas paredes

4.7 Interrupción de una pared por pozos e instalaciones

4.8 Disminuciones de espesor por paso de cañerías empotradas, etc.

5. Escaleras

5.1 Situación en relación con las viviendas

5.2 Aislamiento contra el ruido propagado a través de sólidos

5.3 Absorción del sonido en la caja de escalera

6. Protección del sonido en las instalaciones

6.1 Cañerías de agua (caliente y fría)

6.11 Fijación en la obra (cañerías exentas)

6.12 Paso a través de techos y paredes (empotrados)

6.13 Cañerías reunidas en pozos registrables

6.14 Grifería

6.15 Desagües (sumideros)

6.16 Pozos para conducciones

6.161 Protección contra la reverberación del aire

6.162 Amortiguación de ruido en cañerías y canales

6.2 Calefacción

6.21 Fijación, anclaje de tuberías exentas

6.22 Paso de conductos por techos y paredes

6.23 Pozos para cañerías (o cañerías empotradas)

6.24 Grifería y bombas: base de propagación del sonido por el aire, transmisión de vibraciones del motor, transmisión y bombas al sistema de cañerías

6.25 Los radiadores como difusores de sonido

6.26 Si se trata de paneles radiantes, situación de los serpentines

6.27 En el caso de calefacción por estufa, colocación de la misma (ruido al alizar)

6.3 Aire acondicionado

6.31 Ventilador (canal de succión, ruido a través del aire y de los sólidos)

6.32 Canales

6.321 Amortiguación, en los canales, del ruido del ventilador

6.322 Amortiguación de los conductos en los empalmes comunes (conser-

vación del aislamiento acústico entre una y otra vivienda)

6.323 Caso de empeoramiento por interferencia forzada

6.33 Tubos de salida de vapor en los tanques de agua caliente

6.34 Ventiladores por gravedad para cocinas y baños (ruido al batir las paletas)

6.4 Ascensor

6.41 Tracción

6.42 Guías de la cabina

6.43 Puertas

6.44 Aislamiento de las habitaciones contiguas

6.45 Rellevadores de mano a distancia (reels)

6.5 Trituradores de basura

6.51 Sistema empleado (según el cual se producen más o menos ruidos)

6.52 Cierre superior

6.53 Cierre inferior

6.54 Aislamiento contra la propagación del ruido a través de sólidos en el ascensor (ruido de resonancia o rebote)

6.55 Aislamiento a la transmisión de ruidos de las cañerías a los pavimentos

6.56 Impedir la resonancia del canal o pozo

6.57 Aislamiento del espacio entre la superficie del conducto y el muro

6.58 Válvulas y aberturas

6.59 Otros componentes

6.6 Otras instalaciones

6.61 Bombas

6.611 Central calefactora a distancia (calderas)

6.612 Instrumentos reguladores de la presión (manómetros manorreductores)

6.613 Cimentación exenta (flotante o «móvil») para las máquinas

6.614 Transmisión al conjunto de conducciones y grifería

6.615 Paso a través de paredes

6.62 Lavaderos

6.621 Máquinas de lavar

6.622 Centrífugadora (o lavadora automática)

6.623 Calandria para escurrir la ropa

a) Cimentación exenta (flotante o «móvil») para las máquinas

b) Acometida de agua

c) Ruido de agua (caso de funcionamiento con chorro distinto del vertical, normal)

6.63 Pozos para conducciones (véase punto 6.3)

6.64 Aparatos de la calefacción central (horno, calderas, correa)

6.65 Garaje

6.66 Otros recintos ruidosos del sótano (p. ej. el lugar de las bicicletas y velomotores)

6.67 Varios

Hoja 4. Pavimentos flotantes (método para su ejecución).

Hoja 5. Indicaciones.

Pueden hallarse numerosas normas DIN que describen las propiedades de los materiales a emplear así como ensayos y mediciones realizados con ellos, pero para ello hay que consultar cada vez las correspondientes relaciones o compilaciones de ensayos DIN.

Conceptos fundamentales

Sonido: Es el efecto producido por la vibración mecánica de una partícula o la propagación de un movimiento ondulatorio en el seno de un medio elástico. Puede propagarse a través del aire o a través de los sólidos.

El ruido de pisadas se produce al caminar o por sacudidas semejantes (periódicas) que comunican al techo una excitación vibratoria que luego se transmite como ondas de sólidos a través de la estructura, o se propaga al aire.

La propagación del sonido se produce por un movimiento ondulatorio, mediante el cual toda partícula afectada oscila alrededor de su posición de reposo. Al tropezar con las partículas inmediatas las desplazan, empezando a oscilar. El sonido no comporta pues una traslación de materia sino meramente una comunicación de movimiento oscilatorio entre sus partículas, ya sea en forma de

Ondas longitudinales y ondas transversales: En las primeras las partículas afectadas oscilan en la misma dirección en que se propaga la onda, dando lugar a series periódicas de espesamientos y enrarecimientos. Por ello en los gases fluidos en general, se habla también de "ondas de presión". Menos importancia tie-

nen las ondas longitudinales propagándose a través de los sólidos, ya que aparecen tan sólo en forma de "brazo o chorro" de las llamadas "ondas dilatadas" de suerte que no pueden causar perturbaciones vibratorias en porciones importantes de las superficies, que es lo que provoca una fuerte irradiación sonora. En contraposición a los gases y fluidos, los sólidos (cuyas partículas se hallan unidas por la cohesión) permiten la traslación, por arrastre, de empujes producidos transversalmente, y de hecho es así como principalmente se propaga el sonido en ellos, o sea, oscilando las partículas perpendicularmente respecto a la dirección de propagación. Por ello estas ondas transversales las denominaremos indistintamente con este nombre o con el de "ondas de sólidos".

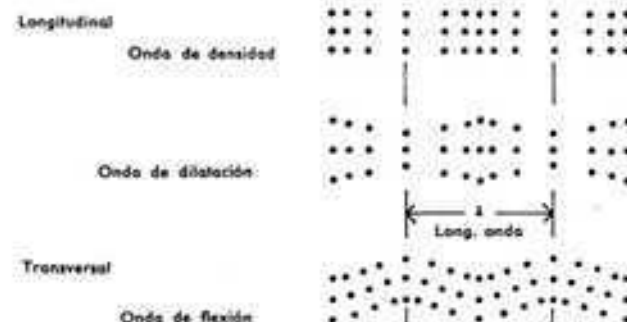
Entre éstas destaca por su importancia en la lucha contra el ruido, la onda flexora (o "de flexión"), ya que son las que se forman en los pilares y plataformas del edificio, pudiendo ser causa de consiguiente irradiación sonora.

El número de veces por segundo que las partículas sometidas a un movimiento ondulatorio realizan un recorrido completo volviendo a su posición de origen se llama *frecuencia* f cuya unidad es el hertz (Hz) = 1 vibración completa por segundo. Esta magnitud caracteriza el *tono* o altura de un sonido, llamándose *octava* al intervalo en que el tono aumenta hasta hacerse *doble* el número de vibraciones respecto a la frecuencia de partida. La magnitud del desplazamiento de la partícula que inicia el movimiento oscilatorio, respecto al punto de reposo, se llama *amplitud*.

La *potencia sonora* $J = p^2/\rho c$ es la energía sonora que pasa cada segundo a través de 1 cm² de superficie de onda en progresiva expansión.

Esta magnitud depende de c = velocidad del sonido en el medio ρ = densidad del medio (aire) p = presión de la zona comprimida en la propagación de las vibraciones longitudinales. Se mide en dinas/cm² = 1 microbar (μ bar). Esta presión se superpone a la presión estática (p_0), la atmosférica, en el caso del aire). A través del tono y la presión se caracteriza una onda sonora.

TIPOS DE ONDAS



La *velocidad* con que se propaga la onda sonora es para los gases y fluidos independiente del tono y se fija para una densidad y compresibilidad determinadas del medio.

La velocidad de expansión en las ondas de flexión depende de la altura del tono y también de la rigidez, en proporción con la masa, del cuerpo vibrante. Por ello dependerá asimismo de la relación entre las dimensiones y del material del elemento constructivo afectado.

$$\text{Longitud de onda } \lambda = \frac{\text{velocidad de propagación } c}{\text{frecuencia}}$$

se denomina así la distancia lineal entre dos puntos que se encuentran en el mismo estado (o fase) de vibración. Disminuye con el aumento de la frecuencia como puede verse en la comparación entre ondas propagadas por el aire y ondas de flexión atravesando una pared de yeso de 6 cm de espesor.

La longitud de onda reviste gran importancia a la hora del acondicionamiento acústico porque:

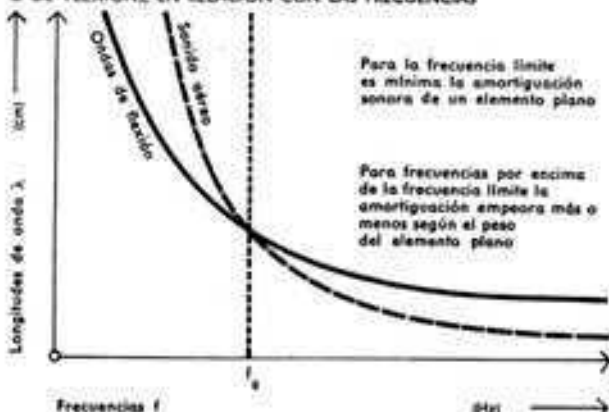
- 1) Una onda transversal (elástica o de flexión) sólo atraviesa aquellos elementos planos —o pilares— cuyo espesor es menor que su longitud de onda.

- 2) Sólo tiene lugar la radiación sonora cuando la longitud de la onda elástica que hace vibrar al elemento constructivo es mayor que la longitud de onda libre en el medio que le rodea (aire). Para la frecuencia llamada básica, o de resonancia f_0 , coinciden ambas longitudes de onda (por ejemplo a los 500 Hz).

Frecuencia f	Ondas propagadas por el aire		Ondas de flexión en placas de yeso de 6 cm	
	Long. de onda λ	Velocidad de propagación c	Long. de onda λ	Velocidad de propagación c
Hz	m	m/seg.	m	m/seg.
50	6,8	340	2,1	105
100	3,4	340	1,5	150
500	0,68	340	0,68	340
1000	0,34	340	0,48	480
5000	0,068	340	0,21	1050

Tono es pues sonido con una sola o predominante frecuencia. Los tonos "puros" o simples son raros. Suenan con falta de color (pobres en matices). El silbido es un ejemplo de tono casi puro. *Timbre* es la cualidad del sonido normal en el que las varias frecuencias componentes son múltiplos simples de otra, llamada "básica" que es la que marca el tono identificador. Éstos llamados "armónicos" determinan según la energía a cada uno de ellos adjudicado el "color" o "timbre" de un instrumento.

COMPARACION DE LAS DISTINTAS LONGITUDES DE ONDA PARA EL SONIDO AEREO (ONDAS LONGITUDINALES O DE PRESIÓN) Y EL SONIDO A TRAVES DE SÓLIDOS (ONDAS TRANSVERSALES O DE FLEXIÓN), EN RELACION CON LAS FRECUENCIAS



Ruido es el sonido compuesto por fracciones de tono que no guardan entre sí relaciones sencillas, de números enteros (no son "armónicos") o bien impulsos sonoros o series de impulsos con una frecuencia rítmica inferior a los 16 Hz (por ejemplo: martillazos). El oído humano sólo puede percibir los sonidos comprendidos entre 16 y 20.000 Hz de frecuencia y desde una presión sonora $P_0 = 0,0002 \mu$ bar en el umbral de percepción hasta 1000 μ bar = curva del dolor.

Umbral audible $P_0 = 0,0002 \mu$ bar,

Límite de sensación o umbral doloroso $p \approx 1000 \mu$ bar

El oído humano percibe en sonido como de intensidad doble de otro cuando su potencia sonora se multiplica por diez. En la práctica de la protección acústica la potencia sonora se expresa por el

$$\text{Nivel sonoro } L = 10 \log J/J_0 = 20 \log P/P_0 \text{ [dB]}$$

(la unidad, el *decibel* [dB], se adaptó en recuerdo del inventor norteamericano Bell). El nivel sonoro en la mayor parte de los casos se suele referir a la presión sonora del umbral audible $P_0 = 0,0002 \mu$ bar y expresa el número de dB en que una determinada potencia sonora, con una presión sonora p , sobrepasa el valor correspondiente al umbral audible. Cuando no se trata de

un sonido aislado, sino de un ruido de espectro acústico continuo, se analiza eléctricamente el nivel sonoro para un determinado intervalo de frecuencias, p. ej. para una octava, y entonces se expresa en dB por octava.

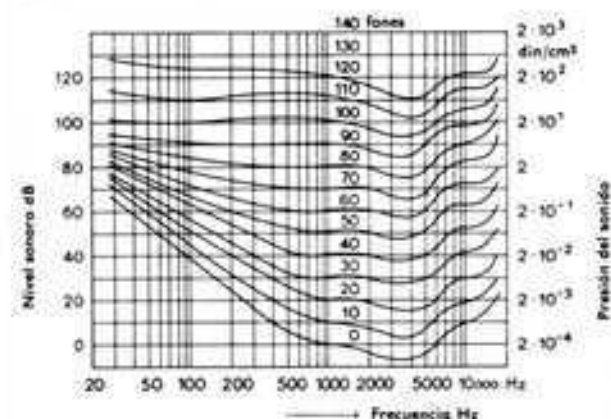
Grado de sonoridad o nivel de intensidad subjetiva = Mide la sensación sonora; su unidad es el fon. La escala de los grados de sonoridad es logarítmica; se suele tomar como tono de referencia el de 1000 Hz o ciclos/seg. haciendo que para esa frecuencia coincidan sus valores con los del nivel sonoro L (en dB).

Grados de sonoridad de ruidos característicos:

130 fones	Límite superior audible; sensación dolorosa
120 fones	Hélice de avión, a unos 5 m de distancia
110 fones	Calderería
100 fones	Martillo de aire comprimido, en una obra
90 fones	Bocina de automóvil a 7 m de distancia
80 fones	Tránsito urbano intenso, música radiada con gran volumen
70 fones	Máquina de escribir buena, restaurantes y hospederías, conversaciones
60 fones	Aspirador de polvo, tránsito urbano medio
50 fones	Establecimiento comercial, hoteles tranquilos
40 fones	Calles de viviendas con poco tránsito
30 fones	Vivienda tranquila, tic-tac del reloj
20 fones	Ligero susurro del follaje en bosque tranquilo
0 fones	Límite de audibilidad

Las curvas de igual grado de sonoridad o intensidad subjetiva están tomadas por observadores de audición normal mediante comparación del sonido de referencia (de 1000 Hz) con sonidos de distintas frecuencias después de igualar sus grados de sonoridad.

CURVAS DE IGUAL INTENSIDAD DE SONIDO



Para los tonos más altos y sobre todo para los más graves, se requieren intensidades de estímulo (presiones sonoras) mucho mayores para lograr iguales grados de sonoridad en la sensación auditiva.

Las curvas son únicamente válidas para la comparación de sonidos puros. El cálculo de los grados de sonoridad de sonidos compuestos y ruidos y el cálculo del grado de sonoridad de los ruidos que se componen de una suma de tonos armónicos y no armónicos (espectro) sólo puede hacerse, en rigor, por comparación con el tono de 1000 Hz.

La sonoridad según normas DIN, se ha medido con el aparato DIN 5045 y se expresa en fons-DIN. Obsérvese que las bajas frecuencias necesitan mayor energía sonora para producir el mismo efecto que las altas. En la práctica del cálculo acústico se hace siempre referencia a la escala de Fons, porque en ella se hallan implícitas las peculiaridades del oído incorporadas a los instrumentos de medida.

Sonoridad o intensidad subjetiva: Magnitud de la percepción sonora. La unidad, el "sonido", equivale a la percepción de 40 fons. Los sonidos que parecen de doble o mitad de intensidad tendrán un grado de sonoridad multiplicado por 2 o por 1/2 respectivamente en las sonoridades medias. Entre 40 y 100 fons, se consigue duplicar o reducir a la mitad la sonoridad percibida añadiendo o quitando 10 fons.

Se puede dar la disminución del ruido, según la escala de fons, en %. Como norma, sin embargo, se suele precisar los datos en fons (nivel sonoro ponderado) o en dB (nivel sonoro sin ponderar).

Amortiguación de sonidos propagados por el aire

La diferencia entre el nivel sonoro L_1 de una habitación donde se producen los sonidos (recinto emisor) y el L_2 de otra habitación vecina, ocasionado por aquellos mismos sonidos (recinto receptor) se designan con el nombre de desnivel sonoro

$$D = L_1 - L_2 \text{ [en dB]}$$

Esta diferencia no equivale a la amortiguación acústica exacta de la pared de separación, dado que el nivel sonoro de un local receptor depende esencialmente de la capacidad de absorción de sus paredes, suelo y techo, así como de su decoración. Para contabilizar adecuadamente todos estos factores, hay que recurrir a una superficie "A" o "superficie equivalente" (véase pág. 94), que se compara con otra o "superficie equivalente de referencia A_0 de 10 m²; con ello se obtiene

El desnivel sonoro teórico

$$D_n = D + 10 \log \frac{A_0}{A} = L_1 - L_2 + 10 \log \frac{A_0}{A} \text{ [en dB]}$$

a través del cual se conoce la impedancia o pérdida acústica entre ambas habitaciones. La medida del poder amortiguante de la pared de separación debe referirse a las mismas superficies. Para la protección acústica de una pared se considera

El coeficiente de amortiguación

$$R = D + 10 \log \frac{F}{A} = L_1 - L_2 + 10 \log \frac{F}{A} \text{ [en dB]}$$

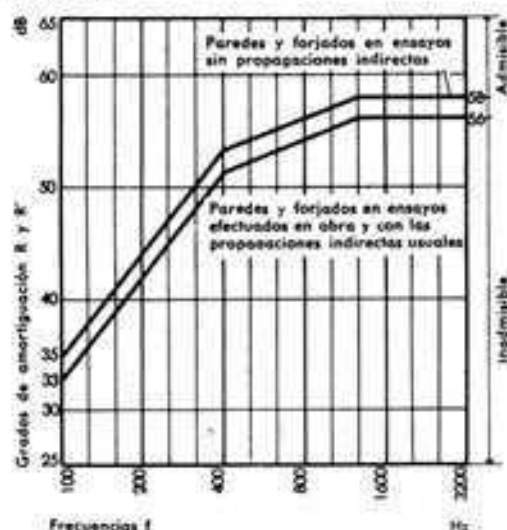
que resulta de aplicar un término corrector al desnivel sonoro. Dicho término establece una relación entre la superficie F de la pared y la superficie A de absorción equivalente del local receptor. El término corrector toma valores negativos cuando la superficie equivalente de absorción del local receptor es mayor que la superficie de la pared separadora. Esto se da, preferentemente, en habitaciones bien acondicionadas a tal efecto.

En un edificio no sólo se transmite el sonido a través de la pared entre dos habitaciones, sino también por caminos laterales a lo largo de los elementos planos (suelos, techos y paredes) contiguos y, eventualmente, por huecos o rendijas existentes en ellos. Por ello la amortiguación del sonido aéreo que se logra en condiciones normales, que incluyen todos aquellos factores, se designa por

El coeficiente R'

que se distingue del R sencillo, reservado para la amortiguación que ofrece un techo o pared, por sí mismo y con ausencia de propagaciones indirectas.

CURVAS PRESCRITAS PARA EL GRADO DE AMORTIGUACIÓN DEL SONIDO AÉREO



Estos coeficientes, como las diferencias de nivel sonoro de los que se deducen, corresponden a cada una de las frecuencias de la gama de ensayo, por ello sólo pueden representarse mediante curvas, con dichas frecuencias (entre 100 y 3200 Hz) figurando en abscisas a escala logarítmica.

Anteriormente se tomaba el promedio de las ordenadas de dicha curva como valor-medio definitorio de la amortiguación lograda por el elemento plano. Pero se echó de ver que, por ejemplo, dos paredes con idéntico valor-medio daban lugar a impresiones subjetivas muy distintas, debido a que, para el oído humano no puede compensarse una débil amortiguación de ciertas frecuencias (por ejemplo, alrededor de 500 Hz) con una gran amortiguación que anule prácticamente otra gama (por ejemplo alrededor de los 2000 Hz). Este valor-medio carece, pues, de utilidad real. Para solucionar esta falta, sin perder la ventaja de tener condensada en un solo dato toda la idea global del comportamiento acústico de un elemento plano en la obra, la norma DIN 4109 da un sistema gráfico que, basándose en las curvas de amortiguaciones-frecuencias, permite determinar una cantidad o "grado", expresivo de la amortiguación del sonido aéreo que ofrece el elemento plano incorporando las diferentes sensibilidades que presenta el oído humano según las frecuencias.

Esta cantidad, que se da en decibels, se llama:

Grado de protección contra el sonido aéreo

La determinación de este grado se basa en las llamadas "curvas de régimen" que establecen los valores de los coeficientes R y R' mínimos, según la norma DIN 4109, para cada frecuencia entre 100 y 3200 Hz.

Estas curvas presentan unos valores de R y R' crecientes hacia las frecuencias altas, tal como corresponde al aumento de sensibilidad (para intensidades escasas) del oído humano. Estas curvas tienen en cuenta, no sólo las diferencias de sensibilidad antes citadas, sino las intensidades más comunes en los sonidos o ruidos típicos de las viviendas y la gama de frecuencias que suelen presentar más y con mayor intensidad. Mirado tanto desde un punto de vista estadístico como económico, el campo de frecuencias más interesante es entre 200 y 1000 Hz. Una mejora adicional de la amortiguación del sonido aéreo debería concentrarse en este campo.

Fijadas las curvas de régimen una vez por todas, el grado de protección contra el sonido aéreo se obtiene al comparar con ellas las curvas, obtenidas por medición, de los coeficientes R y R' que proporciona un techo o pared. Si la desviación que la curva de ensayo presenta respecto a la de régimen no sobrepasa en promedio 2 dB se considera que dicho techo o pared presenta un grado de protección contra el sonido aéreo $= + 0$, tolerable o mínimo. Cuando la desviación es mayor hace falta desplazar la curva de régimen paralelamente a sí misma hasta que se reduz-

ca dicha desviación a los 2 dB, en promedio. Entonces, el número de dB que ha tenido que desplazarse da el grado de protección contra el sonido aéreo. El signo dependerá de que el desplazamiento haya sido hacia abajo (valores inferiores de amortiguación) o hacia arriba (valores de mejor amortiguación).

Hay que tener en cuenta que en el cálculo del promedio de desviación, todos los valores "buenos" que ya quedan por encima de la curva de régimen, no se contabilizan, sino que se consideran como situados en ella. Las desviaciones negativas extremas (para 100 Hz y 3200 Hz) se toman con valor mitad y las intermedias se suman y se dividen por $(n - 1)$ siendo n el número de medidas efectuadas (que corresponden cada una a una frecuencia distinta). En general, un techo o pared sin acondicionamiento alguno presentará valores R y R' que quedarán por debajo de las curvas de régimen, y por lo tanto su grado de protección contra el sonido aéreo o GPSA será negativo, con un valor absoluto del número de dB. El acondicionamiento se escogerá en vistas a alcanzar el GPSA $= 0$ o, si es posible, un GPSA positivo.

Paredes y techos de una capa

Pueden construirse de:

- Un solo material (p. e. hormigón o ladrillo).
- Varias hojas de distintos materiales de semejantes propiedades mecánicas, íntimamente unidos entre sí (por ejemplo pared de fábrica de ladrillo con su revoque).
- Los materiales citados en a) y b) pero con espacios huecos (p. ej. ladrillos o bloques huecos).

La pared de una capa no necesita pues ser homogénea; en todo caso puede vibrar la misma pared estimulada por frecuencias bajas, como membrana única y en el caso de frecuencias altas, como membrana múltiple.

La amortiguación acústica de un elemento constructivo (pared o techo) de una sola capa depende de su peso por unidad de superficie. Asimismo está en función de la rigidez a la flexión del elemento que sirve para la determinación del mínimo de amortiguación en la frecuencia límite.

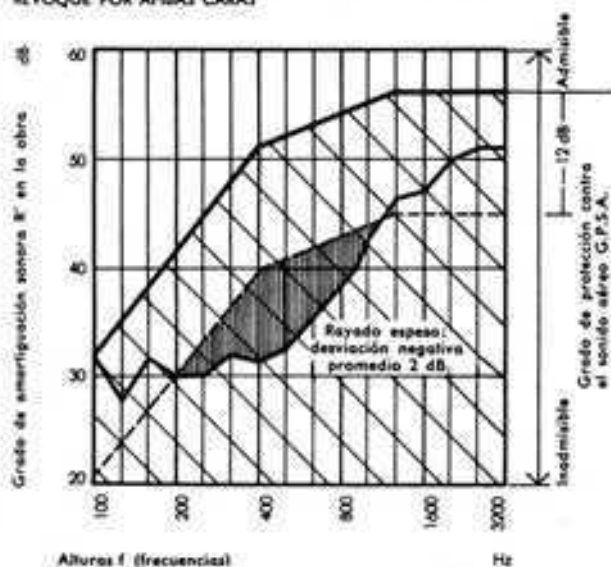
Peso por unidad de superficie

Las paredes y techos de una capa amortiguan tanto mejor el sonido cuanto más pesadas son. En el caso extremo de paredes muy delgadas y sometidas a frecuencias muy bajas, se obtiene un aumento del coeficiente de amortiguación de 6 dB al doblar dicho peso unitario.

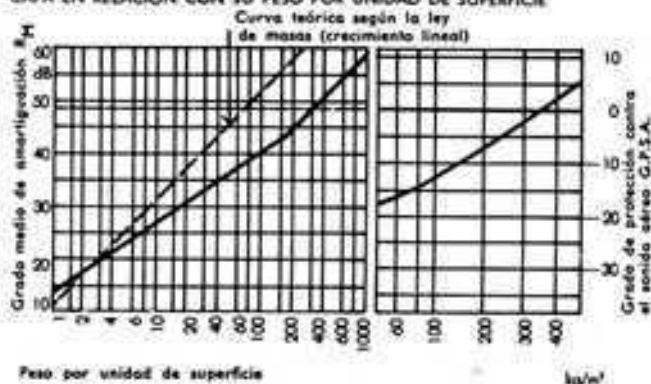
Aquí aparecen las limitaciones de la protección acústica en el caso de paredes simples. Una pared con un peso por unidad de superficie de 150 kg/m² tiene un coeficiente de amortiguación de 40 dB. Duplicando dicho peso se eleva tan sólo a 46 dB. Como veremos más adelante puede conseguirse el mismo efecto con revestimientos de placas mucho más ligeras. La influencia del peso en el coeficiente de amortiguación medio se observa en la figura adjunta. La relación entre el grado de protección acústica y el peso del elemento aparece en el diagrama contiguo.

Los huecos grandes (p. ej. en forjados de techo en techos de bovedillas prefabricadas) ocasionan una disminución del coeficiente de amortiguación que correspondería a techos o paredes macizos del mismo espesor. Esto debe tenerse en cuenta para

AMORTIGUACIÓN DEL SONIDO AÉREO EN UNA PARED DE HORMIGÓN CELULAR DE 100 kg/m³, 10 cm DE ESPESOR, REVOQUE POR AMBAS CARAS

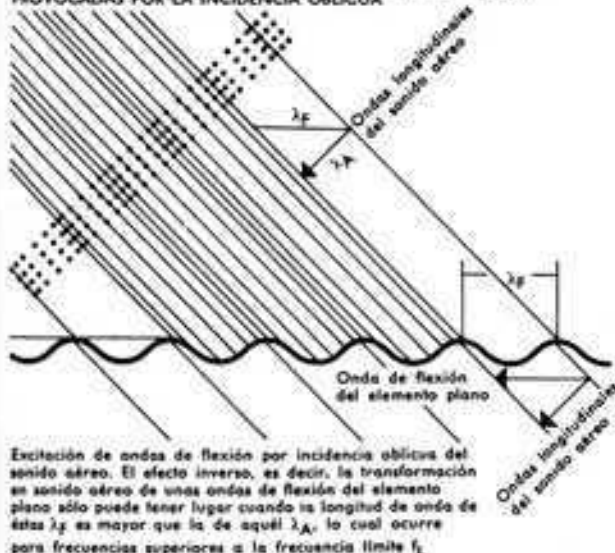


AMORTIGUACIÓN SONORA EN UN ELEMENTO PLANO DE UNA SOLA CAPA EN RELACIÓN CON SU PESO POR UNIDAD DE SUPERFICIE



las construcciones que no han utilizado la norma DIN 4109, hoja 3. El revoco mejora relativamente las condiciones acústicas de los techos o paredes hechos con materiales no porosos sólo en proporción con un escaso peso. En las paredes de material muy poroso (p. ej. de hormigón con árido único o unigranular) la mejora es, en cambio, notable porque el revoco cierra los conductos que van de una cámara a otra. Por ello se hace necesario un revoco espeso en dicha clase de paredes.

EFFECTO DE ACOMODACIÓN O RELACIÓN ENTRE LAS LONGITUDES DE ONDA DEL SONIDO AÉREO Y LAS DE ONDAS DE FLEXIÓN PROVOCADAS POR LA INCIDENCIA OBLICUA



Rigidez a la flexión

La influencia de la rigidez en la amortiguación acústica para todos los ángulos de incidencia se observa ya en la figura antes citada.

La considerable desviación por defecto que se observa en las altas frecuencias entre la curva experimental y la curva A prescrita, teórica, se explica como efecto de la rigidez del material. Se produce el "efecto de acomodación": ondas longitudinales incidiendo oblicuamente originan ondas sinusoidales (de flexión) en la pared, cuyas longitudes de onda son función del ángulo de incidencia.

Frecuencia límite

La frecuencia, a partir de la cual se verifica la disminución de amortiguación acústica por el efecto que se conoce con el nombre "acomodación" (al entrar en resonancia la onda incidente con la de flexión) es la frecuencia límite. La frecuencia límite de una pared de un peso dado resulta de una razón entre la masa y la rigidez. Para placas de estructura uniforme su valor es, aproximadamente:

$$f_L = \frac{20000}{d} \cdot \sqrt{\frac{\rho}{E_{dyn}}} \text{ Hz. Donde}$$

E_{dyn} = módulo de elasticidad dinámico del material

d = espesor de la placa en cm

ρ = densidad del material (peso específico) en kg/m³

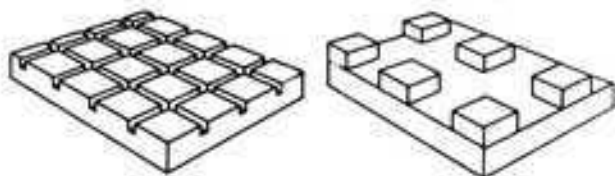
Por encima de la frecuencia límite, la amortiguación acústica del material disminuye, desviándose de la proporcionalidad con la masa. Por otra parte las vibraciones elásticas (o de flexión) libres del elemento plano producidas por excitaciones superiores a la frecuencia límite, producen mayores radiaciones sonoras. El máximo se alcanza cuando la masa es importante y la rigidez mínima. Esta proporción puede variarse ya sea cambiando la masa y permaneciendo constante la rigidez, ya sea al contrario, cambiando la rigidez y dejando la masa igual.

En paredes en que la rigidez contra la flexión es pequeña y la masa del material es grande el aislamiento básico y la frecuencia límite son bastante elevados. Como el aislamiento aumenta al

elevarse la frecuencia, una solución de continuidad en la curva del aislamiento por encima de los 1500 Hz ya no tiene importancia.

En cambio, en el caso de tabiques (1/4 de asta) o paredes delgadas (media asta), de ladrillo o de hormigón de pómez y yeso, en que la frecuencia límite viene a caer de lleno en el campo audible (de 200 a 400 ciclos/seg), se producen pérdidas sensibles. Mediante el empleo de paneles "emparedados" compuestos por dos placas (metálicas o de fibra de material plástico dura) separadas por una capa prensada de material muy aislante, pueden conseguirse tabiques que presenten suficiente rigidez estática, pero cuyas propiedades dinámicas sean semejantes a las de una masa deformable. Una pared de este tipo ofrece, con un peso por unidad de superficie relativamente bajo, una amortiguación acústica que cumple aproximadamente la curva prescrita. Se consiguen resultados parecidos empleando paneles todavía más delgados, compuestos por dos placas preferentemente de acero, adheridas fuertemente a una hoja de fibra plástica de gran coeficiente interno de amortiguación.

MODIFICACIÓN DE LA RIGIDEZ DE UNA PLACA MEDIANTE INCISIONES RETICULARES O SUPERPONIENDO MASAS



Paredes y techos de dos capas

Las paredes y techos compuestos por dos capas que no están trabadas entre sí sino separadas por una cámara de aire o un relleno de material aislante permiten mejor amortiguación del sonido aéreo con menor peso que las de una sola capa. El aislamiento en este tipo de elementos planos depende de: la frecuencia de resonancia, la rigidez de las capas y, en no poca medida, del cuidado puesto en la ejecución.

Frecuencia de resonancia

Se denomina "frecuencia propia" aquella en que ambas placas, por compresión simultánea del medio interpuesto (cámara de aire o material aislante), que actúa como muelle, vibran en sentido contrario con la máxima amplitud. En su determinación intervienen:

$$f_0 = 500 \cdot \sqrt{s' \left(\frac{1}{g_1} + \frac{1}{g_2} \right)} \text{ Hz. } g_1 \text{ y } g_2 \text{ kg/m}^2 \text{ s' en kg/cm}^2$$

el peso por unidad de superficie y la rigidez dinámica del material interpuesto. Esta última magnitud revela la capacidad de actuar como muelle inherente a dicho material. La cantidad con que se designa (s'), procede de la siguiente relación con su módulo de elasticidad dinámico E_{dyn} y su espesor a :

$$s' = \frac{E_{dyn}}{a} \text{ kg/cm}^2$$

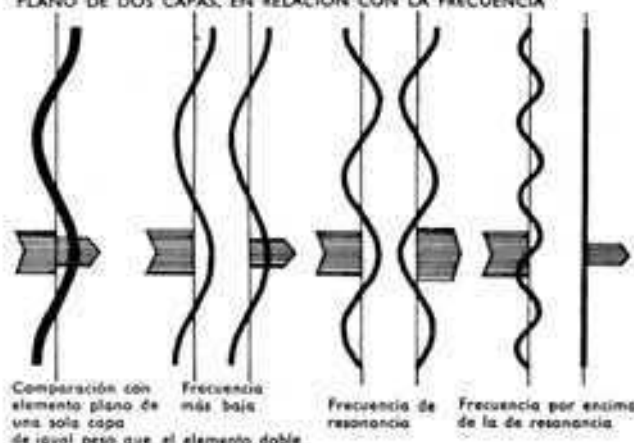
El aislamiento acústico de los techos y paredes dobles tan sólo supera al de los macizos para las frecuencias superiores a la de resonancia f_0 . La hoja aprisionada entre las dos láminas exteriores forma con ellas un conjunto susceptible de vibrar con una frecuencia determinada: la propia. Esta posibilidad disminuye cuanto más importantes son las masas y mayor es la separación entre capas.

Para tener garantías contra un empeoramiento de la amortiguación dentro de las frecuencias típicas de uso, la frecuencia de resonancia debe ser inferior a 100 Hz.

Rigidez a la flexión

En los elementos planos con dos capas de igual rigidez puede ocurrir, aunque se cumplan las condiciones prescritas, que el amortiguamiento resulte por debajo de los valores esperados, porque ante una incidencia oblicua y frecuencias intermedias, se

ESQUEMA DE LOS DISTINTOS ESTADOS VIBRATORIOS Y AMORTIGUACIÓN SONORA EN UN ELEMENTO PLANO DE DOS CAPAS, EN RELACIÓN CON LA FRECUENCIA



EL EFECTO DE RESONANCIA DISMINUYE LA AMORTIGUACIÓN SONORA EN LOS ELEMENTOS PLANOS DE DOS CAPAS. POR ELLO CONVIENE QUE DICHA FRECUENCIA DE RESONANCIA SEA MÁS BAJA DE 100 Hz; SU DETERMINACIÓN, SEGÚN LA NORMA DIN 4109, SE EFECTÚA COMO SIGUE:

	Pared doble con capas de igual peso	Capa ligera aneja a pared gruesa
Repleno de la cámara intermedia, suelta		
Cámara de aire con adición de material absorbente parcialmente unido a una de las capas *)	$f_0 = \frac{80}{\sqrt{g}}$	$f_0 = \frac{80}{\sqrt{g}}$
Lámina aislante unida en toda su superficie a las dos capas exteriores	$f_0 = 700 \sqrt{\frac{t}{g}}$	$f_0 = 300 \sqrt{\frac{t}{g}}$

Donde significan: f_0 : Frecuencia propia en Hz

g : Peso de la capa ligera en kg/m^2

t : Distancia entre caras en cm

t' : Rigidez dinámica de la capa aislante en kg/cm^2

*) Es condición indispensable en este caso que la trabazón estructural del material de relleno sea mínima para que carezca de rigidez, o bien que el material no esté unido en toda la superficie con ambas capas exteriores o a la vez.

anulan las ventajas de la inercia y la rigidez por efecto de acomodación al igual que ocurre con la frecuencia de resonancia. Este empeoramiento se observa, en especial, por encima de la frecuencia límite.

La frecuencia límite de una de las capas, por lo menos, debería estar en lo posible fuera de la gama ordinaria, ya sea más alta (por encima de los 2000 Hz) o más baja (por debajo de 200 Hz). Esto se consigue dando a las capas suficiente rigidez, o al contrario, una adecuada plasticidad.

Esta última condición la cumplen:

- Los tableros aglomerados de madera en viruta revocados por un lado con mortero de cal, yeso o mixto.
- Las placas de yeso con espesor máximo de 20 mm.
- Los paneles de mortero aplicado al chorro sobre tela metálica o entramado tubular.
- Las placas de fibrocemento, con un máximo de 10 mm de espesor.
- Las planchas con incisiones reticulares, que influyen poco en cuanto a pérdida de peso, pero rebajan su rigidez.

Una rigidez suficiente la brindan los materiales comunes en construcción, siempre que su espesor supere los 10 cm y su peso los 150 kg/m^2 .

Una plasticidad inadecuada se encuentra, por ejemplo, en las paredes dobles de:

- Placas de hormigón o estuco de 50 a 80 mm de espesor (véase hoja 3, párrafo 1.3.3).
- Paneles de hormigón macizo de 20 a 50 mm.

Normalmente, las placas absorbentes (paneles acústicos) pegados o atornillados directamente a una pared o techo no mejoran la amortiguación acústica de éstos. Las placas pegadas en toda

su superficie u hormigonadas y luego revocadas, ya se trate de tableros aglomerados, placas de cañizo o paneles de espuma sólida, más bien rebajan la rigidez dinámica s' y empeoran las cualidades acústicas de los techos y paredes de una capa. Estas placas forman con el revoco un sistema vibratorio cuya frecuencia propia f_0 está situada plenamente en el campo ordinario, entre 200 y 2000 Hz. En las proximidades de su frecuencia propia este sistema aminora las cualidades acústicas del elemento plano al originar una resonancia.

Puentes sonoros

La amortiguación sonora de una pared o techo de dos capas viene afectada por la existencia de enlaces rígidos entre ambas capas, por ejemplo, capas de mortero compartidas, bloques o ladrillos de través, conductos que atraviesan, etc. Sólo carecen de importancia estos enlaces cuando una de las capas es menos rígida y la distancia mínima entre ellos es superior o igual a 500 mm.

En las paredes de varias capas subsiste una ligazón común a lo largo de los bordes y es a través de ellos por donde se transmite el sonido. Sobre todo en las paredes dobles de capas rígidas. Por ello es recomendable, p.ej., en las paredes medianeras de las casas alineadas, que al construir la segunda pared de medio ladrillo de anchura se deje, a lo largo y a lo ancho de su dimensión, una rendija que intercepte la propagación lateral ocasionada por las paredes y techos contiguos.

Aislamiento contra el ruido de pisadas

Los ruidos corrientes en el uso de una vivienda como pisadas, arrastre de sillas, caída de objetos, ruidos de máquinas de coser o escribir, etc., excitan la vibración de los techos, los cuales propagan al local inferior radiaciones sonoras.

El aislamiento contra el ruido de pisadas se mide, según DIN 52210, por medio de un aparato que consta de cinco martillos de acero de 500 g cada uno. A una velocidad de diez veces por segundo se dejan caer sobre el piso desde una altura de 4 cm. En el local situado debajo del forjado objeto de ensayo, se tiene un instrumento que mide los valores absolutos de ruidos, según las diferentes octavas (el instrumento lleva los correspondientes filtros de octavas).

A partir de los valores medidos L se calculan los

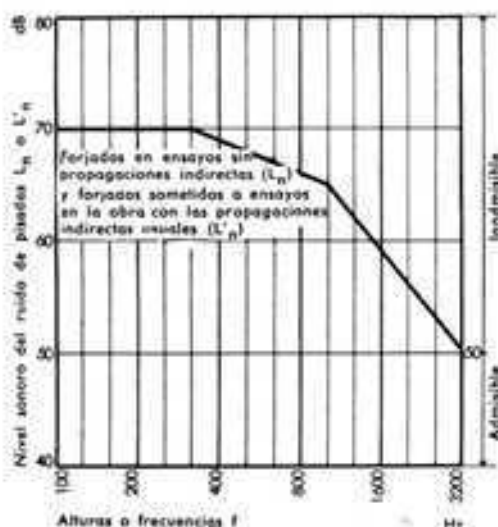
Valores normalizados

para las diferentes octavas (100-3200 Hz)

$$L_n = L - 10 \log \frac{A_0}{A} \text{ [dB]}$$

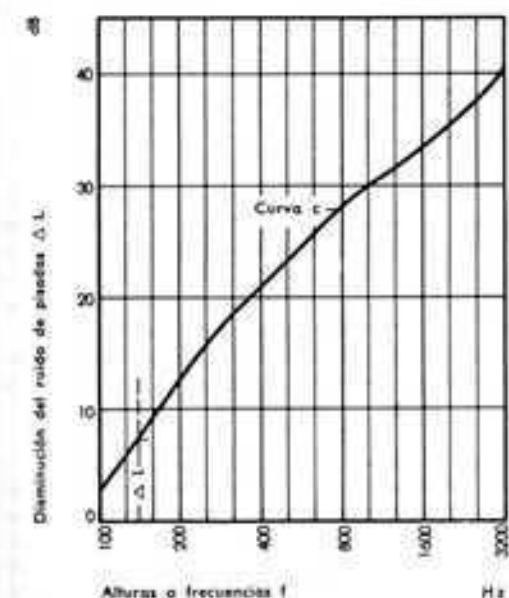
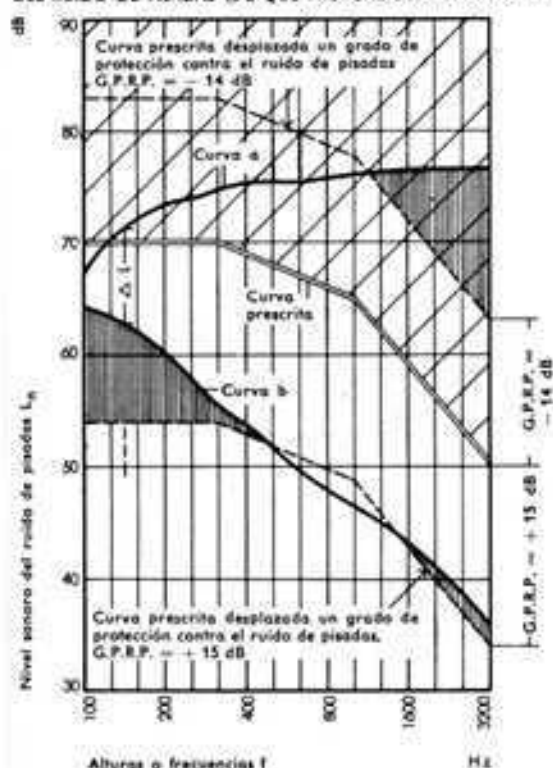
$A_0 = 10 \text{ m}^2$ es la superficie de absorción equivalente en el local inferior, a la que se refieren los resultados obtenidos. A , es la superficie equivalente de absorción del local situado debajo del forjado ensayado, el valor que se aplica para el cálculo del tiempo de reverberación por la fórmula de Sabine.

CURVA PRESCRITA PARA EL NIVEL MÁXIMO DE RUIDO DE PISADAS



Si se tienen en cuenta las propagaciones indirectas, como es de rigor en los ensayos para viviendas, el resultado se designa por L_{n0} . Actualmente las normas no apuntan a la definición de una intensidad admisible para la protección de un techo frente al ruido de pisadas sino que se ofrecen curvas limitativas del nivel de ruido admisible para distintas frecuencias que llamaremos "curvas prescritas".

Ejem. de determinación de la disminución del ruido de pisadas ΔL que proporciona un revestimiento



Curva a:
Valores medidos en ensayo del nivel sonoro del ruido de pisadas (L_{n0}) en un forjado sin recubrir (forjado de placas macizas de hormigón de 12,5 cm de espesor con revoque en su cara inferior).
Grado de protección contra el ruido de pisadas = -14 dB.

Curva b:
Valores medidos en ensayo del nivel sonoro del ruido de pisadas (L_{n1}) después de extender sobre el forjado un pavimento flotante (cemento, 4 cm sobre capa de fieltro aislante 20/15 mm).
Grado de protección contra el ruido de pisadas = +15 dB.

Curva c:
Disminución del ruido de pisadas ΔL marcada a la aplicación del pavimento (pavimento flotante) $\Delta L = \Delta L_{n0} - \Delta L_{n1}$

vas prescritas". Los techos de viviendas ejecutadas según normas deben mantener dicho nivel por debajo de los 70 dB, para bajas frecuencias y por debajo de los 50 dB, para las altas, ya que estas últimas son las que el oído percibe con mayor intensidad y durante más largo rato. Se toleran eventuales desviaciones por exceso (es decir, por "demasiado" nivel de ruido) respecto a la curva prescrita mientras no sobrepasen, en promedio, la cantidad de 2 dB.

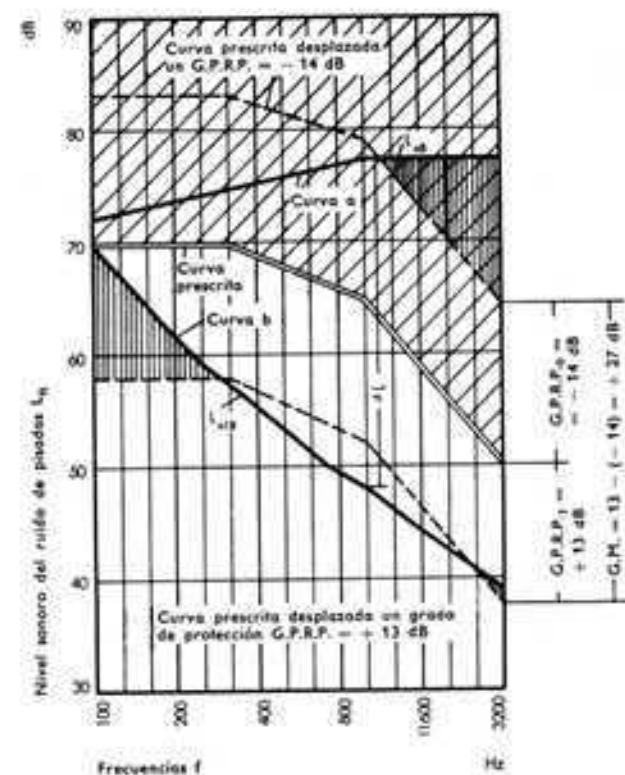
Grado de protección contra el ruido de pisadas

Este grado sirve, como su homónimo en el sonido aéreo, para la valoración de la bondad de las condiciones acústicas desde el punto de vista subjetivo. Hay que destacar que la curva prescrita para el ruido de pisadas establece límites máximos porque las ordenadas representan directamente niveles de energía sonora, no coeficientes de amortiguación, como ocurría en el sonido aéreo. El grado de protección representa, en el ruido de pisadas, el número de dB que hay que desplazar la curva prescrita paralelamente a sí misma, ya sea hacia abajo (valores positivos, mejores) o hacia arriba (valores negativos, peores) para que la curva de niveles medios en ensayo no presente desviaciones en promedio mayores de 2 dB. A efectos del cálculo de dicho promedio, los valores medios que quedan por debajo de la curva prescrita se consideran como situados en la misma.

Amortiguación del ruido de pisadas

Las diferencias, $\Delta L = L_{n0} - L_{n1}$, entre ordenadas de las curvas de medición o ensayo antes y después de la aplicación de un pa-

DETERMINACIÓN DEL GRADO DE MEJORA G.M. QUE CORRESPONDERÁ A LA APLICACIÓN DE UN PAVIMENTO CON UNA DISMINUCIÓN DEL RUIDO DE PISADAS ΔL SEGÚN LA CURVA c DE LA FIG. 208/2



Curva a: Nivel sonoro del ruido de pisadas L_{n0} en el forjado de referencia según DIN 4109, hoja 2, fig. 4. Su grado de protección contra el ruido de pisadas es $G.P.R.P._0 = -14$ dB.

Curva b: Nivel sonoro del ruido de pisadas L_{n1} que atravesaría el mismo forjado, supuesto que se extendiera sobre él un pavimento como el de las figuras anteriores (con una disminución ΔL del ruido de pisadas). Esta curva se halla trasladando las ordenadas de la curva a hacia abajo cada valor de ΔL , así: $L_{n1} = L_{n0} - \Delta L$. El G.P.R.P. que corresponde a la curva b es $+15$ dB. La diferencia entre los grados de protección contra el ruido de pisadas, $G.P.R.P._0$ y $G.P.R.P._1$, nos proporciona una idea objetiva de la mejora que se obtiene al aplicar aquel tipo de pavimento. El grado de mejora es $G.M. = G.P.R.P._1 - G.P.R.P._0$ o sea $G.M. = +15 - (-14) = +27$ dB.

vimiento amortiguante sobre el techo en bruto, revelan la eficacia de aquél. Esta eficacia es independiente del techo sobre el que se ensaya, puesto que es atributo del pavimento. Tanto es así que puede preverse, a partir de aquellas diferencias, la mejora que se obtendrá al aplicar el mismo dispositivo sobre otro techo totalmente distinto. Para la definición, con un solo número, del efecto amortiguador del ruido de pisadas que ofrece un pavimento o recubrimiento, se recurre al "grado de mejora".

Grado de mejora GM

Los valores obtenidos, como indica la fig. adjunta, para los ΔL pueden trasladarse a la curva de niveles de ruido L_{pB} , esquematizada, correspondiente a un forjado conocido y catalogado con un grado de protección contra el ruido de las pisadas $GPRP_0 = -14$. Con ello resulta para este techo normalizado, supuesta la aplicación del pavimento en cuestión, otra curva de niveles de ruido L_{p1B} a la cual corresponde un grado de protección $GPRP_1$. El grado de mejora global se obtendrá por diferencia entre los grados de protección $GPRP_1 - GPRP_0 = GPRP_1 + 14 \text{ dB} = GM$. Dicho grado de mejora, por estar referido a un techo-prototipo, sirve para la clasificación definitiva del pavimento ensayado, con independencia del forjado sobre el cual se decida usarlo en la práctica.

Forjados

En el diagrama que se acompaña se han trazado curvas de nivel sonoro medio para forjados en bruto de los tipos corrientes y más empleados que se comportan de modo parecido desde el punto de vista técnico acústico. Según indica la comparación con la curva prescrita, también dibujada en el diagrama, todos los forjados macizos requieren aislamiento adicional contra el ruido de pisadas, que, se refiere a las frecuencias altas.

Según la norma DIN 4109 se dividen en dos grupos:

Grupo I: Amortiguación insuficiente al sonido propagado por el aire y al ruido de pisadas.

Grupo II: Aislamiento correcto al sonido aéreo pero insuficiente amortiguación del ruido de pisadas.

En la hoja 3 de la norma DIN 4109 (véase tabla adjunta) se han clasificado los tipos usuales de forjados por grupos.

Forjados macizos de una sola capa

El amortiguamiento del ruido de pisadas en un forjado macizo de una sola capa depende, como el del sonido propagado por el aire, del peso/unidad de superficie. Pero aquél, al contrario de este último, no mejora con sólo aumentar dicho peso. Para las frecuencias medias y extremas se requiere un revestimiento.

NIVEL SONORO DEL RUIDO DE PISADAS QUE ATRAVIESA DIVERSOS FORJADOS DE PISO					
Curva	Tipo de forjado	Peso kg/m ²	G.P.S.A. dB	G.P.A.P. dB	Grupo según DIN 4109
1	Bovedillas o bloques huecos entre viguetas de hormigón o hierro	180 220 300 ?)	-4 -2	-25	I
2	Piadas macizas de hormigón 10-13 cm	220 a 300 ?)	-3 +1	-19	I
3	Piadas macizas de hormigón > 14 cm	> 350 ?)	+2	-10	II
4	Losas de hormigón nervada o de vigas en T, sin cielo raso en la parte inferior	160 a 220 ?)	-4	-20	I
5	Losas nervada igual que la n.º 4, pero con cielo raso por debajo	> 140 220 ?)	+1	-9	II
6	Piso de vigas de madera, con relleno de escorias o barro	180 ?)	± 0	-9	Ver pág. 229

1) El revoque de la cara inferior o al pavimento que pueda existir encima del forjado deben tenerse en cuenta al medir el peso.

2) Sin incluir el peso del cielo raso inferior.

3) Con las tablas del suelo clavadas directamente sobre las vigas de madera.

Forjados macizos de dos capas

Con una capa interpuesta (con cámara de aire) puede mejorarse notablemente la amortiguación del ruido de pisadas, aunque subsiste una limitación ocasionada por la fácil transmisión de las vibraciones de flexión del techo macizo a las paredes adyacentes. Para el dimensionado de las capas hay que considerar los datos que se apuntan en el párrafo de la amortiguación del sonido propagado por el aire, a saber: la frecuencia propia relacionada con la separación de las capas, sus rigideces y los anclajes o fijaciones entre ambas.

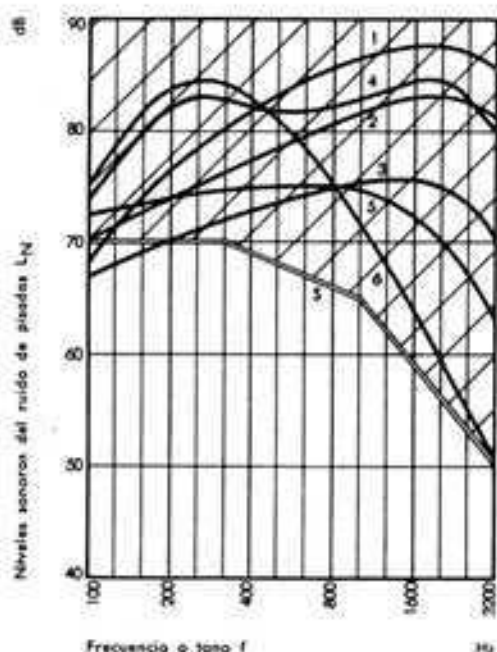
Revestimientos de forjados de pisos

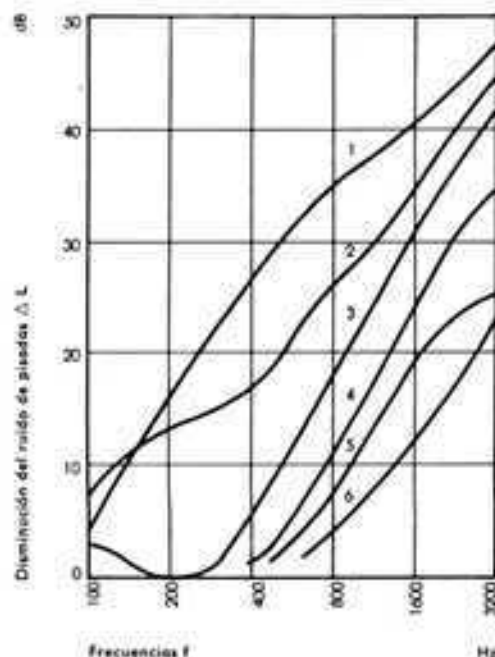
Según el tipo de forjado en bruto se puede lograr que el amortiguamiento sonoro, tanto para propagaciones por el aire como para ruido de pisadas, alcance el valor remanente ≥ 0 dB mediante un pavimento flotante sobre capa de apoyo elástica o con un revestimiento blando. Las medidas a tomar en cada caso, según la cuantía del mejoramiento necesario pueden consultarse en los ejemplos explicados en la hoja 3 de la norma DIN 4109. Aquí se señalan también las curvas para la disminución del ruido de pisadas o "incremento de amortiguación" ΔL para distintos tipos de revestimientos.

Pavimentos flotantes

La masa del pavimento y el mullido de la capa aislante forman un sistema oscilante que impide tanto mejor la transmisión de los esfuerzos alternativos sobre el techo en bruto, cuanto más baja sea su frecuencia propia, es decir cuanto mayor sea el peso del pavimento y más blando sea el mullido elástico de la capa aislante.

NIVEL SONORO DEL RUIDO DE PISADAS QUE ATRAVIESA DIVERSOS TIPOS DE FORJADOS





Cores N.º	Composición constructiva	Mejoras del grado de protección	
		Contra el sonido aéreo dB	Contra el ruido de pisadas dB
1	3,5 cm pavimento de hormigón, sobre placas de fibra mineral o láminas del mismo material, de 1,5 cm de espesor	6	37
2	Tablas sobre durmientes o vigas de madera con placas de fibra mineral como cerramiento por debajo	5	32
3	Pavimento duro sobre placas de 1 cm de espuma sólida (densidad bruta $\approx 12 \text{ kg/m}^3$)	3	23
4	Pavimento duro sobre 1,2 cm de placas de fibra blanda o sobre 0,8 cm de mantas de corcho o placas de turba	2	18
5	Parquet de madera sobre placas de fibra blanda 1,2 cm de espesor, o bien sobre placas de fibra mineral prensada	2	16
6	Pavimento sin capa amortiguadora, tan sólo con superficie de parquet de corcho o parquet de linóleo	0	13

La frecuencia de resonancia representa al mismo tiempo el límite de frecuencia por debajo del cual no se puede ya lograr efecto de aislamiento. Esto viene expresado claramente en las curvas de mejora que se acompañan: cuanto más duro es el sustrato del pavimento, tanto más se desplaza hacia la derecha, es decir hacia las frecuencias elevadas, la curva de la mejora del aislamiento.

El efecto aislante de un pavimento flotante depende pues, de su rigidez dinámica, que es la que mide su facilidad de entrada en

vibración. Dicha rigidez aumenta con la carga estática (peso del pavimento, muebles, sobrecarga de uso, etc.). En la norma DIN 52214 se determinan los valores de la rigidez dinámica para diversos pavimentos sometidos a solicitudes vibratorias.

Las capas de mullido aislante según normas (DIN 18164 y DIN 18115) deben tener un módulo de rigidez dinámica por debajo de 3 kg/m^3 cuando se aplican, bajo pavimento, sobre techos en bruto del grupo I; 9 kg/cm^3 es el máximo valor tolerable para la aplicación de estas capas a techos del grupo II.

El relleno de arena o cualquier otro árido granular mineral, carece de elasticidad y sólo sirve para compensar irregularidades en la horizontalidad del techo en bruto, pero en ningún caso debe dejarse tal relleno como única capa bajo el pavimento. Se ha tratado numerosas veces de combinar el pavimento con la capa aislante, como en el caso de añadir serrín de corcho al material del sustrato del piso. En muchos casos se han propuesto también como aislantes del ruido de pisadas capas porosas y muy ligeras, fabricadas con agregación de fibra de madera. Todos estos proyectos forzosamente han de conducir al fracaso, porque en ningún caso puede ser conseguido un mullido elástico tan blando como resultaría necesario para el aislamiento del ruido de las pisadas, si al mismo tiempo hay que conservar la resistencia necesaria.

Como en ningún pavimento flotante que se quiera dotar de eficacia puede existir ninguna fijación o anclaje con la armazón del piso, salvando la capa aislante, es necesario que la placa que forma el pavimento posea una resistencia que le permita transmitir elevadas cargas concentradas (hasta de 700 kg), repartiéndolas sobre una extensa superficie a la capa aislante, sin que se produzca deformación permanente o peligro de rotura en aquella. Para esto, se ha visto que pueden utilizarse los materiales siguientes:

Pisos de madera (entarimados) sobre durmientes de madera, hormigón, cemento Häusler ("holzzement"), asfalto fundido, xilolita y yeso.

Todos estos materiales prestan al pavimento ciertas propiedades mecánicas; en cambio, las diferencias técnico-acústicas entre ellos no son de gran importancia, dejando aparte las ventajas de la gran amortiguación interior del asfalto.

Suelos o pisos blandos

Un solado aplicado directamente al techo en bruto sólo es tolerable, en cuanto al ruido de pisadas, cuando se verifican las dos condiciones siguientes:

- El techo en bruto ya ofrecía una amortiguación suficiente del sonido propagado por el aire.
- El tipo de suelo aplicado es lo bastante mullido como para impedir la propagación al techo de vibraciones típicas de los sólidos, lo cual significa una suficiente amortiguación a ruido de pisadas.

Suelos que ofrezcan tal mullido son, por ejemplo, los de goma sintética, linóleo de corcho, losetas de corcho, linóleo, losetas u hojas de material plástico, placas de fieltro o materiales esponjosos y también las moquetas y otros tejidos adheridos en toda su superficie al techo en bruto. La eficacia amortiguadora de estos suelos es tanto mayor cuanto más blandos son, cuanto más efecto de muelle ofrecen, incluso bajo cargas de larga duración.

No obstante, a causa de su débil amortiguación de los sonidos graves —por debajo de los 800 Hz—, no son aconsejables como única medida de acondicionamiento ni siquiera para techos del grupo II. En cambio, disminuyen substancialmente el ruido de pisadas. Son muy apropiados para su aplicación encima de un pavimento flotante, porque en éste, como en los pavimentos de madera, pueden producirse mayores ruidos en la parte superior del techo compuesto que los que se dan al pisar sobre suelo blando directamente aplicado al techo en bruto (la placa del pavimento vibra bajo la pisada como membrana e irradia la perturbación al aire).

Transmisión indirecta

Comprobado el poder aislante acústico de una pared o de un techo en la obra ejecutada, en la mayor parte de los casos resul-

tan valores peores que los que se habían hallado en el laboratorio para la misma clase de pared o de techo. Contra lo que al principio se creía, este fenómeno se debe atribuir, no a que la ejecución de la obra sea de peor calidad o menos cuidadosa, sino a la presencia de los demás elementos que constituyen la obra en cuestión.

El sonido, no sólo traspasa la pared o techo que separa los locales sino que se transmite longitudinalmente por las paredes o techos laterales (situados en los flancos, respecto a la dirección de propagación). Esta transmisión longitudinal o lateral afecta también a pozos, chimeneas, regatas, cañerías y, en las frecuencias bajas, incluso alcanza al subsuelo a través de los cimientos. Aparte de los canales mencionados, la transmisión indirecta se produce por la propagación de unas ondas elásticas (transversales o de sólidos), que, habiendo sido excitados en las paredes y techos del local ruidoso por el sonido aéreo, "irradian" de nuevo sonido aéreo hacia el interior de otra habitación silenciosa cuyas paredes y techos han sido alcanzados por aquella propagación. Cuanto menor es la transmisión directa del sonido a través del elemento de separación, más importancia reviste la transmisión lateral. Por ello parece absurdo incrementar la amortiguación acústica de tal elemento (por ejemplo, un techo) cuando el nivel sonoro percibido en el local inferior procede principalmente de transmisiones laterales. Estas últimas dependen de la masa, rigidez y amortiguación interior que encuentren en las paredes laterales. Asimismo dependen del tipo de juntas entre el elemento de separación y las paredes o techos contiguos. La transmisión lateral es tanto mayor cuanto más ligeros son las paredes o techos contiguos.

Transmisión indirecta del sonido aéreo

Debido precisamente a las transmisiones indirectas, la amortiguación del sonido aéreo que se puede conseguir entre dos locales, queda limitada de suerte que el máximo grado de protección contra dicho sonido alcanza, a lo sumo, + 2 ó + 3 dB por encima de los valores mínimos establecidos en la norma DIN 4109 (hoja 2). La cuantía de la transmisión lateral que se considera normal queda especificada numéricamente en la norma DIN 52210.

La mínima transmisión indirecta del sonido aéreo, se consigue mediante

- a) Un elevado peso/unidad de superficie de todos los elementos planos de una sola capa, tanto el de separación como los contiguos.
- b) Utilización de sistemas apropiados en dos capas, como pavimentos flotantes, rellenos blandos, placas blandas adicionales a lo largo de las paredes laterales y paredes dobles en las medianeras con junta de separación continua.
- c) Evitar determinadas resonancias que se producen en los elementos de varias capas para frecuencias medias. Las placas de protección térmica, que aumentan su rigidez dinámica entre 5 y 1000 kg/cm² bajo el revoque, pueden dar lugar a transmisiones indirectas y resonancias que empeoren las condiciones acústicas de un techo o pared.

También es de gran importancia la ejecución de las juntas entre elementos contiguos. Para disminuir la propagación lateral en sentido vertical, por ejemplo, no cabe pensar en interponer una lámina elástica entre un techo y la pared de carga sobre la que se asienta, por motivos obvios de estática. Pero sí es conveniente tal medida cuando se trata de una pared delgada sin carga alguna.

La propagación lateral en sentido horizontal puede ser favorecida por la existencia de juntas ininterrumpidas a lo largo de todo el edificio.

Esas circunstancias tienen, ante todo, importancia para el aislamiento acústico en las construcciones de tipo ligero. En época reciente se ha podido ver que en techos y paredes medianeras de escaso peso se podía lograr un buen aislamiento acústico con medios relativamente sencillos. Ahora bien; hay que observar que ese aislamiento acústico sólo va bien cuando permite la transmisión del ruido a lo largo de las paredes. Y esa transmisión depende a su vez del peso o masa de esas paredes.

El peso por unidad de superficie de nuestros elementos de obra es, por consiguiente, de una reconocida importancia para el aislamiento acústico, mucho más de lo que hasta ahora se creía, porque es verdaderamente lo que determina la magnitud de la conducción longitudinal de los sonidos.

Solo cuando dicho peso unitario es de 400 kg/m² puede considerarse despreciable el efecto de propagación.

De las explicaciones que preceden se deduce que el aislamiento contra los ruidos propagados por el aire se logra muy rápidamente en las construcciones ligeras y por medios sencillos, pero tanto el aislamiento de un piso mediante un pavimento flotante como el de una pared por medio de un tabique o una segunda capa sólo producen una pequeña mejora en el aislamiento acústico contra los ruidos propagados por el aire. Si es necesaria una mejor protección acústica, se tiene que recurrir al revestimiento de todos los demás elementos constructivos que cierran el local en cuestión, empleando placas blandas y flexibles (con una elevada frecuencia límite) que irradian en forma muy atenuada las vibraciones que les son transmitidas, de manera que la propagación del sonido a lo largo de las paredes no pueda ejercer ya ninguna influencia importante.

En la construcción de casas, esa forma de construir a base de reducir la propagación longitudinal de los sonidos puede ser económica, cuando la construcción de las paredes se ha de hacer forzosamente con dos capas por el modo de haber sido proyectada la estructura portante. Esto es lo que ocurre frecuentemente en los edificios en que esa estructura es un esqueleto o armazón de hierro o de hormigón armado. Si bien este tipo de edificios, en general, posee un escaso aislamiento acústico, pueden lograrse valores de aislamiento incluso superiores a los de los edificios macizos, a condición de que los elementos de la estructura portante sean revestidos con placas que presenten una frecuencia límite elevada.

Propagación indirecta del ruido de pisadas

A diferencia del sonido aéreo, en el ruido de pisadas sólo se toman en consideración los techos, que son los que entran en vibración bajo el impacto de aquéllas. La propagación a las paredes contiguas de las vibraciones excitadas en el piso queda notablemente aminorada con un pavimento flotante. La transmisión indirecta puede combatirse en este caso de manera sencilla.

Mientras que en la amortiguación del sonido acústico ocurría que, una vez añadida la influencia de las transmisiones indirectas, se mantenían los valores unos pocos dB por encima de los de la norma y aún con relativamente grandes esfuerzos no se mejoraba casi nada, en el caso del ruido de pisadas la amortiguación puede llevarse mucho más allá de los niveles prescritos. Depende de la eficacia que a tales efectos tenga el piso instalado.

Una capa blanda y flexible instalada por debajo del techo, a modo de cielo raso, amortigua sólo la componente 1, pero no la propagación lateral según la componente 2. No es aconsejable alternar pavimento flotante-cielo raso, entre dos habitaciones contiguas que se repiten en vertical, porque se produce el "efecto diagonal". No hay inconveniente en utilizar cielos rasos adicionales cuando existe pavimento flotante incluso en el baño.

Absorción del sonido

Cuando un manantial sonoro irradia en un local una determinada potencia, se establece al cabo de breve tiempo un nivel sonoro. Se llega a un estado de equilibrio cuando las superficies que delimitan o cierran el local consumen en la unidad de tiempo una cantidad de energía igual que la que es irradiada, transformándola en calor o propagándola. Este consumo de energía es lo que se denomina absorción y depende principalmente de la naturaleza de la superficie de las paredes o de los techos y pisos.

Grado de absorción sonora

El grado de absorción sonora α es la relación entre la energía sonora no reflejada (es decir, transformada en calor o propagada) y la que incide sobre la misma superficie de pared. Para materiales absorbentes que desde luego representan cierto gasto, ese grado debe ser lo más elevado posible. Con frecuencia, se exige una absorción selectiva para determinados campos de frecuencia, sea en los tonos altos, en los medios o en los bajos. Por su gran longitud de onda (3,40 m en los de 100 Hz), los tonos graves en general requieren capas absorbentes mucho más gruesas que los tonos agudos (log. de onda de 10 cm para 3400 Hz).

Hay tres tipos fundamentales de absorbentes del sonido:

Absorbentes porosos del sonido

Placas resonantes

Resonadores

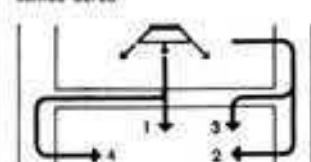
Cada tipo tiene propiedades determinadas; además, pueden realizarse adecuadas combinaciones con varios tipos iguales o diferentes para lograr el grado de absorción que se requiera en función de la frecuencia.

Medición del grado de absorción

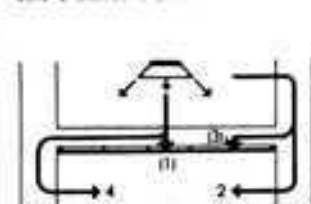
La medición del grado de absorción para el ensayo de materiales absorbentes del sonido y dispositivos de igual finalidad se efectúa por lo regular en el intervalo de frecuencias de 100 a 6400 Hz. Pueden usarse dos métodos.

TRAYECTORIAS DE LA PROPAGACIÓN SONORA

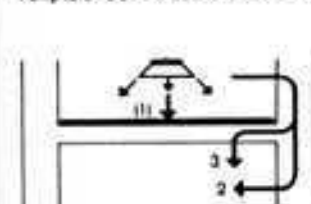
Sonido aéreo:



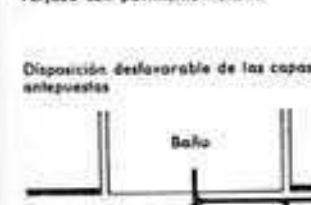
Forjado con revestimiento duro o blando o sin él



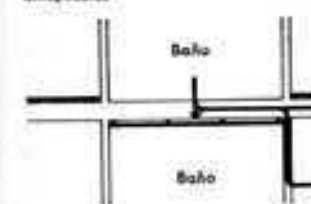
FORJADO CON CIELO RASO FLEXIBLE



Forjado con pavimento flotante

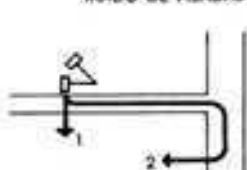


Disposición desfavorable de las capas de amortiguación antepuestas

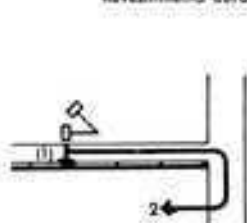


En la habitación: Pavimento flotante y para el baño, cielo raso suspendido

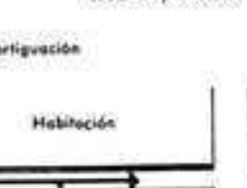
RUIDO DE PISADAS



Revestimiento duro



Pavimento flotante o suelo muy blando



En el método de la cámara de reverberación se disponen, según la norma DIN 52212, de 10 a 20 m² del dispositivo a ensayar sobre una de las superficies planas que limitan un local (suelo, pared o techo), de unos 200 m³ de volumen y fuerte reverberación. La relación longitud/anchura de la superficie rectangular del dispositivo a ensayar debe estar comprendida entre 1 y 1,4 y sus bordes deben estar por lo menos a 1 m de distancia de las aristas interiores del local. Todas las superficies de éste son lisas y duras como espejos, de modo que dan lugar a tiempos de reverberación muy largos (véase "audibilidad", pág. 94).

De los valores medidos de los "tiempos de reverberación" sin las superficies absorbentes y con ellas puede deducirse, por cálculo, el grado de absorción para los diferentes tonos o frecuencias. Esas mediciones en la cámara de reverberación, tienen la ventaja de que, al igual que en la aplicación práctica que posteriormente se haya de hacer del material, inciden sobre éste ondas sonoras de todas las direcciones. Los grados elevados de absorción, próximos a 1,0 suelen de todos modos dar resultados demasiado altos, porque los rayos sonoros paralelos o casi paralelos a las superficies sufren una incurvación hacia ellas.

La cámara de reverberación debe garantizar una buena difusión de toda la energía sonora, cosa que se consigue con placas reflectoras de 2 m², como mínimo, de superficie y en disposición irregular. También tienen buenos efectos difusores las formas irregulares y la falta de paralelismo de las mismas superficies limitantes del local.

Una vez que pudo evaluarse la influencia de la longitud del contorno de la superficie de ensayo, y se encontró el sistema de lograr una buena difusión, se pudo conseguir la determinación práctica del grado de absorción utilizando sólo una superficie (en lugar de tres, dispuestas formando diedros rectos).

Para altos grados de absorción se hallan resultados más fidedignos valiéndose para la medición del tubo de Kundt. La superficie ensayada se pone allí a extremo de un tubo cerrado en cuyo interior se producen ondas estacionarias. La determinación del grado de absorción se hace hallando la relación entre las presiones sonoras correspondientes a los valores máximo y mínimo de las ondas estacionarias. Solamente es aplicable el caso de que el sonido incida normalmente sobre la superficie ensayada, por lo que, incluso en los grados bajos de absorción, da valores algo menores que los obtenidos por el método de la cámara de reverberación.

Los grados de absorción superiores a 1 no pueden medirse con dicho tubo, ya que la superficie ensayada llena el extremo del mismo de manera que no pueden verificarse efectos de difracción por los bordes. Se utiliza este sistema principalmente para la medición de superficies muy absorbentes, apropiadas para revestimientos de cámaras "aisladas" acústicamente, cuyo grado de absorción para una frecuencia límite debe ser mayor de 0,99. Para unos 100 Hz de frecuencia límite ha de recurrirse a placas gruesas, en forma de cuña, de 80 cm de espesor.

Absorbentes porosos del sonido

En las capas porosas que tienen sus poros en forma de canales continuos, la energía de las ondas sonoras que en ellas penetran se convierte en calor por efecto del rozamiento. En este aspecto, las capas de fibras minerales son muy apropiadas. Sólo se logran grados muy altos de absorción para frecuencias elevadas como indica el segundo diagrama. Cuanto más gruesa es la capa de material absorbente, tanto más alto es el grado de absorción para las frecuencias bajas. Además, la mayor o menor porosidad tiene también influencia, porque es fácil de comprender que las ondas sonoras podrán penetrar mejor en una masa de lana mineral que tenga un 95% de su volumen de poros que en una placa blanda de fibra de madera que sólo tenga un 65% de porosidad. Su superficie compacta reflejará cierta proporción de la energía incidente. La curva 1 del primer diagrama representa el curso del grado de absorción de una capa de 5 cm de lana mineral (de unos 100 kg/m³) en función de la frecuencia o tono del sonido. La medición en la cámara de resonancia dio un grado de absorción 1,0 para todas las frecuencias superiores a 450 Hz, en tanto que según el segundo diagrama que se refiere únicamente a incidencias perpendiculares del sonido, al hacer la medición

PLACAS POROSAS DE FIBRA MINERAL PARA LA ABSORCIÓN DEL SONIDO



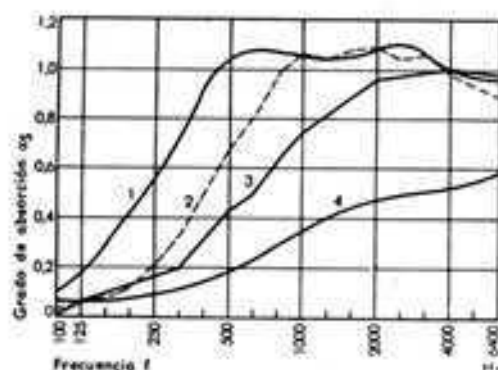
- 1 Estera de 50 mm de espesor, o filtro de malla antepuesto a la pared. Sin recubrimiento o con una placa dura perforada en un 20 %.



- 2 Placas acústicas de malla de 20 mm pegadas directamente sobre la pared.

- 3 Placas de malla de 11 mm de esp. y 110 kg/m³ de densidad bruta pegadas directamente a la pared.

- 4 Revoque absorbente con lana mineral enovolan, 10 mm, aplicado directamente sobre la pared o techo.



con el tubo de Kundt el grado de absorción 0,9 no se alcanza hasta una frecuencia de 850 Hz.

Si se cubre una capa porosa de absorción con una placa perforada cuya superficie de orificios sea de más del 20%, no cambiará el grado de absorción, dado que prácticamente todas las ondas sonoras pueden pasar a través de los orificios. Sólo cuando la superficie de los orificios es del orden del 8%, el grado de absorción disminuye para las altas frecuencias, porque éstas, por su corta longitud de onda, pueden ser reflejadas por las áreas en que no hay orificios y no llegar a la capa absorbente. Como ejemplos de capas de absorción delgadas, en la curva 2 se dan resultados de mediciones hechas en placas acústicas de Sillan de 2 cm de grueso, y en la curva 3, en placas de Sillan de sólo 1,1 cm. Cuanto más delgada es la capa absorbente adherida directamente a una superficie de pared o techo, más se desplazan los valores altos de la curva de grados de absorción hacia las frecuencias elevadas.

También se emplea como capa porosa de absorción el revoque acústico Novolan, que normalmente alcanza un espesor de 1 cm. Con un peso específico de 400 kg/cm³, este revoque seco presenta una porosidad y grado de absorción, como puede verse en la curva 4, que corresponde más o menos a las placas de madera blanda debastada. A causa de su escasa porosidad, la curva de absorción del revoque absorbente de Novolan queda por debajo incluso, de la de 1 cm de Sillan.

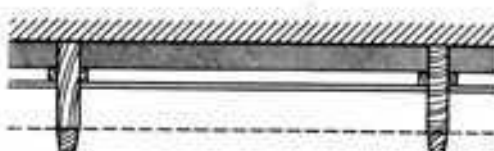
Placas resonantes

Las placas compactas dispuestas a cierta distancia de una pared rígida forman, gracias a su masa en combinación con la elasticidad de la capa de aire encerrado en el hueco, un sistema oscilante que posee una frecuencia propia característica. Cuando inciden sobre la placa ondas sonoras con frecuencias próximas

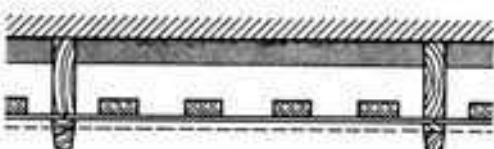
GRADO DE ABSORCIÓN DEL SONIDO DE REVESTIMIENTOS TIPO PLACA



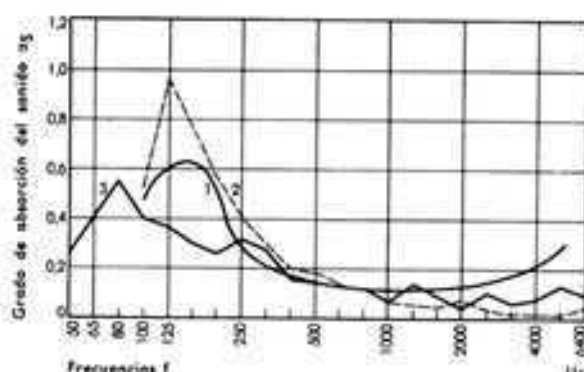
- 1 50 mm de estera de malla cubierta con una placa de fibra dura de 4 mm de espesor, peso: 4 kg/m².



- 2 30 mm de filtro de malla 6 mm de madera de cierre de peso aprox. 4 kg/m² con 50 mm de separación entre ambas capas.



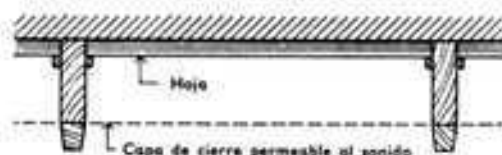
- 3 30 mm de filtro de malla 6 mm de madera con listones en su cara superior (o inferior), 100 mm de separación entre capas.



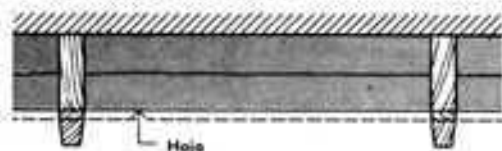
a dicha frecuencia propia, ésta se pone a vibrar en resonancia con ellas y conduce de este modo energía al espacio hueco, donde es consumida por los materiales absorbentes allí dispuestos. Con placas pesadas y rígidas (de 1 a 10 kg/m²) se obtiene un grado máximo de absorción cuyo valor va desde 0.5 a 0.8. Las curvas 1 y 2 de la figura corresponden a placas de fibra y tablones aglomerados de madera con 4 kg/m² de peso aproximado colocadas a 5 cm de distancia de la pared o techo. Si hay que alcanzar el grado de absorción 0.5 incluso para frecuencias inferiores a 100 Hz (ciclos/seg), se debe recurrir a dispositivos más complicados como los que se encuentran en la disposición. Si se utilizan hojas ligeras impermeables de material plástico o papel grueso, desde 30 g/m² hasta 1 kg/m², como "membranas resonantes" se alcanzan grados de absorción de hasta 1.0.

Los dispositivos compuestos por una capa espesa de material absorbente y una membrana delgada (disposición 2) proporcionan el campo de acción más amplio. En este dispositivo el grado de absorción desciende para frecuencias altas debido a que éstas, con sus cortas longitudes de onda, no logran excitar la placa-membrana. Todos los dispositivos que muestran las dos figuras siguientes van dirigidos a revestimientos de "cámaras aisladas" (estudios de grabación o radiofonía, por ej.) y su espesor total se limita a 12 cm; distancia a la que se sitúa una lámina de recubrimiento a base de listones, varillas metálicas, malla de plástico, etc., cuyos efectos en cuanto a absorción son nulos.

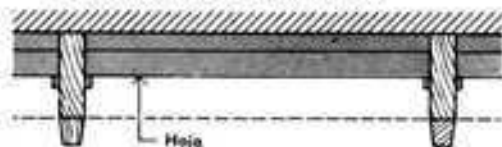
GRADO DE ABSORCIÓN DEL SONIDO DE MATERIALES EN LÁMINAS U HOJAS



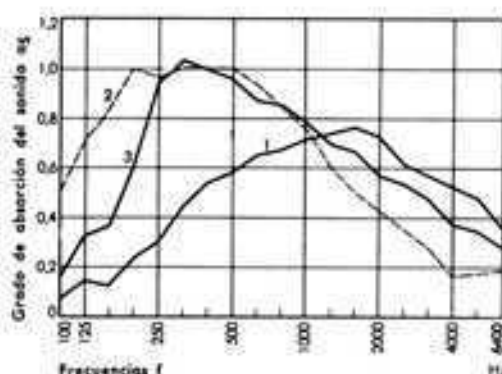
- 20 mm de lana mineral, en placas «Sillan» tipo «SP 100» de 100 kg/m² cubiertas por una placa de 0,03 mm de material plástico, cuyo peso es 30 g/m²



- 100 mm de fieltro «Sillan» «SF 57» cubiertos por una hoja de material plástico de 0,03 mm de espesor y 30 g/m² de peso



- Placa de «Sillan» «SP 100», 20 mm de espesor, hoja de fieltro «Sillan» «SF 57», 30 mm de espesor ambas bajo recubrimiento de hoja material plástico de 230 g/m² y 0,25 mm de espesor



Cuanto más separadas de la pared o techo se coloquen las placas de tejido blando o de Sillan, mayor grado de absorción proporcionan para bajas frecuencias. Ejemplos significativos de este fenómeno los encontraremos en las curvas 3 y 4 de la figura adjunta para placas acústicas de fibra blanda, así como en la curva 2 de la figura de la página 111 para placas acústicas de Sillan.

Resonadores

Los resonadores de Helmholtz son recipientes cerrados en los que existe solamente una pequeña abertura. Poseen una frecuencia propia claramente marcada y bien definida. El sistema oscilante se realiza por efecto del aire del recipiente que actúa como resorte elástico y de la masa de aire que entra y sale en la abertura (cuello del resonador). Se produce una cierta absorción debida a la pérdida por rozamiento en el cuello del resonador. Agregando materias porosas capaces de aumentar ese rozamiento en las proximidades de la citada abertura, la curva del grado de absorción puede ser ampliada considerablemente y el conjunto de tal disposición puede resultar eficaz para un amplio campo de frecuencias.

Prácticamente, el resonador se aplica en forma de placas perforadas o ranuradas que se colocan a cierta distancia de la pared. El material absorbente (placa de fibra mineral) puede ir fijado en la placa perforadora por la cara anterior o posterior de la misma. Muchas veces es también conveniente o deseable rellenar todo el hueco. Disponiendo acertadamente la resistencia ofrecida a la corriente de aire en la abertura, puede llegarse con los resonadores y con la frecuencia de resonancia al grado de absorción 1,0. Si se requiere un grado de absorción más reducido, pueden realizarse curvas más amplias. La frecuencia de resonancia es:

$$f_0 = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{\epsilon}{l'd}}$$

en la que:

$$l' = l + \frac{\pi}{4} \cdot 2r$$

siendo:

f_0 frecuencia de resonancia en Hz

c velocidad de propagación en cm/s

$2r$ = diámetro del agujero en cm

l = espesor de las placas

ϵ = fracción en % de la superficie correspondiente a los agujeros

d = distancia entre placa y pared

Los grados elevados de absorción sonora, incluso para frecuencias bajas, pueden obtenerse disponiendo mayores distancias entre placas y paredes, gruesos espesores de placas y pequeños porcentajes de orificios. En cambio, si se quiere que la absorción sonora abarque amplias zonas de frecuencia, hay que recurrir a un sistema opuesto: pequeños espesores de placas y un importante porcentaje de superficie de orificios, con una distancia entre placa y pared lo mayor posible.

Dos resonadores típicos con placas perforadas son los que muestra la figura. En el dispositivo 1 constan de una placa de fibra dura con un 8% de superficie de orificios aplicada sobre 5 cm de Sillan. El cielo raso acústico "soundex" (placas de yeso perforadas) que muestra el dispositivo 2 proporciona una frecuencia de resonancia algo mayor debido a un porcentaje supe-

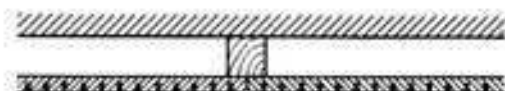
GRADO DE ABSORCIÓN SONORA DE LAS PLACAS ACÚSTICAS DE FIBRA BLANDA DE MADERA - PERFORADAS CON SEPARACIÓN DE LA PARED Y SIN ELLA



Puede ser:

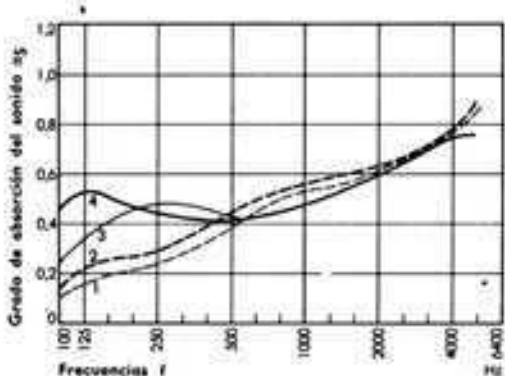
1 de 12 - 13 mm de espesor

2 de 18 - 19 mm de espesor Pegadas directamente a la pared o techo



3 de 12 - 13 mm de espesor A 50 mm de separación de la pared o techo

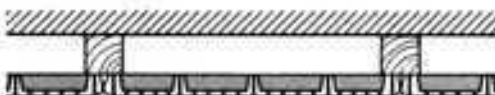
4 de 18 - 19 mm de espesor



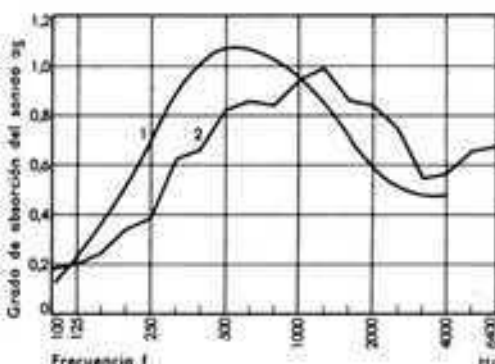
GRADO DE ABSORCIÓN DE DOS «RESONADORES» DE PLACAS PERFORADAS



Placa ranurada de fibra dura (8%) de superficie de ranuras, de 4 mm de espesor, situada a 50 mm de la pared o techo con cámara de aire rellena de lana mineral «Sillan»; peso: 100 kg/m²



2 Placas «soundex» (de yeso) de 30 mm de espesor separadas 50 mm de la pared o techo. Superficie orificios = 12 %, diámetro orificios 4,5 mm, profundidad, 6 mm



rior de orificios: 12%. Si la placa externa sobrepasa el porcentaje del 20% se anula la eficacia del resonador de tipo corriente (con espesor no superior a 10 cm), permaneciendo tan sólo los efectos absorbentes propios del material poroso, a causa de que la placa perforada resulta entonces permeable al sonido. La curva 1 de la figura da un ejemplo de esto. La capa de Sillan de 5 cm de grueso fue recubierta en una de las mediciones con placas de fibras duras con el 30% de orificios, con lo cual se encontraron los mismos grados de absorción que sin ninguna clase de recubrimiento. Este hecho proporciona un medio auxiliar importante para poder aprovechar plenamente las propiedades absorbentes de la mayor parte de las materias porosas absorbentes poco resistentes superficialmente, recubriéndolas con tejidos, hojas perforadas, telas metálicas o enrejados de varillas.

Disminución del sonido por absorción sonora

El valor de la absorción sonora en los locales de trabajo revestidos va siendo reconocido cada vez en mayor medida por las autoridades, la industria y el comercio. Citemos, a continuación, cierto número de locales de trabajo y oficinas en que los revestimientos absorbentes del sonido tienen importancia desde el punto de vista del buen rendimiento del trabajo que desempeña el personal allí ocupado.

Centrales del servicio telefónico, centralitas de teléfonos particulares de las empresas, oficinas de clasificación en Correos, departamentos de mecanografía y de máquinas de contabilidad, pasillos y corredores en hospitales, clínicas y escuelas, salas de ventanillas en bancos y oficinas públicas, locales de recepción de géneros, en explotaciones industriales, hilaturas, fábricas de tejidos, talleres de mecánica fina, calderías, salas de pruebas de motores, salas de máquinas en los buques, coches de ferrocarril, automotores Diesel, salas de motores de transportadores, etc. Una vez logrado que todos los rayos sonoros producidos por un manantial de ruidos molestos, y que van a parar a las paredes y techos del local, sean prácticamente absorbidos de modo completo, habrá que soportar únicamente los rayos sonoros que desde el foco generador van a parar directamente al oído y de ellos

dependerá únicamente el grado de sonoridad recibido, que será considerablemente más bajo que el que habría que soportar sin la aplicación del revestimiento absorbente. Es posible hacer el cálculo del nivel sonoro y de su descenso.

Para cada una de las frecuencias se tendrá:

Descenso del nivel sonoro $\Delta L = 10 \log A_1/A_0$ [dB] en que $A_0 = \sum a_i F_i$ era el poder absorbente total del local antes de la reforma y A_1 el poder absorbente del mismo después de aplicar los revestimientos antisonoros. Se designa como

“Superficie equivalente de absorción”

Es la superficie absorbente perfecta, es decir, con un grado de absorción igual a 1 (también se denomina “superficie de ventana abierta”), que se obtiene como suma de los productos de cada superficie parcial F por su correspondiente grado de absorción a .

El descenso del nivel sonoro depende, por consiguiente, de la superficie total absorbente previamente existente. Si ésta era grande, se obtendrá un descenso pequeño del nivel sonoro y viceversa. En los casos más favorables puede contarse con un descenso del nivel sonoro de 5 a 10 dB, que en la mayor parte de los casos corresponderá a una disminución del mismo orden del grado de sonoridad. Si se desea una disminución más completa del ruido, habrá que adoptar medidas en las mismas máquinas que lo producen, a fin de disminuir la producción de ruido y evitar su radiación. En muchos casos existirá también la posibilidad de encerrar las máquinas más ruidosas en cajas aisladoras, forradas con revestimientos absorbentes del sonido.

Audibilidad en teatros, auditorios musicales y salas de conferencias

La audibilidad en locales de hasta 1000 m³ sin instalaciones electroacústicas, así como la disminución del sonido y mejora de la inteligibilidad en locales con máquinas de oficina, salas de mecanografía, despachos, etc. se estudia en la norma DIN 18041 (“Audibilidad en locales de reducidas dimensiones”). Las salas de conferencias, locales para música, estudios radiofónicos, teatros y cinematógrafos requieren condiciones muy especiales de audibilidad que dependen, en primer lugar, del tiempo de reverberación, o sea del tiempo que tarda un sonido en disminuir 60 dB a partir de la intensidad con que fue emitido, o lo que es lo mismo, en hacerse mil veces menor esta intensidad.

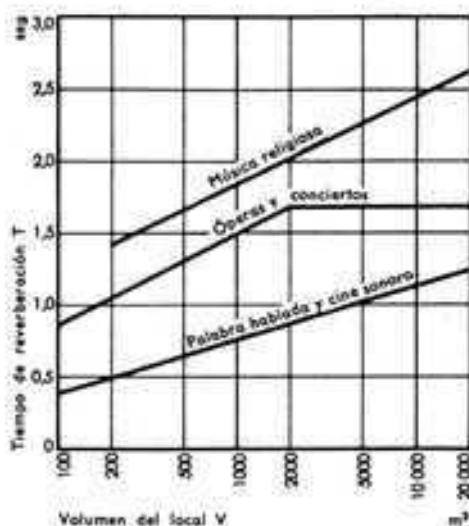
El tiempo de reverberación

Da la medida del poder absorbente total de las superficies interiores del local y depende de éste según la fórmula de Sabine:

$$T = \frac{0,163 \cdot V}{\sum a_i F_i} = \frac{0,163 \cdot V}{A} \text{ seg.}$$

en la que T es el tiempo de reverberación en segundos, V el volumen de aire del local en m³, a_i es el grado de absorción y F_i la superficie de cada techo, pared, mueble o de las demás superficies absorbentes que eventualmente pudiesen existir en el local. La medición del tiempo de reverberación puede hacerse a base de escalas logarítmicas que hacen aparecer como rectilíneo el descenso del nivel sonoro; su pendiente permite deducir el tiempo de reverberación. La producción del sonido se efectúa con altavoces o con un choque o disparo; el filtro eléctrico de octavas permite escoger el campo de frecuencia que se desee. Para el cálculo previo de los tiempos de resonancia a base de los grados de absorción conocidos o supuestos para cada una de las superficies absorbentes, se redacta una tabla en que figuran diversas frecuencias separadas por intervalos de octava: 100-200-400-6400 Hz. Debajo se ponen los correspondientes grados de absorción de cada superficie y sus respectivos poderes absorbentes. De su suma para todas las superficies absorbentes del local y del volumen de aire del mismo, se deduce por medio de la fórmula anterior el tiempo de reverberación previsto para cada frecuencia.

Al querer tener en cuenta el efecto de la presencia del público en el local, los cálculos suelen presentar algunas dificultades, por-



que el grado de absorción que suele darse en m^2 por persona depende entonces del número de asientos por m^2 que contiene el local.

Como primera hipótesis, se puede establecer para salas de conferencias un volumen libre (de aire) de 3 a 5 m^3 por persona. Esta misma proporción sirve para cinematógrafos; para teatros y locales de conciertos hay que elevar esta cifra hasta 6 a 9 m^3 por persona. En el caso de música religiosa ha de aumentarse este volumen todavía más.

Es también de mucha influencia el que el teatro o la sala de conferencias estén más o menos concurridos, especialmente si las sillas son de madera lisa. Los constructores de las butacas que hoy se usan con asiento rebatible tienen la precaución de que el almohadillado de esas butacas tenga el mismo grado de absorción, esté o no esté ocupada la localidad. En la mayor parte de los casos, cuando el local está totalmente lleno, las superficies absorbentes son demasiado grandes para las frecuencias elevadas, por lo que es de importancia que el grado de absorción de las butacas equivalga al que tendrían si estuviesen ocupadas, pero con referencia a las frecuencias medias y bajas. Teniendo debidamente en cuenta las condiciones y disposición de las butacas, la superficie absorbente por persona, que es de 0,25 m^2 para los tonos graves, llega a ser de 0,5 m^2 para los agudos y permite, a base de esos datos, buenos resultados en los cálculos. Para cada local hay un tiempo de reverberación más favorable según la finalidad a que se destina. Aparte de la condición de que resulte inteligible lo que dice el conferenciante para el público que forma el auditorio, existen para la fijación de esos tiempos de reverberación óptimos, y especialmente para las audiciones musicales, otras circunstancias y factores psicológicos que cooperan a esa determinación. Además, hay que tener en cuenta las dimensiones del local. En locales muy espaciosos se consideran admisibles tiempos de reverberación algo más largos. Las curvas del presente diagrama reproducen los tiempos que se consideran más favorables para locales de distintas dimensiones distinguiéndose los locales en que hay que escuchar música religiosa, conciertos o conferencias. Los tiempos de reverberación se hallan comprendidos entre 0,5 y 2,5 segundos.

Para locales polivalentes, en los que lo mismo se dan conciertos que se pronuncian conferencias, hay que buscar un compromiso entre las respectivas condiciones acústicas que requieren estas funciones. Como norma suele acondicionarse el local para el tiempo de reverberación más corto, dejando aparatos prolongadores de reverberación dispuestos para su uso eventual, al cambiar la función de aquél. Este compromiso tiene especial importancia en el caso de una iglesia, pues el constructor se enfrenta con el dilema de dar preferencia al tiempo de reverberación de la música religiosa, canto coral, órgano, etc., que es más bien largo, o a la palabra hablada, en los sermones —y con el recinto a medio llenar—, en que el tiempo de reverberación debe ser corto.

Los valores que se establezcan deben tener en cuenta todo el campo de frecuencias, pero parece admisible, en muchos casos, un aumento del tiempo de reverberación, para frecuencias bajas, de un 30 a un 50%.

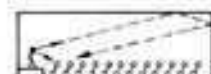
La composición del local

También la forma influye en la calidad acústica de un local. Así se observan actualmente, en muchos casos, ensanchamientos en forma de embudo desde el escenario hasta el centro de la sala, mientras que en la parte de atrás se procura obtener cierta concentración de las ondas sonoras reduciendo la sección del local. Las filas de butacas de atrás sobre un piso de fuerte pen-

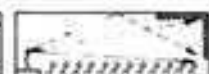
INFLUENCIAS SOBRE LA AUDIBILIDAD EN LOS LOCALES

Reflexión:

por la pared del fondo



Desfavorable



Favorable



Favorable

Reflexión por el techo



Desfavorable

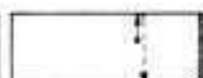
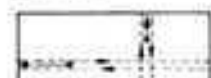


Favorable



Favorable

Eco difuso



Reflexión natural para la zona posterior del local



Disposición de las superficies absorbentes en locales de tamaño medio y pequeño



Desfavorable



Favorable



Favorable



Planta



diente, a veces sin alineación, responden al deseo de procurar que cada oyente pueda captar el sector mayor posible de la radiación sonora emitida por el escenario.

Si existen diferencias en los trayectos recorridos por los rayos sonoros recibidos directamente y los rayos reflejados que excedan de 17 m, pueden producirse interferencias debidas al efecto de eco. Hay que tener especialmente en cuenta este fenómeno en aquellas salas cuya longitud exceda de 20 m; en la parte posterior del local hay que evitar que existan superficies reflectoras que puedan devolver los sonidos hacia el escenario o hacia las primeras filas de butacas. Por consiguiente, las superficies extensas de las paredes del fondo deben hacerse muy absorbentes, sobre todo para los tonos agudos y medios. Lo mismo puede decirse respecto de los antepechos de palcos que tengan gran superficie. Dándoles una forma abombada puede hacerse que dispersen el sonido. En la mayor parte de los casos, sobre todo cuando se trata de locales alargados y relativamente bajos de techo, es conveniente que, aparte de la absorción sonora producida por el público y por las butacas, las paredes laterales sean absorbentes del sonido y que el techo sea buen reflector cuando menos en su parte media. De este modo se asegurará la máxima sonoridad posible para los ocupantes de las últimas filas de asientos.

Procediendo en esta forma, se elimina también el peligro de los ecos trémulos que desnaturalizan la palabra o la música, y que precisamente se originan por las reflexiones múltiples del sonido en paredes paralelas, que en este caso serían las paredes laterales del local, si no estuviesen suficientemente revestidas con material absorbente del sonido.

Hay que tener especial cuidado de que los revestimientos absorbentes no reduzcan con exceso el tiempo de reverberación. Puede ocurrir, si se trata de una sala de reducidas dimensiones, que el tiempo de reverberación cuando está llena sea inferior a los valores que señala la figura; por ello es más aconsejable un cierto exceso de volumen por personas que una falta del mismo. Los tiempos de reverberación largos, propios de grandes salas, se pueden reducir fácilmente mediante superficies de absorción situadas de manera que impidan los reflejos perturbadores, pero en las salas más pequeñas, el tiempo de reverberación suele ser tan corto que resulta inocua la absorción que anula los reflejos productores de eco.

Las superficies abovedadas, de forma cóncava, deben evitarse cuanto se pueda, o en todo caso hacer lo mayor posible los radios de curvatura (bóvedas planas), o también, al contrario, emplear radios de curvatura muy pequeños. Las superficies curvas actúan como espejos convergentes y al concentrar las ondas sonoras producen distribuciones irregulares del grado de sonoridad en el local.

En cambio, las superficies convexas hoy día se emplean ventajosamente en los estudios de las emisoras de radio y especialmente en los puntos próximos a la orquesta. Las llamadas superficies policilíndricas, de materiales duros, buenos reflectores, proporcionan mejor dispersión del sonido que las superficies planas; este detalle tiene mucha importancia para las emisiones de radio, porque con un solo micrófono pueden captarse bien los sonidos de todos los instrumentos de la orquesta, a pesar de la diferencia de distancias y de la diferencia de intensidades o potencias sonoras de los mismos. Es también muy importante que la pared que hay detrás del conferenciante o la pared de fondo del escenario en la sala de conciertos sea "dura" y "sonora", esto es, que refleje bien el sonido, con lo cual puede aprovecharse en la sala la totalidad de la energía sonora emitida y utilizable. Las medidas artificiales para dar al sonido una orientación favorable en dirección al auditorio son de variada índole. Pantallas reflectoras graduables situadas detrás y encima del escenario donde toca la orquesta y pantallas parabólicas en los púlpitos de las iglesias deben llenar precisamente aquella misión. De todos modos, nunca resulta innecesaria la presencia de cierta resonancia adecuada cuyo período no resulte excesivamente largo. En algunos casos no hay más remedio que recurrir a medios electroacústicos para mejorar la audibilidad de un local. Pero debe quedar claro que éste es un recurso de emergencia. Para un nivel alto de exigencia en cuanto a impresión auditiva en teatros, locales de conciertos e iglesias, la audibilidad debería ser tal que no se hicieran necesarios los altavoces.

Amortiguadores del sonido para tuberías

A través de chimeneas o pozos de ventilación y de los conductos de aire acondicionado pueden transmitirse tanto los ruidos propios que producen estas instalaciones, como los que les llegan al atravesar una habitación.

A través de pozos de ventilación que son compartidos por dos o más viviendas puede empeorar de manera intolerable la amortiguación que existía en la pared medianera (por efecto de transmisión indirecta).

Las transmisiones de un local a otro son posibles: 1) A través de las aberturas del pozo de ventilación, aunque dichas aberturas estén separadas por pisos.

2) A través de las paredes exteriores del propio pozo.

3) A través de las paredes interiores del mismo.

Estos "caminos" pueden interferirse aprovechando los factores que influyen en la propagación, a saber:

- a) La amortiguación longitudinal que ofrece el mismo pozo, la cual es tanto mayor cuanto mayor sea la distancia entre aberturas y más poroso el revestimiento de las caras interiores.
- b) La sección horizontal del pozo y el tamaño de las aberturas; cuanto mayores sean estas superficies, mayor será la propagación.
- c) El espesor de los muros del pozo de ventilación; cuanto más espesor, menor es la propagación.

También deben estudiarse, para el aislamiento sonoro en el interior de pozos de ventilación, la influencia de los cambios de dirección y hendiduras en sección. Para la construcción de pozos de ventilación y conductos que sigan las normas de mínimos en cuanto a protección acústica de viviendas, véase DIN 4109, hoja 3, capítulo 3.

Sonido en los sólidos y trepidaciones

Las vibraciones de frecuencia audible que se propagan por los cuerpos sólidos son designadas con la denominación de *sonido en los sólidos*. La propagación de las ondas en los elementos constructivos, que en su mayor parte tienen las formas de barras y de placas, se efectúa preferentemente como oscilaciones por flexión. Las vibraciones mecánicas de los elementos de obra, cuya frecuencia es inferior a 16 Hz, no producen ya sonidos audibles, dan más bien sensaciones táctiles o bien son apreciadas directamente por el cuerpo y reciben la denominación de trepidaciones. Pueden provocar oscilaciones y aceleraciones que lleguen a comprometer la estabilidad de las obras. Cuando las trepidaciones son producidas por efecto de un proceso no lineal, como p. ej. un golpe o un choque, se originan simultáneamente frecuencias múltiples de la fundamental (armónicos) que suelen caer en el campo de los sonidos audibles. Los elementos de obra que tienen forma de grandes placas o superficies planas (paredes, techos o pisos) o las piezas de maquinaria (cubiertas o envolventes) irradian las vibraciones que a ellos llegan por vía sólida como si fuesen grandes membranas de altavoz y las convierten en sonidos de propagación aérea. Las fatigas producidas por las trepidaciones y por los sonidos suelen, pues, superponerse y coexistir. Se hacen sumamente desagradables cuando los elementos de obra son excitados en sus frecuencias de resonancia. Así, pues, la protección contra los sonidos en los sólidos y las trepidaciones debe perseguir como finalidad principal lograr reducir al mínimo posible la producción de vibraciones en máquinas y aparatos, o bien los ruidos producidos por el trabajo y propagados por los sólidos, y cuando menos localizarlos lo más posible en su punto de producción. Es preciso, pues, impedir o dificultar la propagación y radiación tanto de las trepidaciones como de los sonidos y frecuencia audible.

Los problemas de la protección contra el sonido en los sólidos y las trepidaciones

- a) Aislamiento entre calles y edificios.

En este caso el aislamiento de las trepidaciones del tráfico con frecuencias inferiores a 16 Hz, es muy difícil de lograr.

Cuando el subsuelo no es de roca, puede obstaculizarse la expansión de ondas de superficie mediante una hendidura o zanja excavada hasta el nivel de los cimientos junto al edificio, o bien abierta entre la vía de tráfico y el edificio a proteger. La zanja debe protegerse de las filtraciones de agua y rellenarse únicamente con materiales muy blandos e impuntrescibles tales como lana mineral, hojas de material plástico esponjoso, etc.

En el caso más corriente se trata de impedir los efectos perturbadores para el edificio (o para un aparato delicado o una máquina que existe en su interior) que provienen de una fuente de vibraciones. Es lo que se denomina "aislamiento pasivo".

Para ello hay que impedir el paso de las vibraciones elásticas por los sólidos incluso en la gama de bajas frecuencias. Así, hoy en día es cosa corriente que, en las emisoras de radio y en las cabinas de mediciones sonoras, los locales estén formados a modo de cajas autoportantes interiores a los espacios estructurales y "suspendidas" sobre muelles de acero. Estos pueden ser barras longitudinales (de ballestas) o bien muelles helicoidales.

- b) Aislamiento pasivo de aparatos sensibles y máquinas de precisión.

Una rectificadora de cilindros, por ejemplo, y muchas otras máquinas para los más delicados trabajos, así como las balanzas de alta sensibilidad y, en determinados casos, las instalaciones de telecomunicación, necesitan para conseguir un grado de exactitud aceptable en su funcionamiento quedar aisladas completamente de las trepidaciones del tráfico y de las vibraciones que otras máquinas más groseras puedan producir desde edificios vecinos. Para ello hay que disponer para cada máquina o conjunto de aparatos un bloque firme de cimentación apoyado mediante algún tipo de suspensión blanda.

- c) Aislamiento de las perturbaciones vibratorias que se difunden por el suelo a partir de las cimentaciones de máquinas y martinetes.

Es lo que se denomina "aislamiento activo". El dispositivo a emplear es básicamente el mismo del aislamiento pasivo, es decir, se fija sólidamente el elemento excitador a una base de cimentación muy gruesa y ésta se apoya sobre algún tipo de suspensión blanda.

- d) Aislamiento activo de máquinas más ligeras y otras fuentes de vibraciones que descansan sobre techos de un edificio o están en contacto inmediato con ellos.

Lo fundamental en este caso es impedir la resonancia de un techo cuya frecuencia propia ha sido excitada. Aquí quedan descartados los cimientos gruesos a causa de la limitada resistencia a flexión del techo. A lo sumo puede tenderse un bastidor plano, más o menos relleno de hormigón según las posibilidades de resistencia estática (pilares).

El aislamiento contra el ruido de pisadas, que pertenece también a este tipo de vibraciones elásticas, se ha tratado ya en otro apartado. Más indicaciones en DIN 4150.

netes de calda libre, aire comprimido o vapor, máquinas de oficina, multicopistas, etc.

Bases de la protección contra el sonido en los sólidos

Con el desequilibrio de máquinas rotatorias, así como con las aceleraciones y deceleraciones de los movimientos alternativos y, sobre todo, en ocasión de sollicitaciones al choque se desarrollan esfuerzos que se transmiten a los apoyos y cimentaciones de tales máquinas. A veces también, algunas piezas de estas máquinas tienen tendencia a vibrar por resonancia cuando el número de revoluciones alcanza determinada frecuencia, y como consecuencia se producen golpes y choques de gran intensidad. Para una misma fuerza, estos golpes son tanto más reducidos cuanto mayor es la masa de la máquina. Se recomienda encarecidamente fijar el zócalo o basamento de la máquina en un bloque de cimentación lo mayor posible, de manera bien firme. Con objeto de evitar, en cuanto se pueda, la transmisión de esfuerzos a la subestructura o terreno de base es necesario descansar la máquina junto con su bloque de cimentación sobre una capa elástica. En esta forma se origina una estructura oscilante dotada de una elevada frecuencia propia

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{c}{m}} \text{ [Hz]} \quad \text{o bien} \quad f_0 = 5 \cdot \sqrt{\frac{c}{G}} \text{ [Hz]}$$

siendo c una constante elástica en kg/cm, m la masa, o sea el valor $G/981$ en kg seg²/cm y G el peso en kg.

Para el caso de resortes o muelles de acero puede ponerse también

$$f_0 = \frac{5}{\sqrt{\Delta l}} \quad \text{donde } \Delta l \text{ es el aplastamiento del resorte en cm.}$$

Si en lugar de resortes separados hay una capa continua para el aislamiento contra el sonido en los sólidos, se introducirá su módulo de elasticidad E (en kg/cm²) y, a su vez, la masa m se sustituirá por la carga σ por unidad de superficie (kg/cm²). En tal caso, la deformación de los resortes dará

$$\epsilon = \frac{\Delta l}{l} = \frac{\sigma}{E}$$

donde Δl = deformación total en cm y l = altura primitiva en cm de la capa aislante.

Así, p. ej., para una compresión del 10%, es decir para $\epsilon = 0,1$, la carga por unidad de superficie será sólo del 10% del módulo de elasticidad. La frecuencia propia será entonces

$$f_0 = 5 \cdot \sqrt{\frac{E \text{ din.}}{1,0 G}} \text{ Hz}$$

En lugar del módulo estático de elasticidad E , que es el que sirve para el cálculo de la deformación bajo la acción de la carga, es necesario utilizar aquí, donde la sollicitación es de tipo vibratorio, el módulo dinámico E . Según indica la siguiente tabla, puede llegar a ser, en la goma, hasta el doble del módulo estático de elasticidad, y en el corcho hasta 5 a 20 veces, lo que equivale a decir que estas materias, cuando se trata de movimientos alternativos rápidos son mucho más duras, es decir menos flexibles, que bajo la acción de cargas en reposo.

Aplicación de técnicas acústicas en la construcción

Al contrario de lo que ocurre con el aislamiento térmico, el aislamiento sonoro no se puede calcular inmediatamente a partir de las constantes que son características de cada material. Como ya se ha visto, el paso del sonido a través de techos y paredes sólo puede impedirse usando materiales densos y pesados, pero en cambio, los materiales "aislantes" del calor, ligeros y porosos, resultan eficaces también como absorbentes acústicos al utilizarlos como revestimientos o capas interpuestas. Al objeto de que los técnicos puedan formar juicio de las condiciones acústicas de una construcción se ha llevado a cabo un trabajo considerable para estudiar sistemáticamente los tipos más importantes de techos y paredes, y como resultado de este estudio se dan a conocer, en condiciones de ser aplicados prácticamente, los sistemas que proporcionan, en algunos de aquellos

Campo de empleo del aislamiento contra el sonido en los sólidos

Pavimento flotante sobre techos macizos.

Placas de fibra mineral interpuestas, en techos con vigas de madera, por debajo del pavimento.

Capa blanda interpuesta entre un pavimento de madera y el techo macizo.

Revestimientos en las paredes y techos de un edificio con estructura autoportante.

Elementos de unión de las paredes dobles de efecto nulo en cuanto a transmisión.

Capas blandas interpuestas entre la capa interior y la exterior en aquellos recintos cuyos elementos planos de separación son dobles (emisoras).

Cimentaciones y apoyos para máquinas-herramientas o maquinaria como: hilaturas y telares, rotativas de imprenta, estampadoras, prensas, centrales telefónicas, tableros de control, bastidores de selectores, motores, compresores, ventiladores, marti-

tipos, un aislamiento eficaz. En la norma DIN 4109 se encuentran estos ejemplos.

Las instrucciones que siguen deben conducir a la aplicación práctica de los conocimientos sobre protección acústica, que se han explicado antes, a todas las partes del edificio esencialmente implicadas en ella. Y al mismo tiempo dar un criterio para juzgar la eficacia de una construcción en cuanto respecta a sus condiciones técnico-acústicas.

Condiciones mínimas para una protección acústica suficiente

En la tabla 1 de la hoja 2 de la norma DIN 4109 (véase pág. 99) se especifican los datos mínimos de protección acústica para paredes y techos de separación entre locales. Comprenden éstos los relativos a viviendas, viviendas con diversos usos, hoteles, hospitales y escuelas. Como estos datos corresponden a condiciones mínimas pero no siempre satisfactorias, se dan, junto a los valores incondicionales de tolerancia, otros más adecuados para una protección acústica "mejorada" que se recomienda sean tenidos en cuenta.

La protección contra el sonido aéreo y el ruido de pisadas viene caracterizada por los valores remanentes de amortiguación respectivos (véanse pág. 83, 84 y 86).

Para el ruido de pisadas se dan dos valores que dependen del momento en que se efectúa la comprobación, a fin de tener en cuenta un eventual "envejecimiento" del material aislante con el uso prolongado.

Asimismo se ha consultado con expertos para establecer las distintas condiciones que deben presidir el aislamiento contra el sonido aéreo entre locales "silenciosos" o "ruidosos" en hoteles (GPSA ≥ 10 dB) y en viviendas que limitan con industrias o bares.

En todos estos casos no sólo hay que conseguir una mejora de la protección acústica en el elemento de separación, sino también una disminución paralela de las transmisiones indirectas (propagación longitudinal o lateral del sonido).

Las instalaciones para servicios colectivos como ascensores, trituradores de basura y conducciones de agua no deben proporcionar ruidos a las habitaciones anejas superiores a

30 fones, según la norma DIN 5045

o bien: 40 fones, tolerables excepcionalmente cuando se trata de instalaciones funcionando durante el día (de 7 a 22 horas).

Las indicaciones (o condiciones) de la norma DIN 4109 son válidas solamente para el aislamiento acústico entre locales dentro del mismo edificio; no tienen, por consiguiente, nada que ver con protección contra ruidos exteriores. Para éstos no existen todavía prescripciones DIN. Sin embargo, se citan como orientación los valores que ofrece la Instrucción VDI 2058 (ingenieros alemanes) según las cuales las intensidades de los ruidos producidos por las industrias, medidas junto a las ventanas de la vivienda más próxima, no deben exceder de:

	diurnos	nocturnos
en zonas industriales	65 fones	50 fones
en zonas con predominancia de vivienda	60 fones	45 fones
en zonas residenciales	50 fones	35 fones

Comprobación de que existe suficiente protección acústica

La comprobación de que los elementos empleados ofrecen la protección acústica según la norma DIN 4109, hoja 2, puede realizarse por tres caminos:

Sin mediciones acústicas en el edificio

Los sistemas constructivos que muestra la hoja 3 de la norma DIN 4109 se considera que son suficientes para conseguir el debido aislamiento acústico. No es necesaria otra comprobación.

Mediante prueba de aptitud

Se puede comprobar si existe suficiente protección acústica en un edificio realizando ensayos en determinados lugares del mismo, oficialmente admitidos como "lugares clave". Por lo que respecta al ruido de pisadas, tales ensayos deben proporcionar un grado de protección contra el ruido de pisadas $+ 5$ dB por encima de los valores de la columna c_2 de la tabla 1 de la hoja 2 de la norma DIN 4109. Esta cifra de aumento es el margen de seguridad que permite garantizar que el techo seguirá ofreciendo el valor mínimo de la tabla tras un uso prolongado en el tiempo. Los revestimientos para techos sometidos a ensayo de calidad deben proporcionar los siguientes "grados de mejora" mínimos según el grupo a que pertenece el techo en bruto: para techos macizos del grupo I, 24 dB; para techos macizos del grupo II, 19 dB. En los techos del grupo I, el revestimiento debe, al mismo tiempo, amortiguar suficientemente el sonido aéreo. El resultado de un ensayo tiene validez solamente durante 3 años, a menos que durante este período se hayan verificado con éxito un mínimo de tres ensayos comprobatorios.

Mediante prueba de eficacia

Una vez terminado el edificio se puede conocer mediante una prueba de eficacia si hay suficiente protección acústica cualquiera que sea el sistema constructivo empleado, aunque no esté comprendido entre los citados en la norma DIN 4109 (hoja 3) ni se haya sometido a una prueba de aptitud.

Consideraciones prácticas

Como se desprende de la hoja 2 de la norma DIN 4109, se hacen necesarios para formarse un juicio de la protección acústica existente en techos, paredes, pozos de ventilación y conductos, una serie de datos previos:

- Clase y peso específico del material constructivo (a determinar mediante las correspondientes tablas).
- Dimensiones de las superficies planas y juntas entre ellas.
- Peso/unidad de superficie de cada capa en los techos y paredes de una o varias capas.

Si el sistema empleado corresponde a uno de los ejemplos de la hoja 3 de la norma, estos datos son de obtención inmediata; si no es así, hay que seguir las indicaciones del párrafo anterior para su determinación.

Paredes y techos con amortiguación acústica

Para la eliminación del sonido debe darse prioridad a las medidas de amortiguación frente al empleo de absorbentes. Es más eficaz evitar que un ruido entre una habitación haciendo que las paredes estén acondicionadas debidamente para la amortiguación, que buscar la disminución del nivel sonoro empleando revestimientos absorbentes en el techo y paredes. En el apartado "amortiguación del sonido aéreo" para paredes sencillas hemos señalado, para una pared de 15 kg/m^2 de peso/unidad superficie, un valor de la amortiguación del sonido aéreo, en promedio, de 25 dB, mientras que utilizando sistemas basados en la absorción se consigue una disminución del nivel sonoro de 5 a 10 dB solamente; además, según las circunstancias, para este segundo proceso el gasto a realizar es sustancialmente mayor, sobre todo tratándose de revestimientos de grandes superficies.

No obstante, hay que tener en cuenta las distintas exigencias funcionales, ya que los revestimientos absorbentes actúan eficazmente reduciendo el ruido de las fuentes sonoras existentes en el propio local y no situadas en la proximidad inmediata del observador; tal es el caso de varias máquinas ruidosas situadas en una nave fabril donde no hay posibilidad de "envolverlas" con paredes amortiguantes porque hay que trabajar permanentemente con ellas, observarlas o controlarlas manualmente. Pero cuando se trata de que los ruidos no salgan de un local o no entren en el mismo —o cuando hay posibilidad de "encerrar" las fuentes de sonido porque no es necesario atenderlas constantemente— son convenientes las paredes y techos amortiguantes. Las indicaciones de la norma DIN 4109 se refieren a la protección acústica en el interior de los edificios, medianeras, techos y

Tabla 1. Requisitos mínimos para la protección contra el sonido aéreo y el ruido de pisadas en forjados y paredes, y propuestas para una protección acústica aumentada en locales de reposo

Columnas		a	b	c ₁	c ₂	d	e ₁	e ₂
Líneas	Elementos constructivos planos	Requisitos mínimos 1)			Propuestas de mayor protección acústica para locales de reposo			
		Grado de protección C _{sonido aéreo} G.P.S.A. en dB	Grado protección C _{ruido pisadas} G.P.R.P. en dB		G.P.S.A. en dB	G.P.R.P. en dB		
			Al terminar la obra 2)	Al cabo de 2 años		Al terminar la obra 2)	Al cabo de 2 años	
1.1 Edificios de varias plantas con locales de reposo (viviendas o lugares de trabajo)								
1	Forjados de piso	Forjados por debajo de desvanes inhabitables	—		—			
2		Forjados por debajo de desvanes útiles (p. ej. tendederos, lavaderos, buhardillas, etc.)	0	3	0	≥3	≥13	≥10
3		Forjados de separación entre viviendas ³⁾	0	3 ⁴⁾	0 ⁴⁾	≥3	≥13 ⁴⁾	≥10 ⁴⁾
4		Forjados que cubren sótanos, pasajes, cajas de escalera, etc., y forman el suelo de salas de reposo	0	3 ⁴⁾	0 ⁴⁾	≥3	≥13 ⁴⁾	≥10 ⁴⁾
5		Forjados sobre accesos públicos, rampas de entrada en garajes etc., y forman el suelo de salas de reposo	3 ⁴⁾	3 ⁴⁾	0 ⁴⁾	≥3 ⁴⁾	≥13 ⁴⁾	≥10 ⁴⁾
6		Forjados por debajo de terrazas y galerías, que cubren salas de reposo	—	3	0	—	≥13	≥10
7		Forjados por debajo de pasillos colectivos en general		3 ⁴⁾	0 ⁴⁾		≥13 ⁴⁾	≥10 ⁴⁾
8		Forjados en viviendas de dos niveles (Duplex)		3 ⁴⁾	0 ⁴⁾		0	≥13 ⁴⁾
9	Paredes	Paredes de separación entre viviendas ³⁾ y paredes entre locales de trabajo distintos	0	—		≥3	—	
10		Paredes de caja de escalera y de corredores de acceso	0			≥3		
11		Paredes que limitan pasajes y ramas de acceso a garajes y otras	3 ⁴⁾			≥3 ⁴⁾		
1.2 Viviendas unifamiliares ³⁾								
12	Forjados de piso en casas alineadas y pareadas	—	3 ⁴⁾	0 ⁴⁾	≥0	≥13 ⁴⁾	≥10 ⁴⁾	
13	Forjados de piso en casas exentas		—		≥0	≥3	≥0	
14	Paredes medianeras entre casas alineadas o pareadas	3			≥3	—		
1.3 Bares, cines, talleres, etc. que limiten con viviendas o lugares de trabajo distintos								
15	Forjados de piso	10 ⁴⁾	20 ⁴⁾	20 ⁴⁾	>10 ⁴⁾	>20 ⁴⁾	>20 ⁴⁾	
16	Paredes ¹⁶⁾	10 ⁴⁾	—		>10 ⁴⁾	—		
1.4 Hoteles y similares, hospitales								
17	Forjados de piso entre locales «silenciosos» (dormitorios, salas de enfermos) y locales «ruidosos» (cocinas, comedores)	10 ⁴⁾	20 ⁴⁾	20 ⁴⁾	>10 ⁴⁾	>20 ⁴⁾	>20 ⁴⁾	
18	Paredes correspondientes a la línea anterior	10 ⁴⁾	—		>10 ⁴⁾	—		
19	Forjados de piso que separan dos locales «silenciosos»	0	3	0	≥3	≥13	≥10	
20	Paredes correspondientes a línea anterior	—3 ¹¹⁾	—		≥0	—		
1.5 Escuelas ¹⁵⁾								
21	Forjados de piso entre aulas y entre aulas y pasillos	3	13	10	—			
22	Paredes entre aulas	3	—					
23	Paredes entre aulas y pasillos o cajas de escalera	0						

paredes, pasos interiores y entradas de garajes colectivos; pero en las paredes exteriores (fachadas), cuya amortiguación sonora es función de la superficie de sus aberturas, para la protección acústica de ellas se fijan condiciones según la cuantía del nivel sonoro exterior y del nivel máximo tolerable que, por su causa, puede alcanzar el sonido en el interior del edificio. Por este motivo, siempre que se trate de construir escuelas, hospitales, teatros o estudios radiofónicos, etc. en un área donde abundan los ruidos, se necesita la oportuna colaboración de un técnico en acústica.

Paredes de una sola capa

En la reproducción de la hoja 3 de la norma DIN 4109 se dan, al final del capítulo, los espesores mínimos de las paredes de una capa y a la vez la influencia del peso en los elementos de separación en general. Sólo se alcanza un grado de protección contra el sonido aéreo ≥ 0 dB, sin exigencia de tomar medidas especiales en los techos y paredes contiguos, con las paredes de peso superior a los 400 kg/m². Las paredes cuyo peso esté entre 350 y 400 kg/m² necesitan que los elementos planos contiguos tengan un peso mínimo de 250 kg/m² para evitar una pérdida de amortiguación causada por la transmisión indirecta.

Cuando se deje una cara de la pared sin revocar hay que prestar atención a las juntas. Un revoque por una cara de 1,5 cm de espesor, por ejemplo, es insuficiente porque la energía sonora puede penetrar por las juntas y poros del material. También hay que vigilar la aparición de grietas —incluso en paredes no portantes— en la junta de entrega con el techo, ya sean causadas por retracción de fraguado o asentamiento, porque una rendija continua, aunque sólo sea de 0,5 mm de longitud por 0,5 ó 1 mm de anchura, repercute en una disminución de varios dB en la capacidad amortiguadora.

GRADO DE PROTECCIÓN CONTRA EL SONIDO AÉREO DE ELEMENTOS PLANOS DE UNA SOLA CAPA, SEGÚN SU PESO POR M²

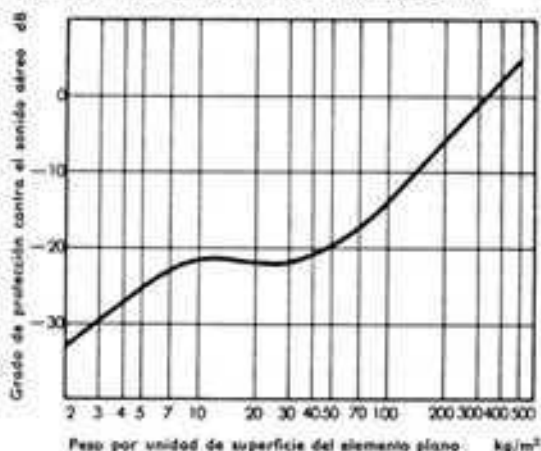


FIG. 290

Existe un gran número de mamparas y paredes ligeras utilizadas en viviendas e industrias, las cuales están desprovistas de condiciones de protección acústica, o bien las presentan en menor grado que los tabiques. Las más ligeras entre ellas están compuestas por placas de hormigón o yeso poroso que en la mayoría de los casos se fijan en la obra tan sólo mediante un sistema de ranura y lengüeta (machihembrado). Como son prefabricadas no necesitan revoque; basta un enlucido liso. Estas paredes tienen un peso específico aproximado de 500 kg/m³ y su peso/unidad de superficie es sólo de 25 a 60 kg/m², pero además presentan una rigidez extraordinaria a la flexión, todo lo cual hace de ellas unas "membranas" muy adecuadas para vibrar por el "efecto de acomodación" (véase pág. 85), disminuyendo la amortiguación acústica de manera tan considerable, que sólo son apropiadas en lugares en que es suficiente un grado de protección sonora de 25 dB.

Tampoco las paredes aisladas, de 5 a 10 cm de espesor, revocadas por las dos caras, a base de tableros aglomerados de lana de madera, corcho o espuma sólida permiten una utilización prácti-

RUIDOS PERTURBADORES MÁS COMUNES EN LOS EDIFICIOS DE VIVIENDAS, CAUSAS DE SU PROPAGACIÓN Y MEDIDAS PARA EVITARLOS

Clases de ruido	Causas de su propagación	Medidas para evitarlos
Percepción de la palabra hablada, canto, radio, en locales contiguos	Transmisión del sonido aéreo a través de paredes y pisos así como propagación indirecta a lo largo de canales de aire acondicionado, chimeneas, etc.	Mejorar la amortiguación del elemento plano de separación. Eficacia siempre limitada por la existencia de propagaciones indirectas.
Percepción del sonido de un piano	Propagación del sonido aéreo, unida muchas veces a transmisión de ondas de sólidos a cargo del forjado de piso	Igual que la anterior añadiendo mejora del piso para amortiguar el ruido de pisadas, o materiales blandos debajo de los apoyos del piano. Tampoco puede lograrse gran eficacia debido a las propagaciones indirectas.
Ruido de pasos, objetos que caen, crujidos de armarios o camas, ruidos al alisar una estufa, etc.	Propagación del ruido de pisadas como caso típico de ondas de sólidos o de flexión del piso	Mejorar el G.P.R.P. (grado de protección contra el ruido de pisadas) p. ej. mediante un pavimento flotante en el suelo de la parte superior. Una eliminación substancial de estos ruidos sólo puede obtenerse con forjados que ya presenten buenas cualidades acústicas antes de los acabados.
Chasquidos de interruptores, ruidos de desconectadores automáticos (neveras), puertas que se cierran, poleas del ascensor, etc.	Transmisiones por ondas de sólidos que recorren la estructura y alcanzan a las paredes del local	Precauciones a aplicar en los propios lugares en que se producen los ruidos (p. ej. interruptores silenciosos, cintas de goma en las puertas, etc.). Los ruidos se percibirán tanto más intensamente cuanto menos peso la pared.
Ruidos de grillos, descargas de agua en W.C., rumor del gas en calefacción, etc.	Vibraciones producidas en el seno de las cañerías y transmitidas a través de los sólidos	Conducciones silenciosas, con poca presión (prevención al "golpe de ariete") manguitos amortiguantes en empalmes y tramos críticos. Distribución adecuada en proyecto.
Lavado de vajilla y otros ruidos propios de la cocina	Propagaciones de ondas de sólidos a lo largo de las paredes y forjados de piso	Mejorar la amortiguación del pavimento de la cocina contra el ruido de pisadas. Separar la fregadera de la pared mediante una capa blanda.
Ruidos procedentes del exterior, (p. ej. del tráfico)	Propagación del sonido aéreo a través de las ventanas	Mejorar la amortiguación sonora de las ventanas, ajuste de sus marcos etc.
Ruido producido en el mismo local donde se encuentra el observador, percibido con excesiva intensidad.	Excesiva reverberación dentro del local (causada por escasa absorción)	Revestir las superficies más convenientes con materiales absorbentes, tanto en paredes como en el techo.

Cuadro procedente del n.º 75 de la publicación de la sociedad investigadora "Bauen und Wohnen" (BfW), sus autores son Gösele/Schüle, artículo "Sonido, color y humedades. —Fundamentos, experiencias e instrucciones básicas para la edificación".

ca de las propiedades de flexibilidad y blandura de estos materiales. De hecho, estas paredes de dos capas deben asimilarse a las de una capa porque las láminas que las componen están fuertemente unidas y sus rigideces se diferencian muy poco, pero se produce en ellas una respuesta acústica semejante a la de las paredes dobles, cuyo papel juegan aquí las capas de revoque exterior y el ánima rígida interpuesta, que permite el paso de las frecuencias medias que son, como es sabido, las más importantes. Por el mismo motivo tampoco es admisible en técnica acústica embeber en una pared las placas de aislante térmico, incorporarlas al encofrado —o, en los techos, colocarlas encima

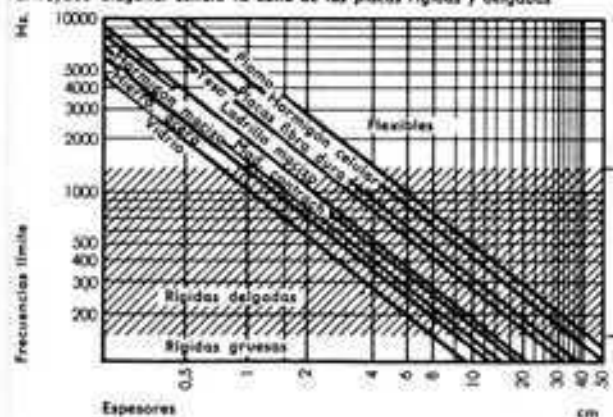
GRADO DE PROTECCIÓN CONTRA EL SONIDO AÉREO EN LAS PAREDES DE UNA SOLA CAPA DE SEPARACIÓN ENTRE VIVIENDAS, REVOCADAS POR AMBAS CARAS

Tipo de pared y espesor de la misma (con revoque por ambas caras)	Peso por unidad de superficie kg/m ²	Grado de protección contra el sonido aéreo según DIN 4109 dB
24 cm Bloques de arenisca caliza (piedra artificial)	510	4
24 cm Ladrillo macizo	460	3
24 cm Ladrillo hueco	350	1
24 cm Bloques huecos de hormigón de cascote	330	-1
24 cm Bloques huecos de hormigón de cascote, huecos rellenos con arena	400	4
24 cm Bloques huecos hormigón pómez i.e. con huecos rellenos de arena ii. con huecos rellenos de mortero	280 350 370	-3 0 1
24 cm Bloque macizo de hormigón de piedra pómez	340	0
25 cm Hormigón vertido de cascote	400	1
12 cm Hormigón macizo	330	0
12,5 cm Hormigón macizo con placas de yeso de 2,5 cm embebidas por ambas caras	360	2
20 cm Hormigón poroso (peso específico 900 kg/m ³)	220	-5
24 cm «Dursol» (bloques huecos de viruta aglomerada con cemento; relleno de hormigón)	440	1

Sacado de la publicación de la sociedad de investigaciones "Bauen und Wohnen" (FBW), n.º 75.

ESPORES MENOS CONVENIENTES DE LOS MATERIALES

El rayado diagonal señala la zona de las placas rígidas y delgadas.



A causa del efecto de acomodación o acomodamiento la amortiguación acústica resulta inferior a lo que cabría esperar según el peso del elemento para las frecuencias inferiores a la límite (aquí situada en el centro de la gama básica de protección acústica).

del encofrado— y utilizar techos huecos o macizos de dichos materiales aislantes, caso que hayan de revocarse posteriormente las caras interiores del local.

Las placas "emparedadas" pueden utilizarse como pared de compartimentación allí donde se requieran elementos de separación extremadamente delgados. Normalmente están compuestas por dos planchas metálicas fuertemente adheridas en toda su superficie a una lámina de PVC (cloruro de polivinilo) y presentan un espesor de pocos milímetros. Estas placas se utilizan en tolvas de carga, canales de transporte y caperuzas acústicas de máquinas, porque no pueden vibrar y, como todas las oscilaciones propias quedan interrumpidas, las excitaciones que avanzan hacia dentro desde los bordes no ocasionan radiación sonora alguna.

En la construcción de vagones se utilizan para las paredes laterales y el suelo porque permiten interponer materiales aislantes, tanto acústicos como térmicos, entre los perfiles portantes. También en la construcción de buques se consiguen notables ventajas acústicas empleando estas placas "emparedadas". Las paredes dobles de este material resultan demasiado caras. Pero en el caso de que haya que practicar una cavidad en una pared gruesa (para una caja de empalmes de corriente eléctrica, teléfono o aparatos, etc.) se recomienda recubrir el fondo del nicho con una de estas placas emparedadas de tan alto grado de amortiguación acústica; dichas placas no deben romperse en ningún punto; todas las conducciones saldrán por lo tanto, por el lado de utilización del aparato o del interior de la pared.

Paredes de dos capas

Las paredes dobles construidas correctamente según las indicaciones acústicas ofrecen una amortiguación sonora satisfactoria con menor peso y muchas veces incluso menor espesor que las paredes simples de igual coste.

Como las paredes dobles presentan en la resonancia una disminución relativa de la amortiguación, comparadas con las paredes simples de igual peso, hay que darles unas dimensiones tales que la frecuencia de resonancia quede por debajo de los 100 Hz.

Para paredes dobles se usa la fórmula sencilla, en el caso de dos capas iguales:

$$a \geq \frac{100}{g}$$

y para paredes dobles con una capa gruesa y otra ligera:

$$a \geq \frac{50}{g}$$

en las que a es la distancia entre capas, en cm y g es el peso/unidad de superficie de una de ellas.

A continuación se dan, reunidas, todas las reglas que deben presidir la construcción de paredes dobles con acondicionamiento acústico:

GRADOS DE PROTECCIÓN CONTRA EL SONIDO AÉREO Y GRADOS MEDIOS DE AMORTIGUACIÓN PARA DIVERSAS PAREDES DE UNA SOLA CAPA (Paredes con revoque por ambas caras)

Tipo de pared	Peso por unidad de superficie kg/m ²	Grado de amortiguación medio dB	Grado de protección contra el sonido aéreo dB
Placas de hormigón de árido ligero 6 cm	110	35	-16
Bloques de hormigón de árido ligero 11,5 cm	140	42	-7
Placas de yeso de 8 cm con edición de tableros de viruta de madera	70	31	-17
Placas de yeso macizo (sin revoque) 10 cm	105	36	-14
Placas porosas de yeso 6 cm	36	29	-24
Placas de hormigón poroso 7,5 cm	62	34	-17
Placas de hormigón poroso 10 cm	85	36	-15
Placas de hormigón poroso 15 cm	150	41	-9
Placas de hormigón poroso 20 cm	180	44	-6
Bloques ligeros de hormigón caliza 20 cm	220	44	-5
Ladrillo hueco 7,1 cm	145	41	-9
Ladrillo hueco 11,5	200	44	-5
Ladrillo macizo 11,5 cm	270	46	-3
Tableros de viruta de madera con revoque 5 cm	50	35	-15
Bloques de vidrio huecos (según formato) (sin revoque) 8 cm	70-80	37-42	-12 a -6

Sacado de la publicación de la sociedad de investigaciones "Bauen und Wohnen" (FBW), n.º 75.

Tipo de pared	Espeor de la pared	Peso por unidad de superficie	Grado medio de amortiguación sonora	Grado de protección contra el sonido aéreo
	cm	kg/m ²	dB	G.P.S.A. dB
DOS CAPAS FLEXIBLES FORMADAS POR:				
Placas de cartón-yeso de 1,25 cm, sujetas a sendos entramados de listones; capas separadas y cámara rellena de estera de lana mineral	19,5	35	48	0
Placas de fibrocemento de 0,6 cm sujetas a entramados de listones; cámara rellena de lana mineral suelta	18	30	48	0
Placas de viruta de madera aglomerada de 2,5 cm de esp., con revoque por su cara exterior, sujetas a dos entramados de listones cuyos montantes están alternados; cámara de aire vacía	16	70	52	3
Placas de coque, 2 cm de esp., con revoque por su cara exterior, sujetas a dos entramados de listones sin enlace alguno entre ellos. Cámara de aire vacía	26	70	52	2
Das tabiques separados de placas ligeras de viruta de madera aglomerada, unidas con mortero y revocadas por sus caras exteriores. Cámara de 1 cm de anchura llena con hojas de cartón ondulado o estera de fibra mineral	14	85	51	3
DOS CAPAS RÍGIDAS FORMADAS POR:				
Placas de hormigón de piedra pómez de 6 cm de esp., revocadas por la parte exterior; en cámara de aire (5 cm), estera de fibra mineral	20	150	48	-2
Placas macizas de yeso, de 6 cm de espesor; en la cámara de aire (3 cm), placas de lana mineral	15	108	46	-4
Tabiques de hormigón poroso, de 7 cm de espesor, revocados por sus caras exteriores. En la cámara de aire (5 cm), lana mineral suelta	23	120	45	-5
Paredes de placas macizas de yeso y placas de yeso poroso con espesores totales de 10 cm y 5 cm respectivamente; en cámara de aire (3,6 cm), estera de lana mineral	19,2	150	47	-2
Tabiques de ladrillo macizo, de 6,5 cm cada uno, con revoque exterior. Cámara de aire (5 cm) vacía.	20	275	48	-2

Sacado de la publicación de la sociedad de investigaciones "Bauen und Wohnen" (IFWI), n.º 75.

- Utilización de láminas lo más delgadas, flexibles y pesadas posible como capas.
- Máxima separación entre capas.
- La armazón debe ser tal que los "puentes sonoros" sean los mínimos posibles.
- El material flexible exige en caso de una sujeción rígida una distancia entre montantes del bastidor ≥ 50 cm y una superficie de apoyo a los mismos ≤ 5 cm de ancho.
- Relleno del espacio hueco con materias absorbentes para subsanar las deficiencias de amortiguación frente a ondas estacionarias de alta frecuencia.
- Una ejecución meticulosa en evitación de irregularidades en los bordes entre paredes y entre paredes y techos.
- No apoyar una pared amortiguadora encima de un pavimento flotante ni entregarla contra una placa ligera (por ej.: las que recubren conductos de instalaciones).

Para facilitar el despiece del pavimento en las habitaciones grandes de las casas de nueva construcción, sin provocar humedades debidas al mortero del embalsado en pequeñas piezas y al encementado inferior, se han estudiado sistema "secos" que permiten —prescindiendo de la capa de mortero— una aplicación del emlaste en toda la superficie con un máximo de 3 mm de espesor, y una capa igualadora. Las paredes medianeras deben constar siempre de dos capas gruesas, sobre todo entre casas plurifamiliares. Su peso/unidad de superficie debe ser en casas de pisos ≥ 200 kg/m² y en casas

Composición de la pared múltiple			Espesor total de la pared	Peso/unidad de superficie	Grado medio de amortiguación sonora	
Pared maciza	Capa antepuesta	Relleno amortiguante			dB	dB
Placas de yeso macizo 6 cm	Tableros de viruta aglomerada; capa 5 cm auto-sostenida, con revoque por cara exterior	Estera de fibra mineral; 2 cm de separación	14,8	100	50	1
Hormigón de piedra pómez, 6 cm, en placas. Revoque por la cara exterior	Tableros de viruta aglomerada. Capa de 5 cm auto-sostenida, con revoque por cara exterior	Estera mineral o cartón ondulado suelto; 1 cm de separación	14,5	135	50	2
Ladrillo hueco 8 cm	Tableros de viruta aglomerada. Capa de 5 cm auto-sostenida, con revoque por cara exterior	Filtro de fibra mineral arrollable. 2 cm de separación	17	150	52	3
Ladrillo de huecos verticales 11,5 cm	Tableros de viruta aglomerada. Capa de 5 cm auto-sostenida, con revoque por cara exterior	Filtro de fibra mineral arrollable. 2 cm de separación	20,5	210	54	5
Placas macizas de yeso 8 cm	Placas de cartón-yeso de 1 cm, sujetas a entramado de listones	Esteras de fibra mineral. 8 cm de separación	17	100	50	1
Placas de hormigón de piedra pómez 6 cm, con revoque por cara exterior	Placas de cartón-yeso de 1 cm, sujetas a entramado de listones	Esteras de fibra mineral. 8 cm de separación	16,5	100	49	0
Muro de ladrillo macizo de 24 cm, con revoque por ambas caras	Placas de cartón-yeso de 1 cm, sujetas a entramado de listones	Esteras de fibra mineral. 8 cm de separación	36	490	54	5
Tablón de ladrillo hueco de 7,1 cm, con revoque por cara exterior	Placas de fibra mineral, de 3 cm recibidas con yeso sobre el tablón y encima revoque de 1,5 cm		13	150	51	2
Tablón de ladrillo hueco de 7,1 cm, con revoque por cara exterior	Placas de cartón-yeso de 1,25 cm que recubren placas de fibra mineral, de 3 cm recibidas con yeso directamente sobre el tablón		15	135	51	2

Sacado de la publicación de la sociedad de investigaciones "Bauen und Wohnen" (IFWI), n.º 75.

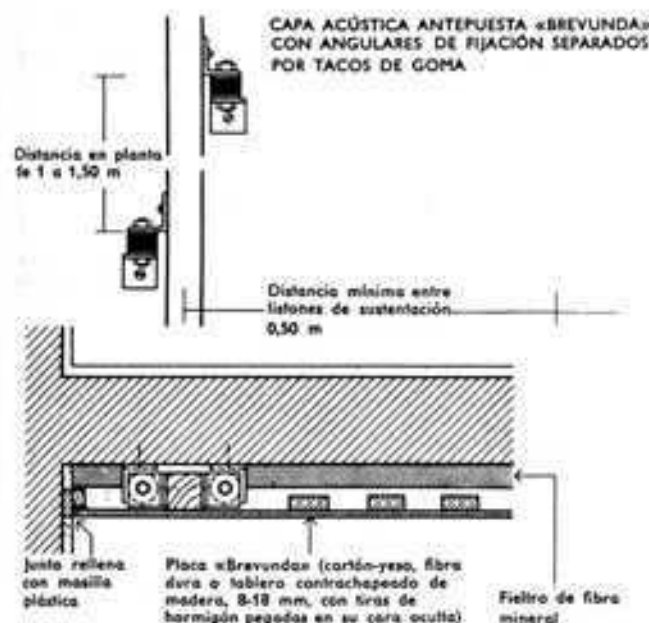
unifamiliares ≥ 100 kg/m²; en ambos casos el espesor mínimo debe ser 10 cm.

La rendija vertical de separación, cuando la fachada contigua pesa menos de 250 kg/m², debe continuar por ésta en forma de junta de separación y llegar hasta la cimentación. Entre salas de fonometría, escenarios y locales de ensayo para orquestas en un teatro, así como en estudios radiofónicos y emisoras, las paredes irán acondicionadas con un grado de protección contra el sonido aéreo $> +10$ dB, superior al de las paredes de separación entre viviendas. En muchos casos habrá que combatir las transmisiones indirectas rodeando completamente un

local con paredes dobles. Asimismo, para impedir la propagación de ondas elásticas desde los bordes hacia dentro, pueden rellenarse las cámaras intermedias con bandas flexibles de material amortiguante o planchas amortiguadoras longitudinales. Para asegurar la sujeción de las paredes amortiguantes a las portantes, puede realizarse mediante elementos de unión formados por ladrillos de corcho o materiales elásticos.

Capas de recubrimiento para paredes

En las paredes cuyo peso/unidad de sup. sea alrededor de 100 kg/m² puede alcanzarse un G.P.S.A. > 0 mediante recubrimientos con placas flexibles de diversos tipos. Para cerciorarse de la eficacia de esta medida en los sistemas constructivos ligeros, hay que proceder previamente a determinar en qué medida alcanza al recinto el sonido propagado por ondas elásticas excitadas a lo largo de las paredes laterales (transmisión longitudinal) las capas de recubrimiento; especialmente si se aplican "en seco" (sin mortero) son apropiadas, sobre todo para el mejoramiento a posteriori de las condiciones acústicas de las paredes que presentan una amortiguación insuficiente, una vez resueltas las "condiciones" de las juntas o bordes. Doblando el espesor —y por tanto el peso— de una pared maciza se aumenta el coeficiente de amortiguación de la misma en unos 5 dB, en cambio con una capa de recubrimiento bien ejecutada se logran, por lo menos, de 8 a 15 dB. En el dimensionado y proyectado de las capas de recubrimiento es fundamental que la distancia mínima entre elementos de fijación no sea inferior a unas cotas prefijadas, según la elasticidad y dureza del material, regla ésta que también debe tenerse presente en la ejecución de cielos rasos. Por lo demás, son válidas para estas capas de recubrimiento todas las reglas enunciadas anteriormente para las paredes de dos capas. Todavía subsiste la creencia de que aplacando directamente una pared con láminas porosas, absorbentes del sonido, puede mejorarse la amortiguación sonora de aquélla. Estos materiales no tienen efecto alguno sobre las cualidades amortiguadoras de la pared. Tan sólo acortan el tiempo de reverberación y con ello disminuyen apreciablemente el nivel sonoro en el interior del local, como consecuencia de su poder absorbente. Para lograr una mayor desvinculación dinámica entre la pared y la capa antepuesta, los cables de sostén van atornillados a unos tacos de goma, emparedados entre angulares, que rodean el tornillo o gancho metálico que se empotra en la pared. Todo el peso de la capa antepuesta gravita (queda suspendido) sobre estos tacos de goma. Como suplemento pueden calzarse los cables de sostén con una placa de corcho de 2 cm de espesor. En la figura puede verse el sistema "Brevunda BP" en el cual se proporciona una calidad amortiguante adicional al material de la placa mediante unas tiras o bandas de hormigón, adheridas a la misma por la parte de dentro, que aumentan su peso sin pérdida alguna en su flexibilidad.



Mamparas de compartimentación

En los edificios para oficinas se utilizan con frecuencia, en la actualidad, locales grandes en los que la renovación del aire no puede hacerse mediante ventanas a causa de la formación de corrientes molestas: estos locales funcionan con aire acondicionado. La principal medida de acondicionamiento acústico consiste en dotar a estos espacios de un techo fuertemente absorbente. También puede lograrse mediante un suelo blando (generalmente una moqueta u otro tipo de tejido) una absorción interesante de las altas frecuencias que suelen ser las de más larga duración. Por otra parte estos suelos eliminan los ruidos de pisadas y arrastre de sillas, etc. Para la subdivisión del espacio en dichos locales pueden utilizarse mamparas compuestas por tablas de 1 a 2 m de anchura, que alcanzan entre 1,5 y 2,2 m de altura. En el caso más simple dichas mamparas están acristaladas a partir del nivel de las mesas, permitiendo la percepción visual del espacio total de la oficina. Su efecto "protector" es mínimo; consiste únicamente en ocasionar una reflexión del sonido que se produce en las conversaciones facilitando su absorción por el techo y el suelo donde sus ondas quedan muy debilitadas. Con todo, una parte importante de la energía sonora traspasa la mampara, por lo cual la diferencia de niveles sonoros a ambos lados rara vez es superior a 5 ó 10 dB. Con mamparas de fibra dura o cualquier otro tipo de ánima rígida y capas por ambos lados de 2 cm, como mínimo, de material absorbente —lana mineral, por ejemplo— revestido por fuera con alguna tela decorativa permeable al sonido, se consiguen, en condiciones normales, diferencias de nivel sonoro de hasta 15 dB.

Tabiques móviles

Cuando existe una mayor exigencia de separación acústica entre recintos contiguos de una planta de oficinas, hay que recurrir a tabiques que cierren el espacio desde el suelo hasta el techo. Si por razón de alteraciones en el proceso de producción se hace necesario ampliar unos recintos y reducir otros, es conveniente disponer de tabiques ligeros que puedan desmontarse y trasladarse en poco tiempo de un sitio a otro dentro de la misma o, incluso a otra planta.

Condición indispensable para este tipo de subdivisión es la existencia de canales o hendiduras lineales en el techo que arranquen de cada pilar de la fachada. Debe conservarse un especial cuidado al sistema de relleno o cubrición del hueco por encima de aquellas hendiduras en el techo del edificio, de lo contrario el sonido, a lo largo de este techo absorbente (aunque no opaco al sonido) puede penetrar al interior del compartimento y su capacidad amortiguadora del sonido sería ilusoria. Los tabiques móviles deben quedar sujetos al suelo, techo, pilares adosados u otros elementos estructurales cualesquiera de manera que al sacarlos queden, a lo sumo, señales que puedan repararse fácilmente. La mayoría de estos tabiques se sujetan solamente al techo y al suelo, por ello hay que prever una nivelación tanto de las diversas alturas del local como de las irregularidades que presenten ambas superficies horizontales. Los tabiques de carpintería, con o sin aberturas acristaladas, y un peso de 10 kg/m², tienen un grado de absorción medio de 20 dB, pero ni siquiera estando bien colocados y bien cerradas las juntas, ofrecen suficiente protección contra la percepción de la palabra hablada o la conversación telefónica en el recinto contiguo. Como tampoco puede impedirse, desde la otra parte, la recepción de aquellos sonidos.

Para evitar prácticamente las perturbaciones sonoras procedentes del otro lado, se requiere una diferencia de nivel sonoro mínima —obtenida como promedio en la gama normal de frecuencias entre 100 y 3200 Hz— de 35 dB, que puede alcanzarse solamente con paredes cuyo coeficiente de amortiguación sea de 30 dB y en recintos dotados de pavimento flotante.

En los tabiques con coeficiente de amortiguación algo superior —35 dB— es recomendable separar el pavimento flotante de la junta inferior del tabique, arrancando la franja de aquél que queda por debajo de éste, a fin de cortar el paso a las posibles propagaciones de ruidos —como pisadas, arrastre de sillas, etcétera— por el suelo continuo entre ambos recintos, que se percibirían con una molesta claridad.

Los tabiques móviles con grados de amortiguación de 40 a 50 dB están, normalmente, compuestos por dos placas separadas lastradas con peso añadido como las del sistema "Brevunda"

que antes hemos visto, sujetas a un bastidor rígido. Lo más difícil es, en estos tabiques ligeros de alto grado de amortiguación, encontrar una puerta que también lo sea, por lo cual dichos tabiques que se utilizan, más que nada, para cerrar despachos de directivos no suelen preverse como desmontables. Para ellos es norma la recomendación anterior de interrumpir el pavimento flotante, añadiendo además, que la junta resultante debe cubrirse con un material amortiguante, como corcho o goma.

Forjados de piso

En la hoja 3 de la norma DIN 4109 se hallan clasificados los distintos grupos en que se dividen los forjados macizos, los valores de protección acústica mínimos que deben tener éstos y los de vigas de madera y asimismo los ejemplos que ayudan a conseguir un valor mejorado, caso que se desee. Pertenecen al grupo I todos los forjados macizos para los que la protección contra el sonido aéreo y el ruido de pisadas alcanza el valor mínimo admisible.

Los forjados del grupo II presentan suficiente protección frente a la propagación del sonido aéreo, pero no contra el ruido de pisadas.

En los techos de vigas de madera la sección de éstas es determinante de su grado de protección acústica, tanto para sonido aéreo como para el ruido de pisadas. Sin embargo, incluso con vigas relativamente gruesas no se logra que dicho valor sea satisfactorio si no se separa de algún modo el pavimento de las vigas, o éstas del cielo raso inferior. Por otra parte la entrega de este tipo de techos con las paredes con empotramiento por testa de las vigas, requiere dispositivos especiales para impedir el paso directo de las excitaciones vibratorias.

(Relleno de los espacios excavados entre testas con el mismo material de relleno del techo.)

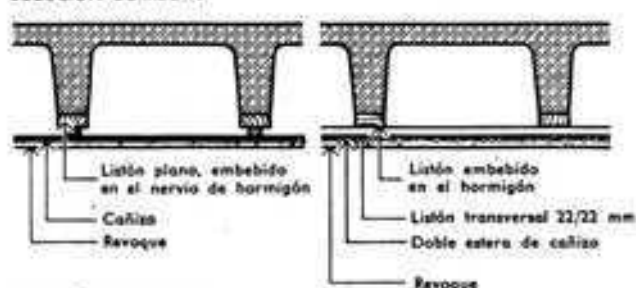
Cielos rasos acústicos

Los cielos rasos flexibles mejoran la amortiguación de un techo, tanto del sonido aéreo como del ruido de pisadas. De todos modos, si tan sólo se aplica este dispositivo, las transmisiones indirectas hacen que el ruido de pisadas siga percibiéndose de manera molesta. Además de procurar que el cielo raso sea bien flexible y la distancia entre puntos o listones de anclaje suficientemente grande (≥ 50 cm), hay que prestar especial atención al sistema de sujeción, sobre todo cuando hay poca superficie de contacto. Por ello, cuando el cielo raso pende de listones anchos embebidos en el hormigón, hay que disponer un enlistonado suplementario más ligero paralelo a aquéllos o, mejor aún, perpendicular. No obstante, puede prescindirse del segundo enlistonado cuando entre los primeros y el cielo raso propiamente dicho se interponen tablas de material flexible (por ejemplo fibras aislantes del grupo I, norma DIN 18165). Los sistemas que pueden verse indicados como tales en las figuras resultan especialmente incorrectos:

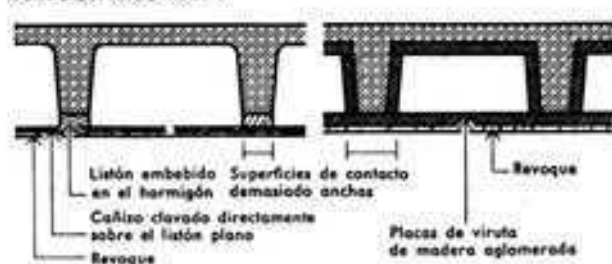
Los cielos rasos acústicos pueden utilizarse simplemente para mejorar el amortiguamiento de un techo fijo por su cara inferior. Los utilizados en este caso se componen de un emparillado cruzado de listones de madera como estructura y medio de sujeción, al cual se fijan los distintos tejidos de soporte para el revoco, a saber: encañizado, plancha metálica ondulada, placas aglomeradas de viruta de madera o Sillan, así como placas de cartón enyesado y fibra mineral. Con estas últimas hay que cuidar especialmente el cierre de las juntas y las entregas con las paredes.

El mejor aislamiento contra las propagaciones de ondas transversales o de flexión por los sólidos lo ofrecen los cielos rasos suspendidos elásticamente mediante muelles especiales. Se usan, preferentemente en las cámaras insonorizadas totalmente envueltas en paredes, suelos y techos dobles. También pueden aplicarse, con montaje "en seco" (sin mortero), utilizando placas de cartón enyesado, para mejorar a posteriori las condiciones acústicas de un techo. Combinándolos con un pavimento flotante en la cara superior del techo se logra un valor remanente de protección contra el sonido aéreo para el forjado en bruto de + 10 dB, que coincide con lo prescrito por la norma DIN 4109 para los techos de bares, restaurantes, cines y locales afines, para los cuales exista uso de vivienda en las plantas superiores. Para la sujeción de los muelles se utilizan diversos sistemas, ya

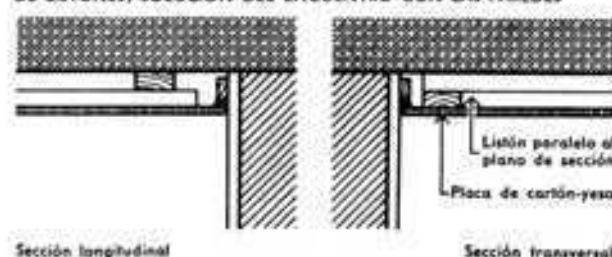
SOLUCIÓN CORRECTA



SOLUCIÓN INCORRECTA



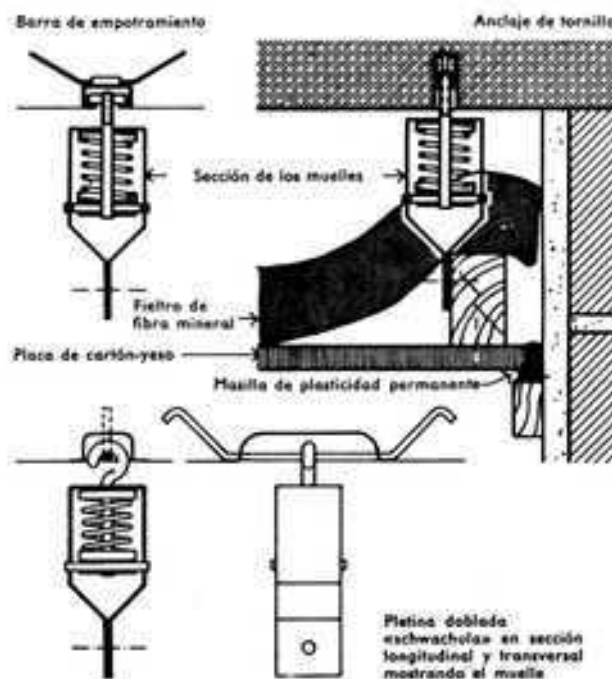
CIELO RASO SUSPENDIDO DE UN EMPARRILLADO DE LISTONES; SOLUCIÓN DEL ENCUENTRO CON LAS PAREDES



CIELO RASO DE GRAN EFICACIA AMORTIGUANTE DEL SONIDO, SUSPENDIDO DEL FORJADO MEDIANTE MUELLES

Sistemas diversos de anclaje

FIG. 298-301



sea mediante tacos, tornillos, placas con aletas ancladas en el techo, barras empotradas, etc. El cielo raso suspendido puede sujetarse fuertemente a cualquier capa antepuesta a la pared. Sin embargo es mejor, para evitar que pueda resquebrajarse la arista interior al vibrar el techo libremente, tender a lo largo de la junta una cinta de goma esponjosa o rellenarla con masilla elástica permanente. Este tipo de entrega es totalmente necesaria cuando se trata de una pared maciza sin capa antepuesta.

Pavimento flotante

El pavimento flotante es una solución constructiva que ofrece una mejora notable en la amortiguación, tanto del sonido aéreo como del ruido de pisadas. Los procedimientos para su ejecución se detallan en la hoja 4 de la norma DIN 4109. No hay que olvidar la necesidad de que la capa aislante blanda sobre la que se apoya el pavimento llene también los bordes perimetrales del mismo, separándolo de las paredes e impidiendo la propagación horizontal a éstas de las vibraciones u ondas de sólidos procedentes de aquél.

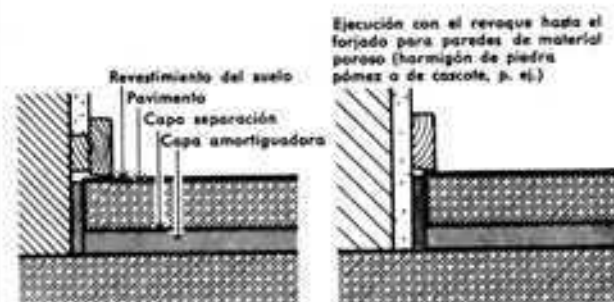
Los materiales empleados para pavimentos flotantes de puesta en obra húmeda encima de la capa aislante son: hormigón, yeso, anhidrita, xiolita (o cartón piedra) y asfalto. Una vez fraguado, el pavimento debe actuar sobre la capa blanda y flexible como una plataforma resistente para reparto de cargas. La capa flexible, a su vez, no debe presentar roturas ni interrupciones. En la ejecución debe procederse previamente a la nivelación horizontal del

techo en bruto mediante un lecho de arena seca o cualquier otro procedimiento de enrase, tras lo cual se extiende la capa aislante sin dejar juntas. Encima se coloca otra capa de papel embreado o graso, cartón o lámina de plástico para impedir el paso de la humedad y derrames (al principio el pavimento es pastoso) que pudieran endurecer zonas de la capa flexible. Junto a las paredes se colocan franjas del mismo material aislante que sobresalen por encima del nivel final del pavimento. Las láminas de cartón interpuestas deben asimismo doblarse acompañando en todo el perímetro a dichas franjas. Finalmente se extiende el pavimento, se compacta y se alisa perfectamente. Si se utiliza hormigón, hay que mantenerlo húmedo durante algunos días cubriéndolo con telas de plástico o serrín humedecido, para impedir que pueda vibrar antes de terminar su proceso de fraguado y se agriete. Cuando éste se da por terminado se recortan las franjas que sobresalen por sus bordes. El suelo final ha de aplicarse sólo tras un secado completo.

En las figuras se muestran dos sistemas para resolver la entrega con la pared. El ejemplo en que el revoque de la pared llega hasta el techo en bruto (o forjado) es mejor porque se ha evitado, en el proceso de construcción del pavimento, todo contacto directo con la pared o su revoque. Si ésta es de material poroso resulta ventajoso que llegue hasta abajo porque así se interrumpe cualquier propagación directa hacia la habitación contigua.

Si se utiliza para el pavimento asfalto fundido endurecido, hay que escoger la capa amortiguadora de acuerdo con las características de este material. Para evitar el cedimiento bajo cargas puntuales debe comprobarse según señala la norma DIN 1996 que la profundidad de la huella no es mayor de 0,5 mm y las capas amortiguadoras inferiores no deben exceder, estando comprimidas, de 8 mm de espesor.

Como aislantes térmicos adicionales pueden utilizarse placas de lana de madera de suficiente solidez, ya sea por encima o por debajo de la capa amortiguante, o bien un lecho de cierto espesor de gránulos minerales, cuyo efecto térmico es equivalente. Las resistencias y densidades mínimas de los pavimentos flotantes sobre capa mullida tipo DIN 18165 (fibra blanda) o DIN 18164 (material plástico esponjoso) se han reunido en la hoja 4, tabla adjunta de la norma DIN 4109. Cuanto más gruesa es la capa mullida y por tanto mayor compresión permite, tanto mejor es la amortiguación acústica, pero también tanto más grueso ha de hacerse el pavimento. El esfuerzo para conseguir mejor amortiguación del sonido crece no sólo al aumentar la costosa capa elástica sino también por el mayor grosor requerido para el pavimento.

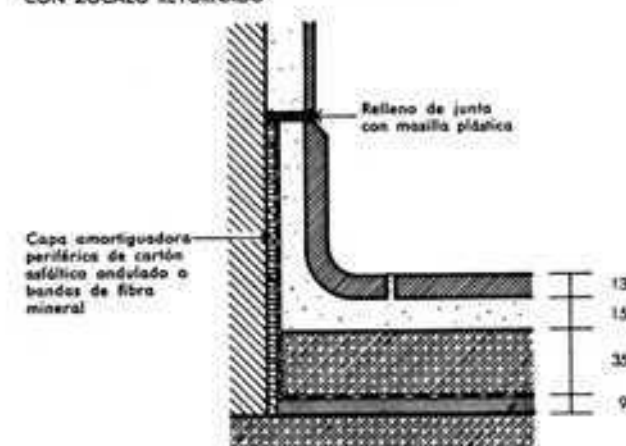


ESPOSOR Y RIGIDEZ DINÁMICA DE VARIOS MATERIALES EMPLEADOS COMO CAPA MULLIDA DEBAJO DE LOS PAVIMENTOS FLOTANTES

Materiales amortiguantes	Espesor mm	Módulo de rigidez dinámica kg/cm ³
Lana mineral en fieltro o estera	12	1,9
Lana mineral en placas	10	2,0
Fibra de vidrio en fieltro o estera	7,9	2,3
Fibra de vidrio en placas	6	3,2
Fibra de vidrio en placas	11	1,9
Lana de escoria en placas	19,2	5,0
Planchas de fibra de coco	7	3,6
Estera o fieltro de fibra de coco	11,9	2,9
Esteras de corcho granulado	7,4	15
Esteras de corcho granulado	4,4	15
Esteras de goma granulado	6,5	9,6
Placas de espuma sólida de poliestireno según el fabricante	9—10	6—17
Placas de espuma sólida de poliestireno laminadas u obtenidas por otros procedimientos	12,9	1,3
Placas de turba	21	10
Id. perforadas por su cara inferior	15,9	6,7
Placas de fibra blanda	13	15
Tableros de viruta de madera aglomerados colocados exentos	25	21
Placas de corcho colocadas exentas	12	55
Cartón ondulado hecho de fieltro de lana	2,5	18
Lecho de arena	26	30
Lecho de viruta de corcho	20	8,1
Lecho de mica hinchada (o descompuesta)	15	17,5
Lecho de virutas de cáñamo	16	8,2

Sacado de la publicación de la sociedad de investigaciones "Bauen und Wohnen" (fBW), n.º 75.

SUELO DE BALDOSAS SOBRE PAVIMENTO FLOTANTE CON ZÓCALO RETORNADO



Entre los materiales aislantes del grupo 1 se incluyen los plásticos esponjosos según DIN 18164 que tienen una rigidez dinámica ≤ 3 kg/cm³. Las materias esponjosas derivadas del poliestireno ("styropor") presentan, a pesar de su ligereza, una rigidez dinámica relativamente alta (de 6 a 20 kg/cm³)—según las condiciones de utilización: peso específico bruto y espesor de la placa—debida a su mayor rigidez estructural interior. Por este motivo son poco o nulamente apropiadas para utilizarlas en aislamiento acústico. No obstante, con un tratamiento previo especial puede lograrse una mayor elasticidad para este material.

Tabla 1. Resistencias y espesores de pavimentos flotantes de una capa¹⁾ sobre materiales amortiguantes tipos DIN 18164 y DIN 18165²⁾

Columnas	1	2	3	4	5 ³⁾	6	7
Líneas	Clase de pavimento	Resistencias ⁴⁾ a los 28 días en kg/cm ² valores medios mínimos		Espesor mínimo del pavimento ⁵⁾ en mm		Para contracciones de la capa mullida (d _L -d _S) ⁶⁾ en mm	
		A flexotracción		A compresión probeta			
		Probeta	En obra			Hasta 7	Entre 7 y 12
1	Cemento	40	25	225	35	40	45
2	Anhidrita	50	30	250	30 ⁷⁾	35	40
3	Yeso	Sin empobrecer	50	30	250	30 ⁷⁾	35
4		Empobrecido	40	25	180	35	40
5	Magnesita o cemento «Sorela» (véase norma DIN 272)	40	25	100	35	40	45
6	Asfalto fundido	Véase apartado 5.35				d _L - d _S en mm	
						Hasta 5	entre 5 y 8
						20	25

1) No se tendrá en cuenta el espesor de capas suplementarias tales como ligeras capas de igualación, con otra composición, o las de preparación para algún revestimiento del suelo.

2) DIN 18164: Materiales sintéticos espumosos para amortiguación en construcción. DIN 18165: Materiales fibrosos amortiguantes en construcción.

3) La columna 5 da valores válidos también para capas amortiguantes dobles con lámina superior para igualar presiones, p. e. según Hoja 3, tabla 1, núm. 1.2 y para esferas de granulación de corcho y goma según Hoja 3, tabla 2, núm. 1.2.

4) El valor mínimo debe quedar un 20% por debajo del valor medio.

5) Para pavimentos ≥ 30 mm se pueden aceptar en ciertos puntos espesores

≤ 5 mm; sin embargo, el valor medio de un mínimo de 10 muestras no debe ser inferior al indicado en las columnas 5 a 7. Cuando el espesor del pavimento es pequeño no se admiten, ni siquiera localmente, valores inferiores.

6) Los valores de compresión de las capas amortiguantes vienen dados por la diferencia entre el grueso de suministro (p. e. d_L = 20 mm) y el grueso bajo carga (p. e. d_S = 15 mm). Ello viene indicado en la denominación del material correspondiente (p. e. 20/15).

7) 5 mm más delgada cuando la compresión de las capas amortiguantes es ≤ 5 mm.

Tan sólo estas placas de styropor "elastificadas" ofrecen la rigidez dinámica (≤ 3 kg/cm³) requerida. La combinación de un pavimento de asfalto fundido con capa mullida de espuma de polistirolo sólo puede utilizarse si se toman ciertas medidas preventivas.

En locales húmedos y en las plantas bajas es conveniente recubrir el techo en bruto con una capa de plástico en prevención de humedades. En las cocinas y baños, donde el suelo final ha de ser de baldosas, se pueden colocar éstas directamente sobre una lechada de cemento extendida por encima del pavimento flotante de hormigón ya fraguado. La junta periférica del zócalo se rellenará posteriormente con una cinta blanda de cloruro de polivinilo.

Todavía se consigue mejor estanquidad aplicando una masilla de plasticidad permanente en la misma junta o en la junta superior de un zócalo angular. Estos embaldosados flotantes requieren un espesor total de la obra superior al de los pavimentos flotantes sencillos revestidos con un suelo laminar.

Para evitar que a causa de los trabajos de acondicionamiento interior vuelvan a rezumar humedades en la obra acabada se han estudiado sistemas "secos" para "suelos flotantes" (véanse tablas 1 y 2 de la hoja adjunta 3, norma DIN 4109).

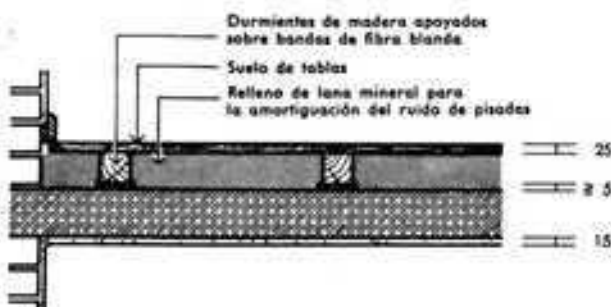
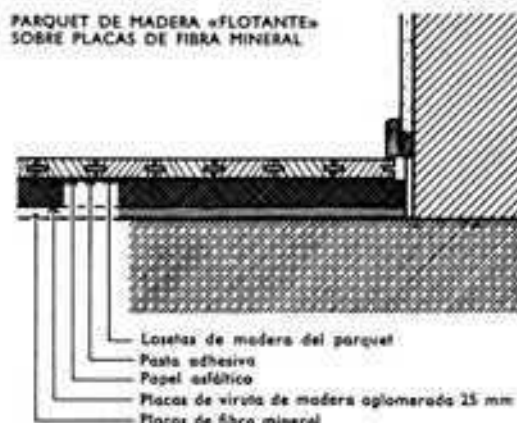
Suelos de tablas de madera

Los suelos de tablas sobre durmientes también de madera resultan eficaces para la amortiguación, tanto del sonido aéreo como del ruido de pisadas, especialmente cuando se rellenan por debajo de las tablas con una capa mullida flexible. Este sistema

permite que las vibraciones y el nivel de ruido de pisadas sean eliminados por la inercia vibratoria del material poroso (escorias, fibra blanda) que se encuentra entre uno y otro durmiente.

Parquet flotante

El parquet de madera aplicado directamente encima de un techo en bruto mejora la amortiguación del sonido aéreo y la del ruido de pisadas. Si se aplica encima de una capa mullida (p. e.) placas de fibra blanda con una capa inferior amortiguante escogida entre las DIN 18164 y 18165) mejora todavía más la amorti-



guación del ruido de pisadas, pero no la del sonido aéreo. Para conseguir ambos casos hay que interponer entre el parquet y la capa mullida unos 25 mm —por lo menos— de aglomerado de lana de madera. En este caso ningún grumo de engrudo adhesivo debe traspasar hasta la capa mullida, ya que se endurecería la fibra blanda a su alrededor, provocando un "puente sonoro". Para lograrlo basta con recubrir cuidadosamente dicha capa mullida con cartón (o papel) embreado.

Suelos de varias capas con placas duras

Pensando especialmente en construcciones desmontables se han estudiado sistemas de puesta en obra en seco en los cuales

**GRADOS DE MEJORA DEL RUIDO DE PISADAS PARA
PAVIMENTOS USUALES. VALORES CORRESPONDIENTES
A OBRA ACABADA**

1. Suelos-revestimientos

Linoleum 2,5 mm	7 dB
Linoleum sobre cartón de fieltro (800 g/m ²)	14 dB
Linoleum sobre serrín de corcho	15 dB
Linoleum sobre placas de fibra blanda (5 mm) (380 kg/m ³)	16 dB
Linoleum de corcho, 3,5 mm	15 dB
Linoleum de corcho, 7 mm	18 dB
Parquet de corcho, 1,5 a 2 mm	15 dB
Revestimiento de cloruro de polivinilo, 1,5 a 2 mm de espesor	5 dB
Revestimiento de cloruro de polivinilo sobre manta de corcho de 2 mm	14 dB
Revestimiento de cloruro de polivinilo con 3 mm de fieltro debajo, diversos sistemas	15-19 dB
Revestimiento de goma, 2,5 mm	10 dB
Revestimiento de goma, 5 mm (con 4 mm de goma porosa)	24 dB
Estera de fibra de goma	17-22 dB
Maqueto según tejido o colocación	24-30 dB

2. Suelos de madera

Tablas sobre durmientes de madera

Colocado directamente sobre el forjado	16 dB
Sobre un lecho de escorias (6 cm)	21 dB
Sobre placas mullidas de lona mineral o fibra de corcho	24 dB

Parquet de lasetas de madera sobre los siguientes materiales

2 cm de corcho	6 dB
0,7 cm de fieltro asfáltico	15 dB
1 cm placas de fibra blanda	16 dB
2 cm placas de turba	16 dB
2,5 cm tablero de viruta de madera aglomerada	17 dB
2,5 cm tablero de viruta de madera y debajo 1 cm de estera de fibra de coco	27 dB
1 cm placa de fibra blanda y debajo 0,5 cm placa de fibra mineral	28 dB

3. Pavimentos flotantes

Pavimentos de cemento sobre las siguientes capas amortiguantes

Cartón ondulado, laminado 0,3 cm	18 dB
Placas de fibra blanda 1,2 cm	15 dB
Viruta de madera en tableros 2,5 cm	16 dB
Espuma sólida de poliestireno normal, 1 cm	18 dB
Espuma sólida de poliestireno con tratamiento especial, 1 cm	26 dB
Estera de viruta de corcho 0,6 a 0,8 cm	16 dB
Estera de goma troceada 0,8 cm	18 dB
Placas de lana mineral o coco 1-1,5 cm	24-30 dB

Tableros de viruta aglomerada de madera, 2,5 cm con 0,9 cm de fibra mineral o fieltro laminado por debajo

Pavimentos asfálticos sobre las siguientes capas amortiguantes

Placas de fibra blanda 2 cm	20 dB
Estera de cañizo 2 cm	25 dB
Estera de viruta de corcho 0,7 cm	19 dB
Estera de goma troceada 0,8 cm	20 dB
Tablero de viruta de madera 2,5 cm con placa de fibra mineral de 0,5 cm, por debajo	31 dB

4. Suelos de varias capas con empleo de tableros chapeados de fibra de madera

Revestimiento de linoleum sobre tableros con las siguientes capas amortiguantes por debajo:

Placas de fibra blanda 1 cm	17 dB
Placas de turba 2 cm	18 dB
Placas de turba perfiladas por una cara 1,5 cm	19 dB

se coloca encima de la capa de mullido amortiguador una plataforma, que reparte las cargas, a base de tableros machihembrados de madera aglomerada o fibra dura sobre la cual se extienden hojas de linoleum.

Según la hoja 3 de la norma 4109 este tipo de pavimento presenta un grado de mejora de la amortiguación satisfactorio —de 17 a 19 dB— cuando se aplica sobre techos con buena amortiguación previa del sonido aéreo. No obstante, aumentando el número de capas, como en el parquet flotante, se alcanzan mejoras todavía más notables que se aproximan a los valores obtenidos con el pavimento flotante.

Suelos blandos

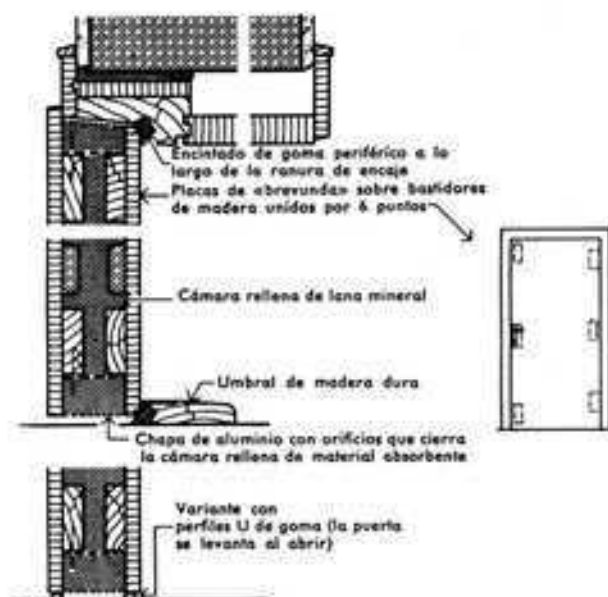
Un suelo blando extendido directamente sobre el techo en bruto disminuye el ruido de pisadas pero no el sonido aéreo. Las irregularidades en la horizontalidad del techo en bruto requieren una colada o lecho —pastoso o gravilloso— previo para su nivelación y reparto uniforme de cargas. La amortiguación del ruido de pisadas que proporciona por sí solo un suelo blando es suficiente en el caso de aplicarse sobre un techo bien plano y dotado —en bruto— de una amortiguación del sonido aéreo satisfactoria, de acuerdo con lo prescrito por la hoja 3 de la norma.

Los ruidos producidos al caminar se amortiguan óptimamente con suelos blandos, por lo que es recomendable su uso como última capa sobre pavimento flotante.

Puertas

Las puertas normales, de unos 4 cm de espesor, con bastidor portante y entrepaños rellenos de tablas, vidrio o tablero aglomerado ofrecen diferencias de nivel sonoro entre los locales que separan de 15 a 20 dB. Si se encantan las ranuras de encaje y la junta inferior con tiras de goma esponjosa, el grado de amortiguación sube hasta 25 dB.

Las puertas de madera para acondicionamiento acústico se construyen a base de dos hojas unidas por un mínimo de puntos de sujeción, con bastidor de madera o de acero y doble encuadrado esponjoso por todas las ranuras y juntas. Con una puerta de 80 mm de espesor se llega a grados de amortiguación de 32 dB. Una puerta especial, pesada, con 100 mm de espesor y con todo su cerco formando una cámara absorbente del sonido ofrece hasta 25-38 dB.



Como las puertas de madera tienden a alabearse con el tiempo y las variaciones de humedad, se recomienda utilizar, para instalaciones importantes, cierres a presión. La puerta cierra primeramente con picaporte normal y después queda sujeta girando hacia arriba el gatillo.

En muchos casos se utilizan cierres de cuña que permiten cerrar bruscamente puertas de peso relativamente importante (40 kg/m²) con lo cual se produce la adecuada presión en los contor-

Tipos de puerta	Grado medio de amortiguación sonora dB
Simples, ligeras, sin encintado de rosas o entalladuras	15—22
Sólidas, pesadas con relleno especial de juntas	25—30
Amortiguantes, especialmente acondicionados para acústica	30—40
De alta amortiguación (con dos capas de plancha de acero, especiales para emisores de radio, etc.)	40—50
Dos puertas sencillas con un espacio intermedio	40—45

Sacada de la publicación de la sociedad de investigaciones «Bauen und Wohnen» (FBW), cuaderno n.º 75.

nos. En el dispositivo que puede verse en la figura de la página anterior, la hoja de la puerta se ha dotado de una cámara rellena de material amortiguador del sonido, con lo cual se refuerza su grado de amortiguación debido a que el volumen de dicha cámara está en contacto con las ranuras de encaje por donde puede filtrarse el sonido.

Las puertas altamente amortiguadoras deben disponer siempre de un umbral o travesía inferior provista, si es posible, de una cinta elástica de relleno, a fin de completar una más alta estanquidad acústica.

Los rejuntados inferiores corrientes, a base de tiras elásticas de arrastre no garantizan, generalmente, un efecto duradero de complemento para puertas amortiguantes. Por este motivo son preferibles los umbrales planos de borde reforzado frente a dispositivos como las tiras de goma sujetas al borde inferior de la puerta u hojas que giran sobre goznes troncocónicos y se levantan al abrir.

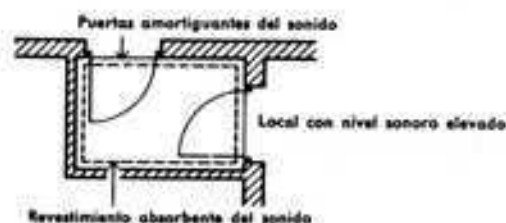
Si se requiere todavía mayor amortiguación acústica se puede recurrir a puertas de acero con bastidor de este mismo metal y encintado de goma esponjosa a lo largo de todos sus bordes. Una hoja de puerta de 5 cm de espesor total con dos planchas de acero de 2 mm, brinda un grado de amortiguación de 45 dB aproximadamente. Estas puertas necesitan umbrales de 25 mm de altura, por lo menos.

Como la puerta de acero no puede deformarse, se consigue, mediante el cierre a presión, un dispositivo duradero y sólido. Estas puertas de acero se utilizan, no sólo en salas de pruebas y gabinetes de ensayo, sino también en oficinas y consultorios médicos en los que es necesaria una alta amortiguación sonora, pero donde no cabe la posibilidad de disponer de una "esclusa acústica".

Esclusas acústicas

Si la amortiguación sonora entre dos locales ha de sobrepasar los 45 dB, hay que recurrir a la "esclusa acústica". Se llama así a un recinto-tampón al que se abren dos puertas amortiguadoras. Como las paredes, techo y suelo de este recinto están revestidos con material absorbente, sólo una pequeña parte de la energía sonora procedente de la primera puerta alcanza a la segunda por lo cual ambas puertas no necesitan tener un alto valor propio de amortiguación. Con puertas de un hoja de 80 mm de espesor y 35 dB de grado de amortiguación promedio se logran, a través de la esclusa, reducciones de 60 dB.

ESCLUSA ACÚSTICA

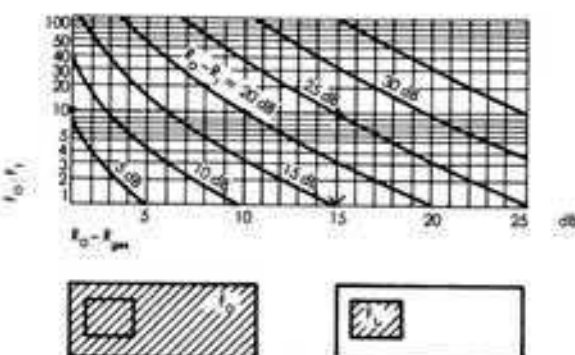


Ventanas

A las ventanas de vidrio corriente de 3 mm de espesor corresponde, según su peso, un grado de amortiguación sonora medio de 25 dB. En hojas de bastidor fijo, de madera o hierro, se alcanzan, frente a incidencias perpendiculares, grados de amortiguación semejantes. Pero en el caso de incidencia oblicua los valores son siempre más o menos inferiores (según el ángulo de aquélla) de acuerdo con la llamada "ley de masas". Este fenómeno se debe al "efecto de acomodación" ya conocido. Por otra parte, con las amplias dimensiones de las aberturas actuales las juntas son tan dilatadas que la amortiguación práctica desciende a 15 ó 20 dB. En las ventanas dobles, con juntas compuestas, se consiguen de 20 a 25 dB. Las ventanas de vidrios dobles con cámara de aire intermedia de 10 mm no ofrecen ventaja acústica alguna porque al producirse en este tipo de ventanas el mismo fenómeno de las paredes de dos capas (esto es, la frecuencia de cortocircuito o resonancia) justamente para las frecuencias medias, sus efectos amortiguantes disminuyen hasta ser inferiores a los de una ventana sencilla cuyo peso sea la suma de las dos componentes. Los bloques transfúndidos, cuya puesta en obra les deja perfectamente rejuntados, permiten calcular su grado medio de amortiguación de acuerdo con su peso por m²; utilizando las curvas de la figura adjunta, se puede llegar a conocer aquel valor de manera inmediata.

Hasta ahora no se han estudiado ventanas dobles con rejuntados especiales como se ha hecho con las puertas. Tan sólo se

INFLUENCIA DE LAS SUPERFICIES «DE MENOR AMORTIGUACIÓN SONORA» EN EL NIVEL TOTAL DE AMORTIGUACIÓN DEL SONIDO AÉREO DE UNA PARED



INFLUENCIA DE LAS SUPERFICIES «DE MENOR AMORTIGUACIÓN SONORA» EN EL NIVEL TOTAL DE AMORTIGUACIÓN DEL SONIDO AÉREO DE UNA PARED (p. 4). UNA PUERTA O VENTANA SITUADA EN ELLA)

$R_0 : F_1$ Relación (cociente) entre la superficie de la pared R_0 y la F_1 de la abertura.

$R_0 - R_1$ Diferencia entre los grados de amortiguación sonora de la pared (R_0) y la abertura (R_1).

$R_0 - R_{ges}$ Diferencia entre el grado de amortiguación de la pared sin abertura y el mismo grado una vez incorporada la abertura.

Ejemplo: Una pared cuya superficie es de $F_0 = 20 \text{ m}^2$ y su grado de amortiguación sonora $R_0 = 50 \text{ dB}$ tiene una puerta de superficie $F_1 = 2 \text{ m}^2$ con un grado de amortiguación $R_1 = 25 \text{ dB}$. ¿Cuánto vale el grado de amortiguación total de la pared con su abertura?

$F_0 : F_1 = 20 : 2 = 10$

$R_0 - R_1 = 50 - 25 = 25 \text{ dB}$

Pasando al diagrama vemos que $R_0 - R_{ges} = 15 \text{ dB}$; de lo cual se deduce que siendo $R_0 = 50$; $R_{ges} = 50 - 15 = 35 \text{ dB}$. Es decir, el grado de amortiguación del conjunto $R_{ges} = 35 \text{ dB}$.

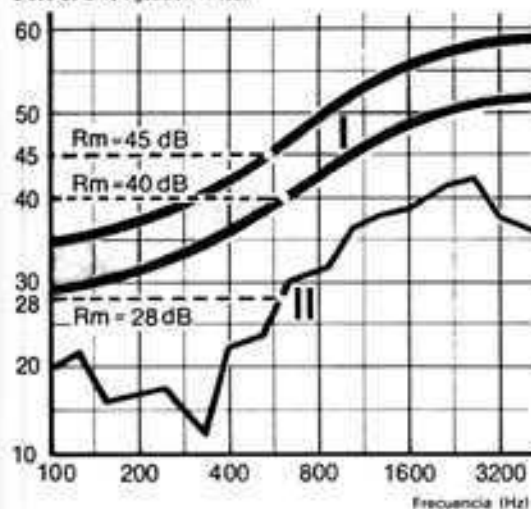
Tipo de ventana	GRADO DE AMORTIGUACIÓN SONORA, MEDIO PARA VENTANAS SEGÚN TABLA 1, NORMA 4109	
	Sin encintado de juntas adicional	Con encintado de juntas adicional
Ventana simple	~ 20 dB	hasta 25 dB
Ventana doble	~ 25 dB	hasta 30 dB
Ventana doble con cerco común, hermético	~ 30 dB	hasta 40 dB

DATOS TÉCNICOS

Grado medio de amortiguación sonora R_m

según peso del vidrio

y tipo de construcción 40 a 45 dB

Grado de amortiguación R (dB)

I Zona de amortiguación de la ventana antiruido

II En comparación: acristalamiento doble con cristales de 4 mm

Dispositivo de entrada de aire fresco:

por unidad de ventilación regulable hasta 120 m³/h

Coeficiente de transición térmica K

de la superficie de ventana 2,6 kcal/m²h°C

LEYENDA

A. Aire de salida

Z. Aire de entrada

1. Obra de fábrica

2. Caja de la esclusa del aire de salida

3. Placa aislante del sonido

4. Conducto de aire

5. Cámara insonorizante

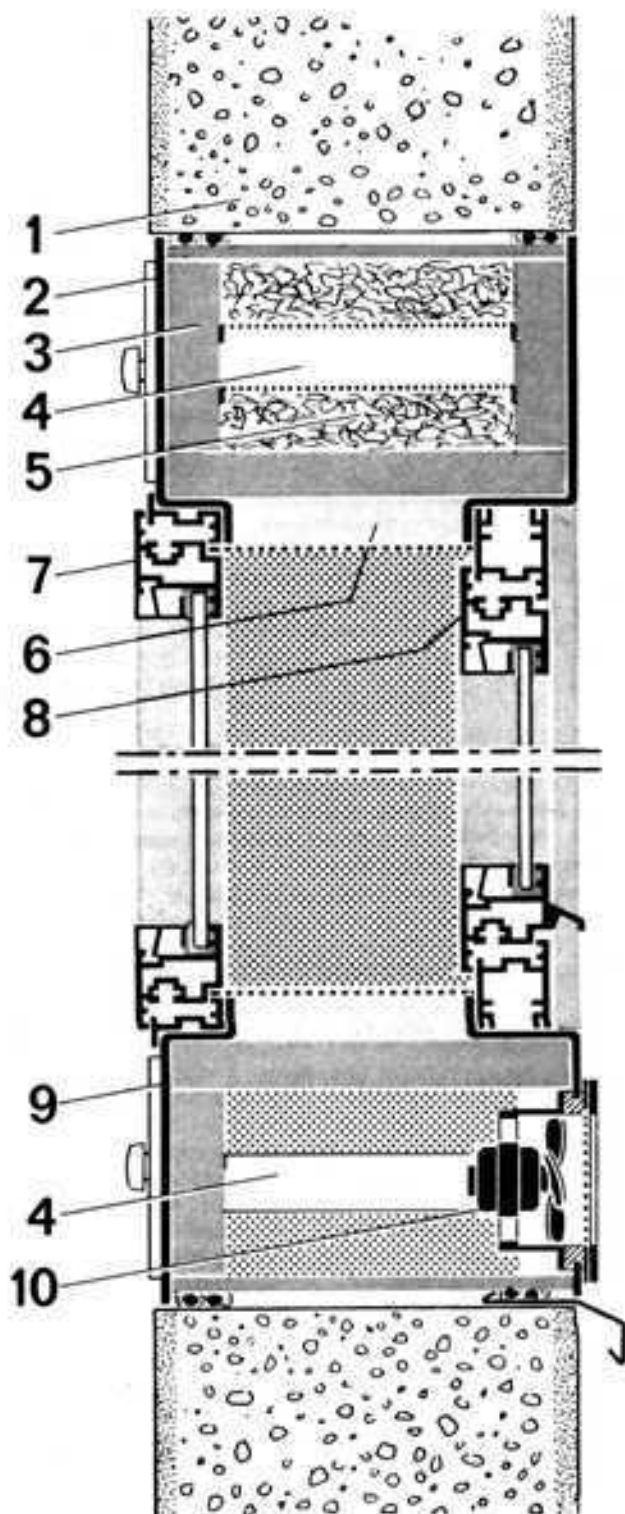
6. Elemento de amortiguación en el contorno

7. Hoja interior, con el marco

8. Hoja exterior, con el marco

9. Caja de la esclusa del aire de entrada

10. Ventilador



logra una cierta mejora encintando las juntas con materia esponjosa. Los problemas de la entrada de ruidos de la calle o industrias vecinas en el edificio sólo pueden afrontarse si se prescinde de abrir las ventanas para la ventilación, lo cual significa una climatización completa. Las ventanas "de caja" del mismo tipo que las dobles o múltiples en general deben tener sus cristales separados por lo menos 10 cm y disponer alrededor de todo su cerco de una cámara absorbente al igual que las puertas amortiguantes.

Los vidrios pueden alcanzar desde el grosor mínimo usual hasta el de 15 mm.

En la figura adjunta puede verse la sección de una ventana doble, prototipo, con dos lunas de diferente tamaño. Para evitar

que éstas se empañen por su cara interna se han provisto de cartuchos deshumidificadores recambiables que se llenan desde fuera. Estos cartuchos establecen contacto con la cámara de aire trasapando la cámara de absorción acústica. Como en una cámara de aire herméticamente cerrada no hay que contar con la limpieza más que en periodos de tiempo muy espaciados, no se ha previsto ninguna abertura especial. Cuando haya que limpiar bastará con desatornillar el listón cubrejuntas y sacar una de las hojas.

Para evitar reflejos molestos se suele dar una cierta inclinación a la hoja interior hacia el lado del observador, cosa que no produce ningún efecto acústico.

Si se coloca una ventana doble en una pared también doble —o

con capa antepuesta— hay que separar las hojas, junto con sus marcos y bastidores independientes, de manera que corresponda una a cada capa de la pared, a fin de mantener una completa interrupción al paso de ondas de sólidos. En aquellos casos en que sólo hay necesidad de iluminación y no hay interés en la transparencia pueden utilizarse paredes de bloques translúcidos que —según su puesta en obra— ofrecen grados de amortiguación entre 32 y 42 dB (con espesores de 50 a 80 mm). Esta posibilidad debe tenerse en cuenta, sobre todo, en talleres en los que interesa disminuir el ruido que se difunde al exterior.

Escaleras

En las cajas de escalera se producen ruidos, al caminar por los rellanos y subir peldaños, que pueden ocasionar molestias a los locales vecinos. Como resulta difícil hacer peldaños flotantes sobre la escalera maciza, se recomienda construir éstas separadas de los muros de la caja. En los rellanos o descansillos cabe pensar en instalar un pavimento flotante u otro sistema amortiguador, a menos que por el tipo de construcción (p. ej. como pieza prefabricada) pueda a su vez ir exento respecto a la pared y con una capa amortiguadora interpuesta encima de las ménsulas de apoyo. También puede impedirse la propagación del sonido de pisadas a los locales adyacentes mediante utilización de un suelo blando.

El valor remanente o "grado de protección acústica" contra el ruido de pisadas en las cajas de escalera debe ser de ± 0 dB hasta + 3 dB, que es el mismo que se indica para galerías y corredores donde son de temer propagaciones horizontales y oblicuas a las salas inmediatas (véase hoja 2, tabla 1, fila 7, de la norma DIN 4109, pág. 99. En las casas de pisos con muchas viviendas los ruidos no sólo proceden de la escalera sino de la transmisión entrecruzada de sonido aéreo. Por ello convendría separar mejor las viviendas —por lo menos cuando se trata de apartamentos de cierta prestancia— instando puertas de acero con un grado de amortiguación mínimo de 30 dB.

Superficies planas absorbentes del sonido

Hasta ahora se han bosquejado algunos ejemplos de instalaciones absorbentes en techos, paredes y objetos, según sus tres tipos principales (absorbentes porosos, resonadores y combinaciones de ambos) al paso que se iban explicando las generalidades y componentes físicas de la absorción sonora. Como ya entonces se dieron curvas de grados de absorción según las frecuencias e incluso se estableció la diferencia entre los dos empleos principales de la absorción sonora —a saber: reducción del nivel sonoro en locales y mejora de la audibilidad según sean auditorios, teatros, etc.—, en adelante nos limitaremos a ejemplos de instalación y posibilidades de empleo múltiple de diversos techos absorbentes desmontables y daremos instrucciones para el revestimiento absorbente de muros de ladrillo y tuberías.

Techos absorbentes del sonido

El material absorbente utilizado en primer lugar para techos son las tablas blandas de fibra de madera, dispuestas paralelamente y comprende juntas perforadas, y con pintura blanca o de otro color. Los orificios o estrías comprenden entre la mitad y los 2/3 de la superficie de las placas. Su misión es hacer llegar las ondas sonoras a la capa más profunda donde queda transformada su energía. En las placas con un 10% de superficie relativa de orificios pueden hacerse recubrimientos, por ejemplo a base de placas decorativas perforadas de fibra dura, sin que exista alteración alguna de la eficacia absorbente.

Para la fijación de placas acústicas al revoque de los techos o paredes se utilizan resinas sintéticas, especialmente las basadas en el caucho-neopreno. Cuando se trata de pegarlas directamente al hormigón hay que prestar atención a la posible presencia de grasas, ya que los encofrados suelen embadurnarse con líquidos oleaginosos para que no se adhieran al fraguar la masa. Como las placas de fibra blanda se hinchan y contraen con los cambios de humedad, pueden provocar tensiones en la superficie del reboque al cual están adheridas llegando a agrietarlo en algunos puntos y a ocasionar el desprendimiento de placas. Por

GRADOS DE ABSORCIÓN DIVERSOS REVESTIMIENTOS ACÚSTICOS

Tipo de revestimiento	Grado absorción α_s para las frecuencias (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
2,5 cm revoque esbetooso pulverizado	0,2	0,3	0,5	0,6	0,75	0,7
2 cm revoque (con mezcla) de lana mineral	0,15	0,25	0,45	0,65	0,75	0,85
2,5 cm revoque pulverizado de cemento con mezcla de vermiculita	0,05	0,1	0,2	0,55	0,6	0,55
Hormigón con árido de piedra pómez sin revoque	0,15	0,4	0,6	0,6	0,6	0,6
10 cm placas de hormigón con viruta madera (adurizada), sin revoque	0,2	0,7	0,9	0,65	0,7	0,8
11,5 cm ladrillo hueco-celoso aberturas hacia interior: habitación y lana mineral en cámara de 6 cm. Sin revoque	0,15	0,65	0,45	0,45	0,4	0,7
2,5 cm placas ligeras de viruta aglomerada directamente sobre pared	0,05	0,1	0,5	0,75	0,6	0,7
2,4 cm antepuestas dejando cámara rellena lana mineral	0,15	0,7	0,65	0,5	0,75	0,7
Placas viruta aglomerada 20 mm con junta blanda a 3 cm de pared	0,1	0,35	0,35	0,4	0,55	0,65
Placas perforadas o ranuradas de fibra de madera, sobre listones de 5 cm	0,15	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6
Cielo raso de yeso (con orificios por debajo y lana mineral encima)	0,3	0,7	0,9	0,65	0,55	0,35
Placas de lana mineral, 2 cm salpicadas con grumos sueltos del mismo material. Directo sobre superficie	0,02	0,13	0,49	0,86	0,99	0,94
Placas de fibra mineral, perforadas desmontable, 1,5 cm espesor, suspendidas a 20 cm del techo	0,45	0,35	0,5	0,75	0,85	0,65
Suelo blando (tejido) 7 mm	0	0,05	0,1	0,3	0,5	0,6

Tomada de la publicación de la sociedad de investigaciones «Bau und Wohnen» (FBW), cuaderno n.º 75.

ello se aconseja clavar dichas placas, además de pegarlas. Se consiguen todavía mejores resultados tanto en el aspecto de eficacia como de solidez mecánica clavando las placas sobre listones o emparrillados cruzados, a casi 5 cm de distancia de la pared o techo, que a su vez son sostenidos por ganchos o clavos especiales.

Las placas acústicas de lana mineral están formadas por fibras prensadas unidas por una mínima cantidad de resinas sintéticas no inflamables, y por ello resultan difíciles de romper. Como, a causa de su excesiva porosidad, la resistencia al flujo sonoro que presentan es demasiado baja, conviene cubrir su superficie parcialmente con una capa de pintura aplicada con pulverizador, de manera que su grado de absorción pueda ser óptimo. Las placas acústicas de Sillan, de 2 cm de espesor se usan, por otra parte, como revestimiento decorativo con una superficie casi estanca, de poros finísimos. Cuando estos poros llegan en profundidad hasta los 2/3 del espesor de la placa se obtienen grados de absorción comparables a los de la superficie parcialmente cegada antes descrita y con la ventaja de presentar una superficie menos vulnerable.

Las figuras muestran los sistemas de sujeción y las curvas de absorción de estas placas. Las hay inmediatas a la superficie y otras situadas a 25 mm de distancia.

Como las placas de Sillan no se encogen ni dilatan con las variaciones de humedad, pueden adherirse directamente con plena eficacia y durabilidad. Fijando las placas —ya se trate de las más porosas o las "decorativas"— a 20 cm de distancia se alcanzan curvas de grado de absorción que se conservan en todo el campo de frecuencias por encima de 0,9 o como mínimo 0,4. Los cielos rasos absorbentes que describiremos a continuación responden a la necesidad actual de que sean desmontables por piezas y permitan un fácil acceso a las instalaciones y conductos situados por encima de ellos. Se trata de los formados por casetones de yeso o metal con placas de lana mineral de 33 x 33 cm, 62,5 x 62,5 ó 50 x 100 cm, los compuestos por pasamuros de metal ligero suspendidos horizontalmente de las vigas y

sobre los que descansan placas de fibra, así como los emparrillados suspendidos formados por tablas con mucho canto sobre cuya superficie se fija el material absorbente. La mayoría de estos cielos rasos pueden llevar incorporados los expulsos para aire acondicionado.

Los cielos rasos absorbentes con fines decorativos constan de placas perforadas de yeso con una capa de fibra mineral por detrás como materia porosa absorbente y, finalmente, una lámina metálica de cubrición. En la figura de la página 94 puede

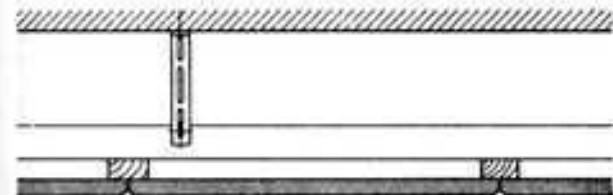
GRADO DE ABSORCIÓN DEL SONIDO DE LAS PLACAS ACÚSTICAS «SILLAN»



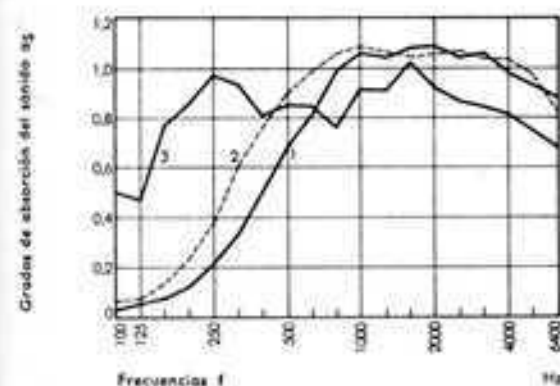
1 Pegadas directamente a la pared o al techo



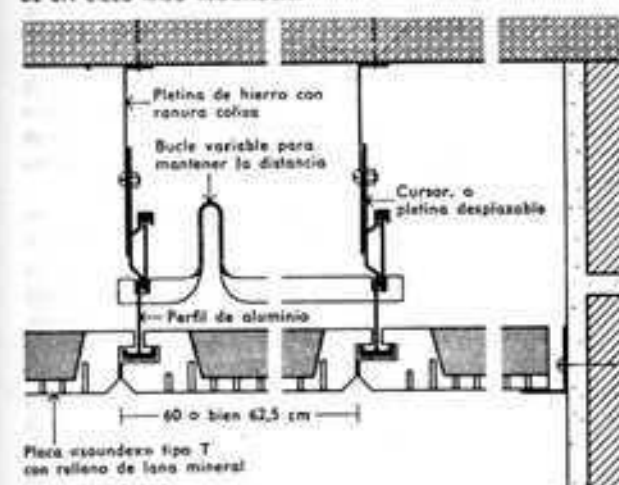
2 Suspendidas mediante un emparrillado de listones que las separa a 2,5 cm



3 Separadas 20 cm

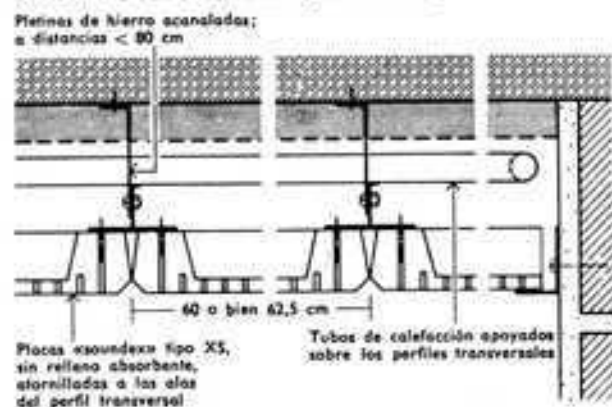


SISTEMA DE SUSTENTACIÓN DE UN CIELO RASO «SOUNDX»



TUBERÍAS DE CALEFACCIÓN EN UN TECHO OCULTAS POR UN CIELO RASO «SOUNDX»

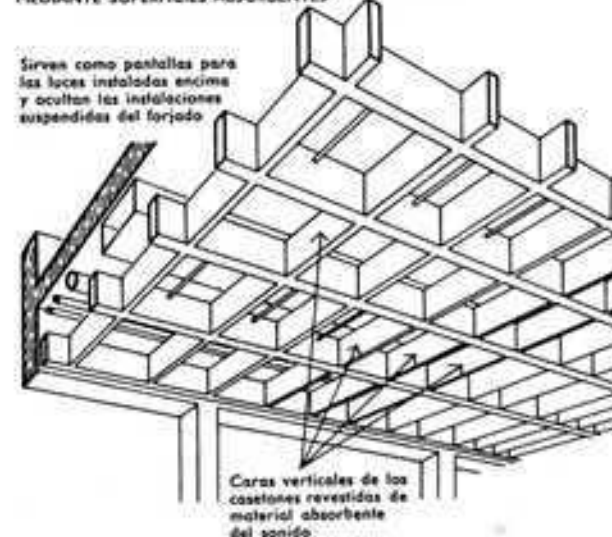
LA HOJA DE MATERIAL ABSORBENTE DEL SONIDO PEGADA DIRECTAMENTE AL FORJADO VA CUBIERTA CON UNA LÁMINA DE ALUMINIO PERFORADA PARA QUE ÉSTA REFLEJE EL CALOR



verse una placa «soundex» montada sobre listones de madera a 5 cm de distancia del techo. Últimamente se han venido utilizando satisfactoriamente montajes como los de las figuras de esta misma página, donde las placas de yeso están suspendidas en unos perfiles metálicos. Con ellos se consiguen bajos costos de instalación y además se obtienen cielos rasos de materiales completamente incombustibles.

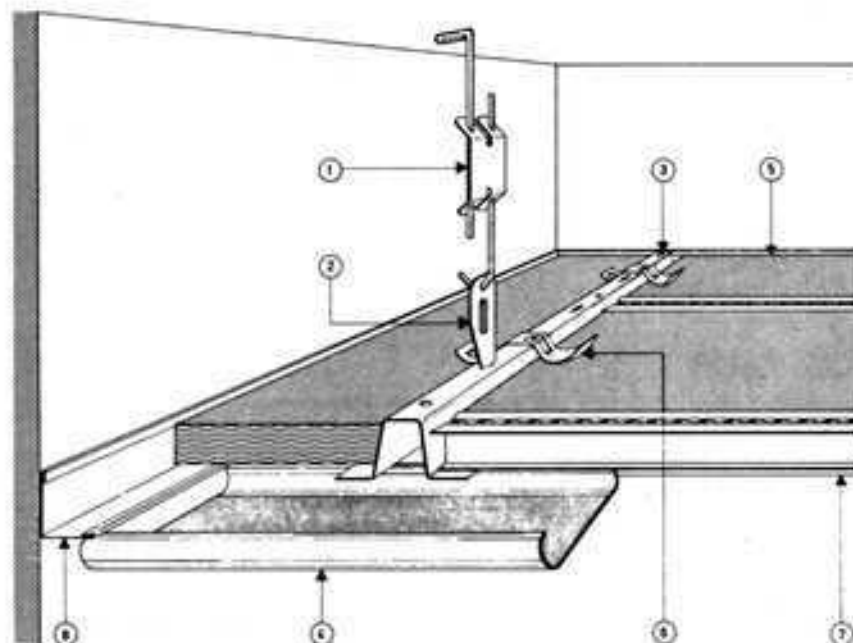
Las placas soundex presentan por su cara oculta un revestimiento liso (higiénico) que permite utilizar la cámara hueca que forman con el techo como canal para la renovación del aire. El aire limpio se difunde de manera uniforme a través de orificios practicados en intersticios fijos de las placas. Puede decirse que se trata de un eficaz sistema de acondicionamiento de aire, dotado, además, de la mejor absorción acústica; también pueden montarse sistemas de calefacción por radiación incorporados a los cielos rasos absorbentes. Basta con substituir en algunas placas la capa de fibra mineral por los conductos de calefacción. Para conservar la absorción sonora y evitar la pérdida hacia arriba de flujo calorífico se reviste el techo en bruto por debajo con una capa de fibra mineral. También pueden utilizarse para este revestimiento láminas de fieltro de lana mineral con una hoja perforada de aluminio interpuesta a modo de ánima que reflejan eficazmente el calor, así como placas de fibra mineral montadas sobre tela metálica y con bandas laminares de aluminio a modo de refuerzo.

CIELO RASO ACÚSTICO «WABEN» REDUCE EL NIVEL DE SONIDO DIFUSO EN UN LOCAL MEDIANTE SUPERFICIES ABSORBENTES



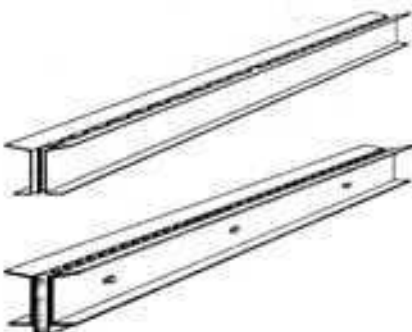
TECHO VENTILADO G+H CON PANELES DE METAL LIGERO

- 1 Suspensión mediante muelles
- 2 Gancho de chapa
- 3 Guía portadora
- 4 Panel de metal ligero perforado o sin perforaciones
- 5 Placa fonoabsorbente de Sillan
- 6 Muelle opresor
- 7 Guía de ventilación, de metal
- 8 Angular de hierro de unión a la pared



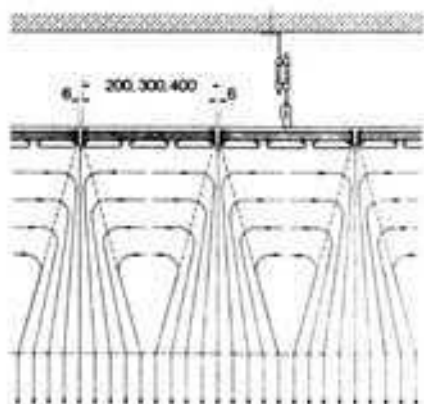
Guía de ventilación G+H

- Arriba: Tipo A (Metal)
Abajo: Tipo K (Plástico)



Sistema de introducción del aire y mezcla con el aire del local

Reproducciones del folleto de la casa Grünweg und Hamann AG, 67 Ludwigshafen am Rhein

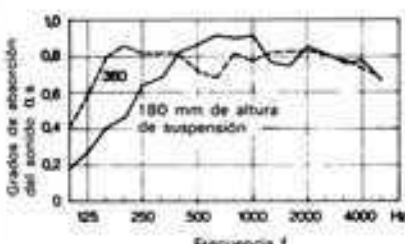
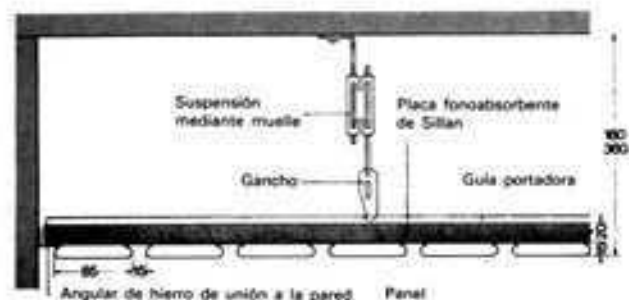


Otro tipo lo constituyen los casetones de chapa metálica perforada, que sostienen placas de material aislante, y se colocan unos junto a otros. Los bordes de los casetones están doblados para aumentar la rigidez de sus caras y facilitar su suspensión mediante perfiles metálicos. Las placas son de fibra mineral adherida a una lámina de plástico. La chapa portante está revestida por ambos lados con una película plástica. También en estos cielos rasos se ha estudiado la posibilidad de introducir aire acondicionado a través de rendijas que se dejan entre hileras de casetones.

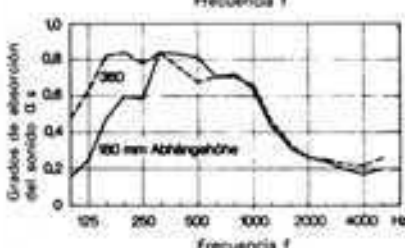
Los emparillados colgantes son el procedimiento más indicado para una absorción acústica eficaz en locales grandes. Su mayor ventaja consiste en que dejan pasar la luz. Las placas absorbentes no se montan, como en los cielos rasos estudiados hasta ahora, paralelamente al plano del techo sino perpendicularmente al mismo, revistiendo las caras del emparillado, de alturas desde 25 cm hasta 100 cm. La retícula del emparillado puede dar lugar a celdillas triangulares, rectangulares, cuadradas o simplemente franjas. Colocado bajo lucernarios este dispositivo

permite totalmente el paso de la luz, contribuyendo a su difusión. Los puntos de luz artificial pueden colgarse de la retícula o, si se desea luz indirecta, colocarse en la parte superior. Con el impacto simultáneo de las ondas sonoras sobre ambas caras de una lámina absorbente se consigue la máxima eficacia acústica de este cielo raso. Por ello proporciona, con el mismo gasto de material, mayores absorciones y mayor efectividad en la gama de bajas frecuencias.

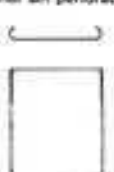
Como se vio al estudiar los fundamentos físicos de la absorción sonora, existen un gran número de posibilidades entre las que el arquitecto puede optar para decidir qué tipo de revestimiento es más adecuado al propósito del local. Los absorbentes porosos deben cubrirse con capas permeables al sonido. El recubrimiento debe escogerse teniendo en cuenta necesidades higiénicas y estéticas —forma y color— y debe presentar cierta resistencia mecánica. También hay que prever, con frecuencia, que sea lavable. Las placas perforadas o hendidas, las mallas o tejidos ya sean de plástico, fibras textiles, vidrio o rejilla de madera o metal son materiales de recubrimiento usados comúnmente. También



Panel perforado



Panel sin perforaciones

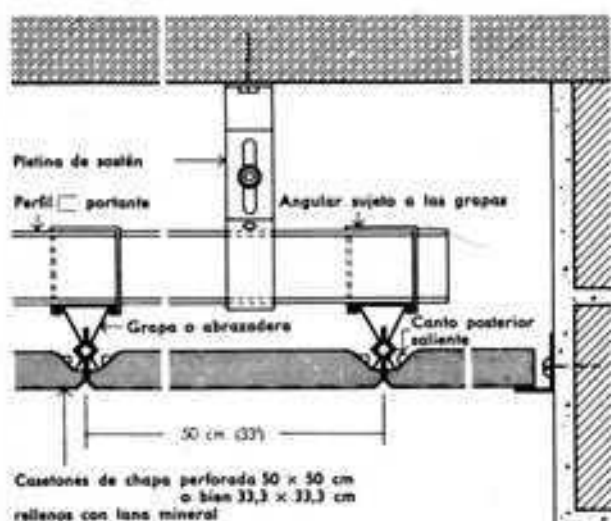


Según documentos GS 18/85 y 19/85 del Instituto de Física Técnica, Stuttgart.

pueden utilizarse bandas de cloruro de polivinilo esponjoso que con sus poros bien cerrados por una cara ofrece grados de absorción interesantes. En los locales húmedos pueden extenderse bandas de 20 a 30 mm de espesor de este material directamente pegadas a las paredes o al techo; presentan una superficie lisa, son lavables y protegen contra la humedad.

Para grandes naves industriales puede resultar práctico revestir sus fachadas y cubiertas por completo con material absorbente. Con ello no sólo se provee de protección acústica, sino también térmica, que se incorpora al mismo tiempo con aquélla. Una placa de metal mineral sostenida libremente detrás de una rendija de ventilación constituida por delgas onduladas de fibrocemen-

CIELO RASO ACÚSTICO DE CASETONES DE METAL LIGERO



to, por ejemplo, ofrece un sistema eficaz para fachadas y techos "respirantes" aptos para desafiar las más extremadas condiciones de temperatura y humedad. Estas mismas placas absorbentes acústicas a base de fibra mineral resultan, interpuestas en la estructura portante de acero o aplicadas debajo de la misma, una excelente medida de protección contra el fuego, según la DIN 4102.

Absorción sonora en muros de ladrillo

También un muro de ladrillo sin revoque presenta, en cierta medida, cualidades absorbentes. El grado de eficacia como absorbente acústico depende del aparejo del muro. Por otro lado, aparte de las cualidades intrínsecas del mismo que tienen que ver con material y forma del ladrillo, textura, proporción de juntas y profundidad de éstas, etc., existe la posibilidad de incluir resonadores en su puesta en obra, con lo cual llegan a conseguirse incluso grados muy altos de absorción sonora. El grado de absorción de una superficie de ladrillo visto oscila entre 0,05 y 0,2. Una capa antepuesta formada por ladrillos gruesos con celdillas (tochana), o bien por ladrillos-celosía con superficie hueca predominante, proporciona, sobre todo si la capa lleva por detrás unas placas de fibra de vidrio o fibra mineral, un notable incremento en la absorción. Concretamente, con ladrillos-celosía con un 47% de superficie abierta y 5 cm de profundidad en sus huecos se consiguen grados de absorción alrededor de 0,8 para frecuencias superiores a 400 Hz. Al separar la capa antepuesta del muro se mejora la absorción para las bajas frecuencias pero disminuye la misma para las altas. Este fenómeno se debe al efecto de resonancia del tabique absorbente. La frecuencia de resonancia de este último puede variarse jugando con distinta separación o cámara de aire y distinto espesor de ladrillos, toda vez que es fija la proporción o porcentaje de superficie de orificios.

De hecho, los ladrillos normales llamados "huecos" o con orificios son tan sólo mediocremente apropiados para capas antepuestas de absorción, a causa de su escasa superficie relativa de orificios. Por ello su grado máximo de absorción se verifica para una gama limitada de frecuencias determinada por la anchura de la cámara de aire que brinda la separación entre capa y muro y por el espesor de los ladrillos que se han utilizado para construir-la.

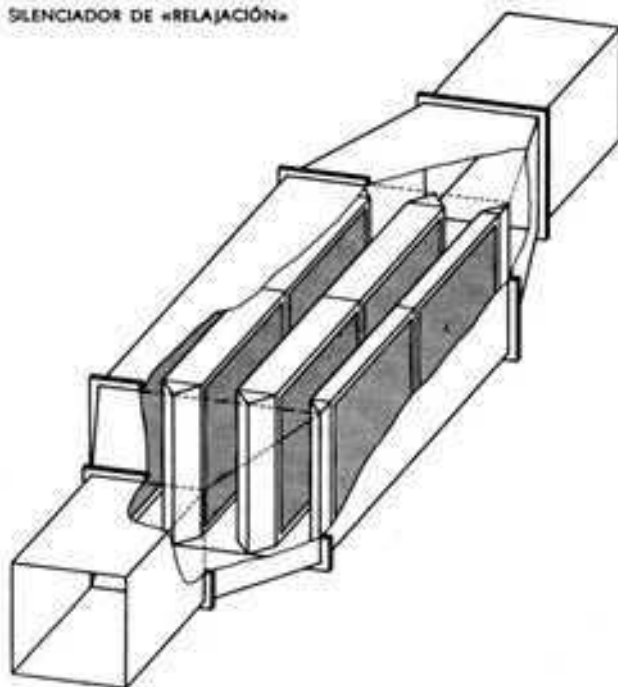
Si se mantiene la anchura de la cámara de aire entre celosía antepuesta y muro de 6 cm y 25 cm, por ejemplo, la absorción empieza a ser eficaz desde los 200 a 300 Hz. Pero si sólo interesa absorber las altas frecuencias se puede prescindir por completo de la cámara de aire y construir la pared de celdillas pegada al muro portante, con lo cual lo único que se ha hecho es ampliar la superficie de contacto exterior—hasta quintuplicarla—siendo así que no actúa como resonador y, por tanto, no cabe esperar absorción alguna de las bajas frecuencias.

Aparte de los ladrillos huecos o de los ladrillos-celosía también se utilizan otros materiales como placas de cartón enyesado, tableros aglomerados de viruta de madera o de fibra de madera, con características parecidas y cuyo campo de absorción máxima puede asimismo, variarse enormemente. Cuando tales materiales se utilizan en locales con el fin de mejorar su audibilidad, se recomienda efectuar un dimensionado riguroso de estas superficies absorbentes y una cuidadosa combinación de las mismas con superficies reflectantes.

Amortiguadores sonoros para conductos y tuberías

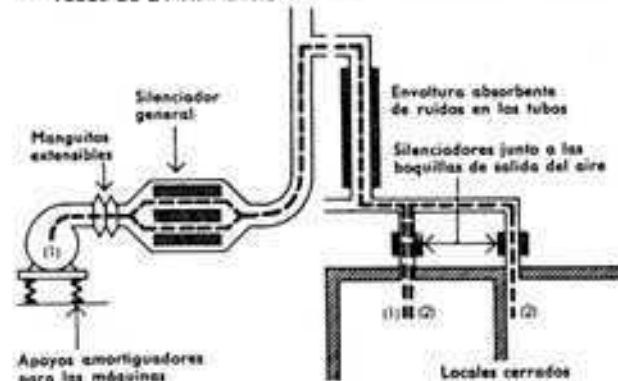
En las instalaciones de ventilación, de calefacción por aire caliente y de acondicionamiento del aire es impulsado éste por medio de ventiladores accionados por motores. Este accionamiento produce ruidos que se propagan por las tuberías hasta las salas y locales ventilados o acondicionados. Estas tuberías o canalizaciones están ordinariamente hechas de obra enlucida con yeso o bien son de chapa.

Las medidas más eficaces para evitar la propagación de aquellos ruidos por las mencionadas canalizaciones consisten en revestirlas interiormente con placas de lana mineral de 20 a 40 mm de espesor. Cuando se hace así en conductos de 30 x 30 cm de sección y en una longitud de 4 a 5 m y, si es posible, en un sector en que haya varias acodaduras o cambios de dirección, puede lograrse, en la mayoría de los casos, una suficiente atenuación del ruido.



DISMINUCIÓN DE LOS RUIDOS PROPAGADOS POR LAS TOBERAS. FIG. 312/1 DE AIRE ACONDICIONADO

- (1) PROPAGACIÓN DE RUIDOS PROVENIENTES DE LAS MÁQUINAS.
(2) PROPAGACIÓN DE SONIDOS ENTRE LOCALES A TRAVÉS DE LOS TUBOS DE LA INSTALACIÓN.



Para evitar con seguridad el arrastre de las fibras de la lana mineral por las corrientes de aire, cuando éstas son violentas, se puede impregnar la superficie con una resina artificial que en nada perjudica la absorción del ruido. Para ir sobre seguro y en los casos en que hay que proceder a alguna limpieza podrá disponerse un forro de chapa perforada sobre el material absorbente o revestir éste con alguna hoja metálica ligera, provista de orificios, pegada a dicho material.

Cuando los conductos tienen dimensiones de más de 50 x 50 cm o cuando el trayecto del que se dispone para el revestimiento absorbente del sonido es corto, es preciso subdividir la corriente. Para ello se constituyen "silenciadores" especiales que pueden ir en la misma tubería o instalarse en tramos de mayor anchura dejados a tal efecto. En la figura superior puede verse un modelo típico de tales "silenciadores" de relajación a base de placas yuxtapuestas longitudinalmente respecto al sentido de la corriente, dentro de una capsula de chapa metálica cuya sección es, por lo menos, doble de la normal. Estos amortiguadores acústicos de relajación se han estudiado, especialmente, para que retengan las componentes de baja frecuencia, ya que éstas eran, dentro de los ruidos residuales de las instalaciones, las más difíciles de absorber con los revestimientos simples antes descritos. Según el nivel sonoro tolerable en el local y la intensidad del ruido producido por el ventilador, que aumenta rápidamente con la velocidad de giro de su hélice, pueden llegarse a necesitar bandas amortiguadoras desde 1 a 3 m de longitud.

Para casos especiales en instalaciones industriales con tuberías procedentes de sopladores de pistón rotativo, compresores, motores de combustión, turbinas a gas, etc., es aconsejable pedir el asesoramiento de un experto en protección acústica y no confiar únicamente en los industriales e instaladores.

Cuando varios locales contiguos se abastecen con una misma tubería de aire acondicionado no basta, normalmente, con que se ponga un "silenciador" en la entrada común. Para impedir la propagación a través de la tubería de los ruidos de palabra hablada o música que se generan en un local y alcanzan al contiguo, debe dotarse a dicha tubería general de silenciadores entre cada dos locales o instalarlos en los arranques de las tuberías derivadas que partiendo de aquélla van a cada local. Esto último debe tenerse en cuenta, particularmente, en oficinas, estudios radiofónicos y laboratorios de sonido.

Los silenciadores para conductos de aire acondicionado requieren un espacio mínimo imprescindible, que debe considerarse como parte del volumen de la instalación en el momento del diseño. Su tamaño dependerá de la amortiguación sonora deseada y del caudal de aire que circula.

Paredes y techos aislados de las vibraciones

Para completar las nociones dadas anteriormente sobre la protección contra la propagación del sonido en los sólidos y contra las trepidaciones, se dan a continuación instrucciones para el empleo práctico y la puesta en obra de los distintos elementos elásticos y capas aislantes.

Elementos elásticos y capas aislantes

Para lograr un buen aislamiento es fundamental tratar de obtener en el sistema una frecuencia propia lo más baja posible. Para ello conviene utilizar masas muy grandes sobre materiales elásticos blandos. Por consiguiente hay que aumentar la masa de la máquina que se desea aislar, lo cual se consigue, en las instalaciones fijas, mediante la adición de un zócalo de cimentación de importante masa. La máquina tiene que ir fuertemente fijada con pernos a ese zócalo y además unida y consolidada con material

DATOS DE LOS MATERIALES AMORTIGUADORES						
Materiales	Peso específico	Carga máxima	Módulo elástico para la carga máxima		Frecuencia propia inferior ω	Coeficiente de pérdida η
	kg/m ³	kg/cm ²	Elastico	Distorsión		
			kg/cm ²	kg/cm ²	Hz	
Feltro de lana mineral	100	0,05	0,05	1—1,5	20—12	0,05
Placas de lana mineral	80—100	0,1	0,1—0,2	1,5—4	20—15	
Antipulit	Tipo 0	70	0,2	1,2	10	0,1
Placa de fundación de corcho		110	0,5	5	40	
		250	4	15	100	
		320	10	40	280	
Korkolit H = III		250	6	25	200	
Korkolit M		220	4	15	120	
Ferro-kork		250	4	25	150	
Antemit		400	20	60	400	
Caucho	Compresión	1000	6	10—40%	2—120	7
	Tensión	—2000	3	4—13%	5—40%	4
Muelles de acero	—	—	De todas las medidas		0,1	0,0004

1) El módulo de elasticidad aumenta con la carga y también con el espesor del material. Los valores inferiores son válidos para la lana mineral en espesores usuales de las capas para amortiguación de ruidos de pisados.

2) Variable para grados de blandura DVM entre 100 y 40.

aglomerante, con lo cual los movimientos que pudiera provocar en toda la masa una fuerza excitatriz cualquiera se reducen mucho.

En la tabla precedente figuran los datos más importantes relativos a los aislantes más usados para interceptar el sonido en los sólidos. Como se puede apreciar en ella, con resortes de acero pueden lograrse las frecuencias propias más bajas y, por tanto, los coeficientes de aislamiento más elevados. Frecuentemente, sin embargo, se desea una mayor inmovilidad de la máquina, es decir que ni las cargas adicionales ni los choques puedan ocasionar que la masa del conjunto ceda o haga movimiento. Tampoco suelen ser admisibles las fuertes sacudidas o choques cuando la máquina tiene juntas o conexiones con tuberías y conductos. En tal caso hay que recurrir a una combinación de los resortes de acero con amortiguadores líquidos y de rozamiento. Como estos medios actúan disminuyendo el aislamiento, en la mayor parte de los casos es conveniente construir las bases de sustentación duras con goma o corcho. La goma no tiene la elasticidad de volumen que tiene el corcho, por lo cual conviene usarla en elementos aislados independientes, o bien en forma de esponja o espuma de goma o de placas con papilas, con lo cual el material al ser comprimido puede expandirse lateralmente.

Lo más barato y sencillo es la aplicación de capas aislantes de lana mineral o de corcho en forma de almohadillas o placas, porque existe entonces la posibilidad de hormigonar inmediatamente encima de ellas. La elección del tipo de aislante debe hacerse, en primer término, a base de la frecuencia propia que se desee obtener que, por lo regular, será como máximo la mitad de la frecuencia de trabajo $f = n/60$ (siendo n el número de revoluciones por minuto de la máquina, y f la frecuencia de trabajo en Hz o ciclos por segundo).

El empleo de almohadillas de fibras minerales o placas de estas mismas fibras, o algún tipo de placas de corcho prensado antipulsita, debe decidirlo en cada caso la carga que ha de intervenir. La superficie del material aislante debe elegirse de manera que se pueda alcanzar la máxima carga admisible en las placas de sustentación.

Para cada aplicación es necesario determinar el tipo de placa y su espesor de acuerdo con las cargas específicas y las frecuencias principales de vibración, o números de revoluciones de las máquinas, o número de percusiones o choques.

Ejemplos de aplicación a las obras

Una vez determinada de acuerdo con las precedentes instrucciones la base aislante que hay que aplicar de capas de materiales fibrosos, de elementos de goma, de placas de corcho o de resortes de acero, se plantea el problema de la forma más adecuada de su aplicación.

Capas de materias fibrosas

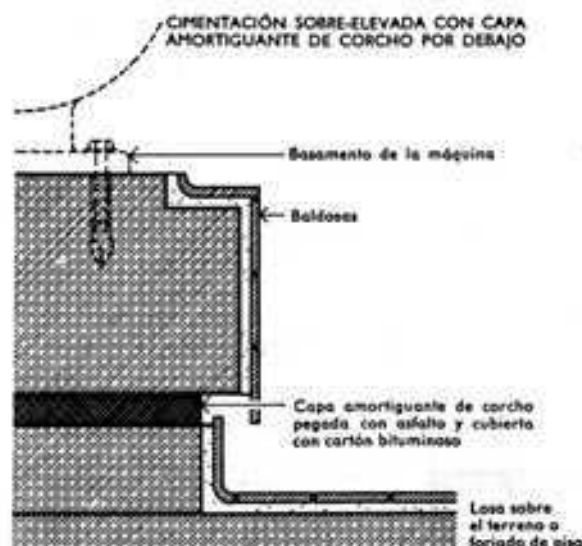
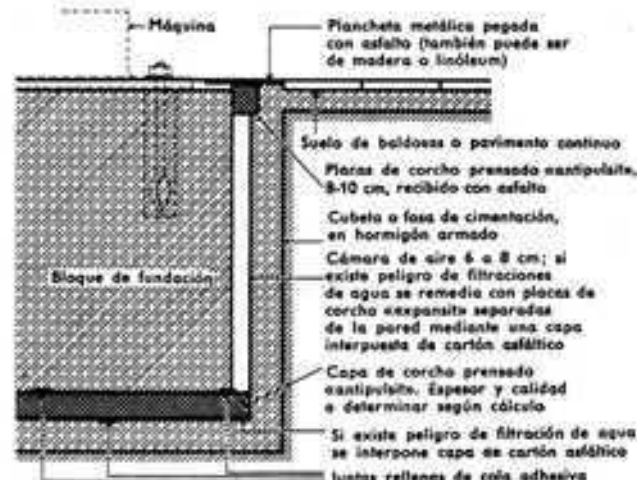
Se suelen emplear casi siempre debajo del pavimento (flotante). Las reglas para su aplicación sirven también a las cimentaciones de tipo ligero para maquinaria, que en la práctica se acostumbra hacer con una sola placa delgada de hormigón sobre la cual va montada la máquina correspondiente. En este caso es también necesario un terreno bien aplanado y una cubierta de papel, y en los bordes o intersticios debe doblarse hacia arriba la capa aislante. Debería siempre moldearse un bordillo o reborde todo alrededor, con lo que se imposibilitarían los desplazamientos laterales de las placas de cimentación.

Placas de corcho

Deben ser aplicadas según las indicaciones dadas. Sobre el fondo de una caja o excavación de cimientos revestida formando una cuba o artesa, que en el caso de máquinas sometidas a fuertes choques o trepidaciones debe armarse especialmente en la parte de la solera y zona baja de las paredes laterales; se colocan las placas de corcho con sus juntas bien cerradas.

Caso de considerarse necesario, en atención al nivel de las aguas subterráneas, la solera de la cuba deberá ser impermeabilizada. También será oportuno colocar entonces una capa de barrera sobre las placas de corcho. Las juntas verticales en las líneas de contacto de las placas no deberán en ningún caso relle-

CIMENTACIÓN ESPECIAL AISLADA DE TREPIDACIONES DENTRO DE UNA FOSA O CUBETA



narse con betunes ni con mortero. El hueco entre la pared de la cuba y la cimentación tiene que ser lo suficientemente ancho para que el encofrado empleado para hormigonar pueda extraerse de manera segura y completa.

Hay que procurar también que no caigan en él restos de mortero o de piedra. Para ello es preciso tapar el hueco por arriba tan pronto como se haya extraído el encofrado.

Si una máquina desarrolla energéticos esfuerzos horizontales que podrían producir desplazamientos de la cimentación, el hueco en cuestión debe rellenarse por completo, para lo cual es suficiente, por lo regular, el corcho "expansita" aglomerado con alquitrán. Sin embargo, el efecto aislante es mejor si el hueco queda sin rellenar porque las placas de corcho interpuestas transmiten, ya desde que se hormigona la cimentación, y por esfuerzo cortante, fuerzas verticales haciendo más rígido en esa dirección el mullido elástico del conjunto, con lo cual se empeora el efecto aislante.

Para máquinas que producen choques o trepidaciones más débiles y para máquinas ligeras que pueden colocarse sobre techos de pisos, es posible otro tipo de cimentación de obra exenta distinta de las hasta ahora descritas, que se basaban en una bandeja móvil sobre placas de corcho, situada en el fondo de excavaciones formando una cuba o artesa.

Elementos de goma

Deben disponerse de manera que no estén expuestos al aceite ni al agua y sean accesibles para la limpieza. Se emplean, por lo tanto, preferentemente debajo de cimentaciones bajas y aisladas o inmediatamente debajo de los zócalos de las máquinas o de sus bastidores de apoyo.

En los casos en que fuera posible debería aumentarse la masa de los bastidores de apoyo hormigonándolos. Hay combinaciones de metal y goma que se suelen suministrar en forma de carriles o gulas. Tienen la ventaja de que pueden trabajar a compresión o a esfuerzo cortante. La colocación de placas con franjas o salientes discontinuos de goma bajo los apoyos de las máquinas es muy sencilla. Su resistencia es de 2 kg/cm². A causa de su escaso espesor —entre 5 y 10 mm— no cabe esperar de estos dispositivos más que una limitada amortiguación del sonido propagado por los sólidos.

Resortes de acero

Para la aplicación de resortes de acero se proyectan grandes cimentaciones con una estructura portante de acero, de manera que los elementos elásticos puedan ser colocados posteriormente en las inmediaciones de las aristas superiores de la cimentación y debajo de un reborde saliente en forma de platina, con lo cual quedan fácilmente accesibles. Para las máquinas ligeras como fuelles mecánicos con motor, es suficiente disponer una placa de cimentación, debajo de la cual los resortes de suspensión se colocan simétricamente respecto a la vertical del centro de gravedad. Las distancias entre puntos de apoyo deben escogerse de manera que den lugar a pares de fuerza iguales con lo que se garantiza la permanencia de la placa en posición horizontal.

Las bajas frecuencias propias del sistema dan según la ecuación

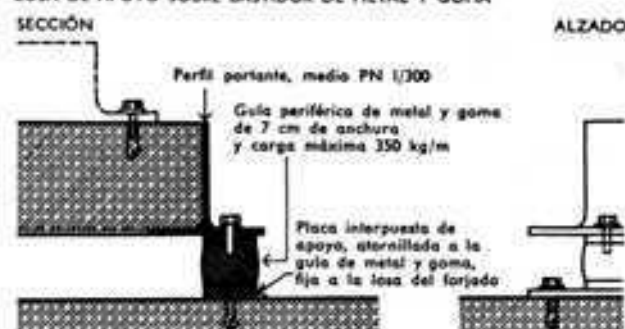
$$f_0 = \frac{5}{\sqrt{\Delta l}}$$

importantes deformaciones de los resortes.

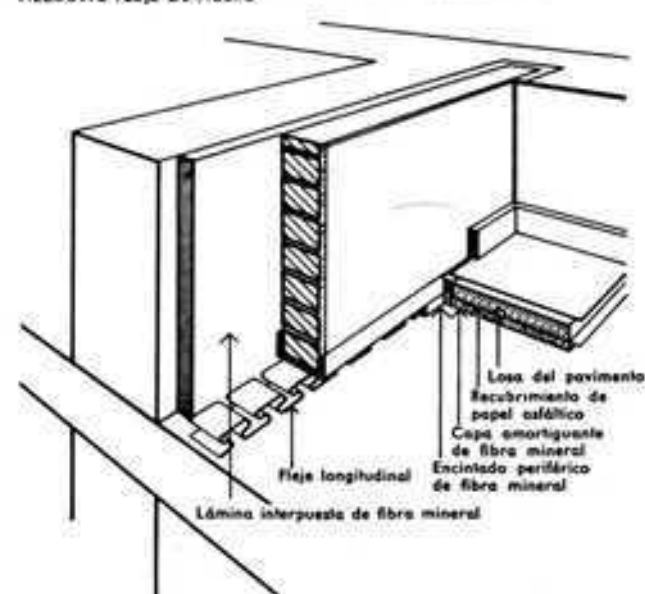
Por ejemplo: 6.2 cm para $f_0 = 2$ Hz

o 5 mm para $f_0 = 7$ Hz.

LOSA DE APOYO SOBRE BASTIDOR DE METAL Y GOMA



PLACA PESADA ANTEPUESTA A UNA PARED Y SUSTENTADA MEDIANTE FLEJE DE ACERO



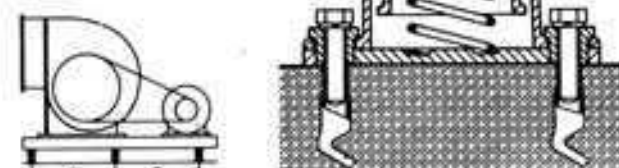
FLEJE DE ACERO DOBLADO QUE FORMA UN MUELLE LONGITUDINAL. MEDIDAS Y CARGAS MÁXIMAS



Cargas kg/m	Número de rizos (l) por metro de fleje	Anchura mm	Altura o grosor total 40 ± 1 mm
3000	7	100	Flexión en caso de carga máxima 4.5 mm
2000	5	100	
1000	7	30	
500	5	30	

SUSPENSIÓN DE RESORTES DE ACERO EN LOS APOYOS DE UN VENTILADOR

En el grupo impulsor de ventilación se colocan el motor y el soplador sobre el mismo bastidor. Los apoyos se distribuyen simétricamente respecto al centro de gravedad común.



Con 7 Hz de frecuencia propia, la amortiguación sonora es efectiva para todas las frecuencias mayores de 10 Hz. Justamente esta frecuencia propia es la que se alcanza con los flejes de acero ondulados que pueden verse en las figuras adjuntas, cuya sección presenta dobleces retornados a modo de meandros. Sus dimensiones son: altura 40 mm, anchura de 30 a 100 mm que corresponden a cargas máximas entre 500 y 3000 kg/m l. Estos flejes con pliegues (o muelles de banda) pueden utilizarse debajo de cualquier tipo de plataforma de cimentación. Pero preferentemente se utilizan para paredes de dos capas en estudios radiofónicos o gabinetes de ensayo acústico para laboratorios a modo de suspensión elástica para la capa interior o para el segundo pavimento. Un derivado de este sistema de flejes con pliegues se utiliza en los pavimentos vibrantes tan usados hoy en día en los gimnasios y pabellones deportivos. También puede utilizarse con este sistema un revestido final de suelo blando idéntico a como se hacía sobre los techos de madera dobles.

Cuando se disponen una serie de resortes de acero debajo de una cimentación de una máquina de gran peso y con distribución desigual de cargas, repartiéndolos alrededor del contorno, la desigualdad de sus deformaciones daría una posición inclinada al conjunto. Por ello hay que colocar los resortes simétricamente respecto a la vertical del centro de gravedad de la máquina, o prever otra plataforma compensatoria debajo del conjunto. Así, pues, los elementos elásticos de acero en su mayoría van provistos de tornillos de regulación de su altura, con lo cual puede compensarse dicho efecto, hasta lograr que la máquina recupere su posición horizontal. Con el fin de evitar sacudidas fuertes cuando las solicitaciones o choques poseen la frecuencia propia del sistema se disponen paralelamente a los elementos elásticos unos émbolos y cilindros de aceite semejantes a los amortiguadores telescópicos de choques en los automóviles.

También existen los llamados "sistemas complejos" en que se combinan muelles y émbolos a vapor. Las cimentaciones de los martinets de calda libre y de los pesados martillos-pilón de vapor o aire comprimido deben ser calculadas cuidadosamente. En las máquinas, motores, bombas y ventiladores aislados de vibraciones hay que evitar las transmisiones indirectas a través de sus propias tuberías de entrada de agua, sonda de gases, aire, así como de los ejes de rotor y estator. Para ello sirven las tuberías flexibles, que para agua fría y caliente podrán ser de goma o de plástico, y para vapor y tubos de escape de fuelles metálicos o mangas flexibles también metálicas. En muchos casos es suficiente que las conducciones demasiado gruesas no salgan directamente en ángulo recto de la máquina, sino que el primer tramo —por ejemplo de 1 m de longitud— tenga una elasticidad a la flexión que permita suficiente flexibilidad. Las tuberías sujetas fuertemente a la máquina deben mantenerse elásticamente separadas del edificio, por ejemplo mediante abrazaderas flexibles. En los ventiladores, los tubos de iona evitan completamente la propagación de vibraciones. Para los árboles transmisores de par de giro se emplean corrientemente embragues flexibles.

Datos para el cálculo preliminar

Para poder estudiar un problema de aislamiento contra el sonido en los sólidos, es preciso conocer datos exactos sobre los puntos que citamos a continuación para utilizarlos como bases de cálculo.

¿Qué es lo que se exige del aislamiento?

¿Es suficiente el efecto aislante para las frecuencias audibles o bien se desea también protección contra las trepidaciones?

Lugar de la instalación:

¿Sobre terreno natural?

¿Cómo está el subsuelo?

¿Nivel del agua subterránea?

En pisos:

Construcción de techos y pisos

Tipo de máquinas, número de ellas, superficie en planta, peso, cargas del tránsito, superficie de los apoyos (tamaño y forma), número de revoluciones, altura, situación del centro de gravedad (distribución de las cargas), masas con movimiento de vaivén (fuerzas dinámicas).

En los martillos y martinets:

Peso de los cimientos y forma de los mismos, si es posible acompañando planos. Peso de la armazón o soporte, martillo o masa que golpea, yunque, número de golpes por minuto, energía empleada, apoyo del yunque (¿hay basamento?), distancia de los objetos a los que se puede perturbar.

Tipo de cimentación previsto.

Absorción de las vibraciones en la obra

También se producen trepidaciones a causa de las vibraciones del terreno. Estas vibraciones se propagan esféricamente desde un punto de origen —igual como el sonido.

Distinguimos entre:

1. Las trepidaciones repentinas y sin repetición, como las que se producen, por ejemplo, a causa de explosiones, de percusiones de martinets e incluso de terremotos.
2. Las trepidaciones periódicas y permanentes. Principalmente están producidas por el tráfico sobre carriles: el tráfico ferroviario, el de los tranvías, y finalmente por el tráfico rodado, especialmente de los camiones en las ciudades. Las trepidaciones del terreno debidas al tráfico sobre railes aparecen principalmente en las juntas de los carriles, y en las calles se producen a causa de rugosidades, baches y juntas en el firme. Las trepidaciones que resultan de máquinas pesadas y sobre todo de las de apisonar pueden transmitirse incluso a través del agua subterránea a muchos kilómetros de distancia.

La medición de la intensidad de trepidación, así como las medidas para la protección de las obras, están reglamentadas en la norma DIN 4150: "Protección contra trepidaciones en la construcción".

Efectos sobre la estructura de la obra

Las trepidaciones repentinas causan tensiones adicionales en los elementos constructivos y en la estructura total. Las trepidaciones y vibraciones de mayor duración y las permanentes relajan la estructura de los materiales y de los elementos constructivos. Cuando la frecuencia de las vibraciones propias de un edificio coincide con la del excitador de las trepidaciones, se aumentan considerablemente las vibraciones y con ellas las tensiones adicionales en la estructura. Este efecto se hace notar en mayor grado en los pisos altos.

Debido a las trepidaciones se relaja también la estructuración del terreno, lo que puede producir unos asentamientos de los fundamentos que se convierten en peligro cuando se producen irregularmente.

Posibles medidas contra la transmisión de trepidaciones a construcciones

1. Emplazamiento

Sin tomar medidas constructivas especiales la transmisión de trepidaciones sólo puede evitarse en la mayor parte de los casos haciendo que exista una distancia adecuada entre la obra y el foco de las trepidaciones.

Ya en la elección del emplazamiento de una obra, o mejor en la confección de los planos de ordenación de volúmenes de los planes parciales, habrá que tener esto en cuenta tanto como las medidas contra molestias por ruidos (ruidos y trepidaciones se producen muchas veces simultáneamente). Esto se refiere principalmente al emplazamiento de hospitales, escuelas y zonas residenciales.

2. Reducción de las causas

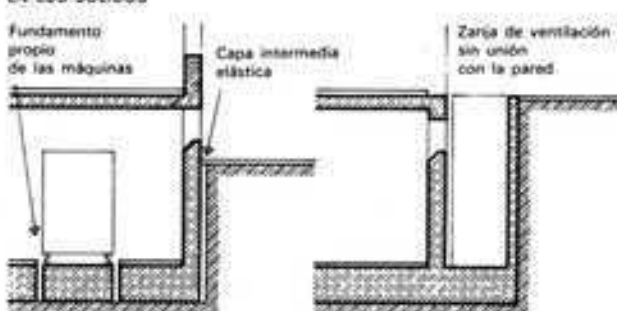
Muchas veces no puede evitarse la transmisión de trepidaciones, pero puede reducirse en la mayoría de los casos su intensidad en el foco de su origen. Ejemplos: reforzar o mejor soldar las juntas de carriles; los firmes de las vías pueden arreglarse y alisarse, y los baches y los badenes pueden hacerse desaparecer; las máquinas se colocan sobre un fundamento de peso adecuado y se las equipa con una suspensión bien dimensionada.

3. Medidas en la obra

Si a pesar de todo, hay que contar con que se transmitirán trepidaciones a una obra, las medidas a adoptar ya deben comenzar con el estudio del terreno. Habrá que realizarlo a una mayor profundidad que la normal. Además hay que comprobar la resistencia del terreno a las vibraciones. Los fundamentos deben dimensionarse de tal forma que no puedan producirse asentamientos irregulares.

Como las vibraciones, a través de la base de cimentación, también afectan a las paredes del sótano, habrá que ejecutarlas (paredes exteriores, paredes de carga y paredes divisorias) como un conjunto rígido, con sus elementos unidos

MEDIDAS CONTRA LA TRANSMISIÓN DEL SONIDO EN LOS SÓLIDOS



entre sí. En todas las paredes de hormigón se disponen entonces (como en las zonas de minería), en los bordes superiores e inferiores, unas armaduras, de modo que tales paredes actúan como vigas. Entre el techo del sótano y las paredes se establece una unión capaz de resistir esfuerzos. Para evitar el choque entre las vibraciones del terreno y los muros exteriores, se dispondrá una zanja en el lado donde está el foco de las trepidaciones, a lo largo de toda la construcción.

Cuanto más pesada y más homogénea sea una obra en su estructura, mejor resistirá las trepidaciones. Por tal razón en la obra de fábrica, la resistencia del mortero debería aproximarse a la de las piedras o ladrillos. En obras de ladrillo deben emplearse morteros de cal o morteros de cemento según DIN 1053. Las uniones rígidas siempre son más convenientes que las articulaciones.

Si ya durante la ejecución de la obra gruesa se perciben transmisiones de vibraciones, habrá que pensar a tiempo en tomar medidas para evitar posibles resonancias. La frecuencia de las vibraciones propias de una obra puede calcularse sólo aproximadamente. En algunos casos para evitar resonancias sólo existe el recurso de modificar el peso propio de la obra. Después de acabar los distintos pisos habrá que medir las transmisiones de oscilaciones, y para hacerlas desaparecer habrá que ejecutar el edificio con una planta menos de las proyectadas o aumentar el número de plantas —si la estructura lo permite— en una o dos.

Las vibraciones propias de un edificio se notan, en las plantas más altas, sólo después de algunos minutos de estancia. Si estas vibraciones están producidas por una o varias máquinas, muchas veces es ya suficiente acelerar su número de revoluciones para hacer desaparecer las vibraciones.

Paredes

Las palabras "pared" y "muro" se emplean hoy día como sinónimas, pues aunque sean de etimología diferente es imposible distinguir con precisión el significado de cada una de ellas. Distinguiamos las paredes según su material, su tipo de fabricación y su función constructiva o estática. A continuación consideramos en primer lugar las paredes como elementos de carga, su fabricación mediante piedras naturales o artificiales o bien mediante los distintos tipos de hormigón; después, las paredes en general como elementos de la estructura, sus distintas sollicitaciones y su composición constructiva.

Paredes de obra de fábrica

Amontonando piedras naturales, fragmentos de piedra y rocas erráticas, nuestros antepasados construían paredes delante de las cuevas en que habitaban.

Muros sin mortero, hechos de piedras naturales elaboradas de unos tamaños sorprendentes, de 3 y 4 metros de longitud, los encontramos ya en Egipto alrededor del año 3000 a.C. Los llamados "muros en seco", hechos con piedras de tamaño más manejable y cuyas juntas están cerradas a lo más con tierra, aún existen en gran número en Alemania, como por ejemplo los muros de sustentación en las viñas. Hasta hoy día se aplica este tipo de muro en el campo de la jardinería y la arquitectura paisajista.

Un desarrollo especial, paralelo a la construcción en piedra con juntas de mortero, se presenta en los templos egipcios y griegos, que se ejecutaban con juntas dimensionadas exactamente, sin ningún tipo de mortero. También el desarrollo de la construcción en piedra con juntas amorteras, es decir, formando cuerpos homogéneos y resistentes a la compresión comenzó en Egipto. Desde entonces las piedras naturales —tanto con relleno de juntas como sin él— han dominado la historia de la arquitectura hasta principios del siglo XX, en lo referente a edificios públicos y representativos.

Las casas de viviendas, en cambio, muy raras veces se hacían de piedra natural, ya que eran demasiado caras en comparación con la construcción de entramado y de barro.

En las civilizaciones antiguas de los sumerios, los babilonios y los egipcios, el barro se utilizó como principal materia de construcción de gran plasticidad. Por eso las construcciones de adobe se cuentan entre las más antiguas.

También en el Asia Menor, por ejemplo en Troya, y en Grecia, se ejecutaron los edificios en barro. Las primeras construcciones en ladrillo cocido se sitúan en Mesopotamia. Los romanos continuaron el desarrollo de la fábrica de ladrillo, creando con la ayuda de su mortero puzolánico unos cuerpos de construcción muy homogéneos y sólidos. En estos casos, muchas veces se aplicaron los ladrillos sólo como revestimiento o como capa intercalada, junto con piedras naturales y pedazos de rocas.

El desarrollo del actual aparejo de ladrillos tiene su origen en la época del Renacimiento, al igual que los principios de las ciencias naturales de la mecánica causal.

Como las obras de piedras labradas exigen un esfuerzo de trabajo considerablemente mayor, la construcción en ladrillo ganó

importancia. Sólo donde había piedras naturales adecuadas en las cercanías inmediatas, teniéndolas a mano por decirlo así, se conservaron los muros de piedra natural, en su forma más sencilla de muros mampostería, hasta el siglo XIX. Aproximadamente a partir de esta fecha, en que se introdujo una transformación en el método de producir acero, a base de hulla y de coque, también la cocción de los ladrillos en los nuevos hornos experimentó una mejora considerable.

De este modo el ladrillo se convirtió en el material de primer orden para casi todo tipo de construcciones y se ha mantenido esta posición hasta mediados de nuestro siglo. La dureza de la profesión de albañil, que hay que ejercer al aire libre aunque haga mal tiempo, es la causa de que cada vez haya menos aprendices, mientras que el número de construcciones ha aumentado después de la segunda guerra mundial en dimensiones antes no conocidas. Al principio fueron justamente los ladrillos aprovechables, sacados de las ruinas de las ciudades destruidas por los bombardeos, los que posibilitaron una primera y rápida reconstrucción sin grandes medios técnicos auxiliares. A pesar del desarrollo de los ladrillos huecos y perforados, que con dimensiones mayores, pero con un peso adecuado, reducen el espesor de la pared y aumentan considerablemente el rendimiento de trabajo de los albañiles, las paredes de ladrillo construidas a mano han ido desapareciendo cada vez más en las grandes obras, debido a la escasez de obreros especializados. Mas para ciertas construcciones de tamaño mediano, los ladrillos cocidos o aglomerados con cemento han podido mantener hasta hoy su posición en el mercado. Como hasta ahora no se conoce ningún material que pueda sustituir las funciones de la obra de fábrica y que sea más apropiado para las condiciones climáticas de los locales que el ladrillo cocido, la industria procura aplicar y desarrollar este material, en forma modificada, para la producción de elementos prefabricados de grandes tamaños.

Mortero

La palabra "mortero" se deriva de la expresión latina "mortarius", con que se designa el caldero que se usó para cocer la cal. Se entiende por mortero un material plástico apropiado para cerrar las juntas, de asiento y verticales, y también las que quedan entre piedras desiguales o irregulares, y conseguir mediante un proceso del fraguado un cuerpo resistente a la compresión. Los morteros también sirven para alisar las superficies de paredes, o para proteger fachadas con poca resistencia a la intemperie.

Composición del mortero

Los romanos desarrollaron los conocimientos sobre la preparación del mortero y los porcentajes de mezcla que ya en un principio tenían los egipcios y los griegos. Para sus construcciones de bóvedas, de muros de ladrillos, de acueductos y de cloacas, etc., necesitaban un mortero resistente al agua de unos porcentajes de mezcla exactamente determinados. A la cal cocida se añadió toba volcánica pulverizada, tierra puzolánica, o

Cal blanca finaControl según
DIN 106050  kgNo debe
emplearse antes de 10 horas
de inmersión en aguaNombre de la marca,
fábrica,
localidad**Cal débilmente hidráulica**Control según
DIN 106040  kgPuede emplearse
inmediatamenteNombre de la marca,
fábrica,
localidad**Cal eminentemente hidráulica**Control según
DIN 106040  kgPuede emplearse inmediatamente
El mortero debe ser empleado
después de 3 horas de amasadoNombre de la marca,
fábrica,
localidad**EJEMPLOS DE ROTULACIÓN DE LOS SACOS**

Distintivo de calidad de la cal, DIN 1060

también ladrillos pulverizados. A veces era suficiente añadir cal arcillosa para conseguir que el mortero adquiriera características hidráulicas.

También tenía gran importancia la calidad y cantidad de la arena, que fue elegida conscientemente, es decir, según las experiencias. Mezclando mortero, pedazos de piedras y ladrillos, se conseguía fabricar una especie de hormigón, cuya calidad aún hoy se demuestra en las ruinas antiguas.

Según la composición y el tipo de fraguado se distinguen los morteros en las siguientes clases:

- "Mortero físico": El paso del estado pastoso o semilíquido al sólido se verifica mediante secado o fraguado sin recursos químicos. Esto puede aplicarse a los morteros de barro, los morteros de tierra refractaria, el mortero de asfalto y los modernos morteros adhesivos a base de materiales sintéticos.
- "Mortero químico": El fraguado tiene lugar en forma de proceso químico. En este tipo de mortero contamos el mortero de cal, el mortero de cemento y el mortero de yeso. Las mezclas entre estos tipos de mortero y el empleo de distintos aditivos también se hacen frecuentemente. Hoy se emplean principalmente los morteros de tipo químico.

Aglomerantes

Cal, cemento y yeso se designan con el nombre de aglomerantes. Como los aglomerantes puros (aparte del yeso de estuco) se agrietan durante el endurecimiento, habrá que mezclarlos con arena a porcentajes determinados. Aparte de esta función, la arena mezclada con los aglomerantes constituye el "soporte" para el mortero y su resistencia a la compresión.

Cal

Se halla normalizada en la DIN 1060. Se obtiene calcinando la piedra caliza por debajo de la temperatura de conglutinación. En ese estado se denomina cal viva, y si se apaga sometiéndola al tratamiento por el agua, se llama cal apagada.

Variaciones comerciales

La cal que se emplea en construcción puede ser, comercialmente:

Cal viva, en terrón o en polvo;

Cal apagada (hidrato cálcico), en polvo o en pasta;

La cal hidráulica y la eminentemente hidráulica son cales totalmente o casi totalmente apagadas

Las cales en polvo fino se sirven envasadas en sacos de un contenido de 40 kg ~ 68 litros o de 50 kg ~ 85 litros.

Marcas distintivas

La cal en polvo, apagada o sin apagar, tiene que llevar la marca distintiva correspondiente (p. ej. cal blanca, cal dolomítica, cal hidráulica, cal romana) y la designación de "apagada" o "sin apagar". Además tiene que llevar el nombre o razón social de la empresa productora, el peso del saco (40 kg o 50 kg) y las reglas para su utilización.

Las fábricas que se han sometido a una vigilancia permanente de la resistencia de sus productos, sea a través del laboratorio de la Unión de fábricas alemanas de cal (VDK), sea a través de un laboratorio oficial de ensayos de materiales, colocan en los envases de sus productos la marca DIN y el distintivo de calidad. Los sacos de papel van caracterizados, además en la siguiente forma:

Cal blanca y débilmente hidráulica	1 franja negra
Cal hidráulica	2 franjas negras
Cal eminentemente hidráulica y cal romana	3 franjas negras

Según su composición química y sus propiedades, se clasifican en: cales aéreas que sólo se endurecen al aire, y cales hidráulicas que también se endurecen bajo el agua.

Cales aéreas

Contienen menos del 10% de elementos ácidos solubles. Se endurecen gracias a la combinación con el anhídrido carbónico del aire y cediendo el agua que va quedando en libertad (desecación).

Cal blanca

Contiene por lo menos un 90% de óxido cálcico. El contenido de óxido magnésico tiene que ser menor del 5%. Según la importancia de su contenido de óxido cálcico se apaga con mayor o menor energía, es más o menos pastosa y presenta, después de su apagado y transformación en pasta, un tono blanco más o menos puro.

Cal dolomítica (cal gris)

Contiene no menos de 90% de óxido cálcico + óxido magnésico. El contenido de óxido magnésico debe exceder del 5%. La cal dolomítica (en general) tiene un apagado más lento que la cal

blanca y presenta después del apagado una tonalidad agrisada u oscura, de donde procede su denominación de cal gris.

Cal de carburo

Procede del aprovechamiento de los subproductos de la fabricación del acetileno que quedan en forma de cal apagada en pasta o en polvo. Cuando la fábrica productora está autorizada para ello, puede ser empleada en lugar de la cal blanca apagada.

Cales hidráulicas

Contienen más del 10% de elementos ácidos solubles. Se endurecen tanto al aire como bajo la acción del agua o de la humedad, alcanzan más rápidamente resistencias superiores a las de las cales aéreas y son, casi exclusivamente, cales en polvo que se sirven en sacos debidamente marcados. Deben seguirse con toda escrupulosidad las reglas para su preparación y puesta en obra, así como las relativas a las plazas de fraguado de los morteros.

Cal débilmente hidráulica

Contiene de un 10 a un 15% de elementos ácidos solubles. Se apaga lentamente y tiene una resistencia mínima a la compresión de 10 kg/cm².

Cal hidráulica propiamente dicha y cal eminentemente hidráulica
Contiene por lo menos un 15% de elementos ácidos solubles. La resistencia mínima a la compresión de la pasta de cal endurecida debe ser de 50 kg/cm² en la cal eminentemente hidráulica, o de 25 kg/cm² en la cal hidráulica propiamente dicha.

Cal romana

Es una cal eminentemente hidráulica con un principio de fraguado rápido.

Cemento

Es un aglomerante hidráulico que se obtiene moliendo finamente el producto de la cocción, llevada por lo menos hasta principio de conglutinación (clinkerización), de mezclas de primeras materias debidamente dosificadas que contengan cal, sílice, alúmina y óxido férrico, haciendo luego si hace falta oportunas adicio-

nes al proceder al molido final. Alcanza elevadas resistencias y es estable en el agua. La composición y las propiedades de los cementos vienen estipulados en las normas correspondientes. Todos los cementos que cumplen las normas oficiales se denominan "cementos normales". Aparte de los cementos normales, se conocen aglomerantes mixtos y algunos tipos de cementos no normalizados.



Cementos normales

Los cementos normales vienen reglamentados por la norma DIN 1164. Por su composición se clasifican en diferentes tipos de cementos.

Cemento portland

Se fabrica moliendo finamente el clinker o producto conglutinado resultante de la cocción. Es el componente fundamental o básico para todos los cementos normales.

Dos clases o tipos especiales de cemento portland son: el cemento metalúrgico y el cemento blanco.

En el cemento metalúrgico, la alúmina queda casi totalmente sustituida por el óxido de hierro o de algún otro metal. Por esta razón, este cemento resiste bien el agua de mar o de pantanos. El cemento blanco es un cemento portland muy bajo en óxido férrico. Tiene un color blanco puro.

Cemento ferroporland

Se obtiene moliendo conjuntamente a gran finura una mezcla de

70 partes en peso de clinker de cemento portland y 30 partes en peso (como máximo) de escorias (hidráulicas) de altos hornos, granuladas por enfriamiento brusco.

Cemento de altos hornos

Se obtiene moliendo conjuntamente a gran finura una mezcla de 15 a 69 partes en peso de clinker de cemento portland y 85 a 31 (respectivamente) de escorias (hidráulicas) de altos hornos granuladas por enfriamiento brusco.

Calidades

Todos los cementos normales se encuentran en el mercado a base de tres calidades.

Estas calidades van designadas según sus resistencias a la compresión, que alcanzan como mínimo las probetas de mortero normal preparadas y conservadas según prescriben las normas durante 28 días.

CLASES DE RESISTENCIA

Clase de resistencia	Resistencia a la compresión en kg/cm ² tras			
	2 días mín.	7 días mín.	28 días mín.	máx.
250	—	100	250	450
350 L ¹⁾ F ¹⁾	— 100	175 —	350	550
450 L ¹⁾ F ¹⁾	100 200	— —	450	650
550	300	—	550	—

1. El cemento portland, el cemento ferroporland, el cemento de altos hornos, y el cemento puzolánico (trass), con lento fraguado inicial, llevan la designación L: los cementos con mayor resistencia inicial, la designación F.

Marcas distintivas

El envase, que en la mayoría de los casos es el saco de papel de 3 o de 4 hojas, y tiene capacidad para 50 kg = 42 litros ($\gamma = 1,2$ kg/dm³), debe llevar claramente legible la denominación del tipo o clase del cemento, la calidad, el peso bruto, el nombre de la empresa productora y su marca. La impresión de estas características y el color del envase distinguen y caracterizan la calidad del cemento.

COLORES DISTINTIVOS PARA LAS CLASES DE RESISTENCIA

Clase de resistencia	Color distintivo	Color de la impresión
250	violeta	negro
350 L 350 F	marón claro	negro rojo
450 L 450 F	verde	negro rojo
550	rojo	negro

Cemento puzolánico (trass)

El cemento puzolánico se produce moliendo en fábrica, conjuntamente, una mezcla de 60 a 80 partes en peso de clinker de cemento portland y otra de 40 a 20 partes en peso de puzolana con adición de sulfato de calcio. Los porcentajes del clinker de cemento portland y de la puzolana se refieren al peso total de la mezcla de los mismos.

Agglomerantes mixtos

Los aglomerantes mixtos (DIN 4207) son materiales aglomerantes hidráulicos. Se preparan mediante molturación, en fábrica, de materias hidráulicas con adición de catalizadores o estimulantes (cemento portland, cal blanca, cal dolomítica, yeso o mezclas de tales sustancias).

Marca de los aglomerantes mixtos



El gasto de energía al fabricar aglomerantes mixtos es más reducido que al fabricar cemento. Además, las materias hidráulicas pueden ser aprovechadas mejor que con el cemento. Los aglomerantes mixtos, según la DIN 4207, deben tener una resistencia mínima a la compresión de 150 kg/cm². Pueden sustituir el cemento en todas aquellas partes de las obras donde son suficientes resistencias más bajas que las que se obtendrían con el empleo del cemento.

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Resistencia a la compresión en kg/cm ² (N/mm ²)		
a los 7 días mín.	a los 28 días mín.	máx.
75 (7,5)	150 (15)	350 (35)

Cementos sin normalizar

Cemento aluminoso

Es el más importante de los cementos no normalizados. En Alemania, actualmente hay una sola marca de cemento aluminoso en el mercado: la "Rolandshütte" de los Altos Hornos de Lübeck. Se prepara y coloca en obra como los demás cementos, pero no puede ser mezclado con cementos de otra clase ni con cal, pues en tal caso podrían producirse cementos de fraguado rápido. No es admisible el empleo de un agua de amasado que contenga sales.

Cementos naturales

Se diferencian del cemento portland en los métodos de fabricación, por suprimirse la preparación artificial de las mezclas crudas. Por la variabilidad de sus resistencias, sólo son admisibles para aplicaciones secundarias.

Cementos preparados

Para la preparación de morteros "impermeables" se han creado algunos cementos especiales que hasta cierto punto tienen propiedades hidrófugas.

Cementos de esta clase son: el "Aquadom", el "Antiaqua", el "Siccifix", etc.

Yeso

El yeso para construcción está normalizado en la DIN 1168. Está formado por sulfato cálcico hidratado ($\text{CaSO}_4 + 2 \text{H}_2\text{O}$), que por medio de la cocción es despojado parcial o totalmente de su agua de cristalización. Como el yeso es soluble en agua, sólo es aplicable a los interiores de los edificios. Por consiguiente, no puede ser considerado como aglomerante adecuado para morteros de albañilería. Por su rápido fraguado, lo utilizan algunos artesanos con preferencia para la fijación de tacos, barandillas, rejías, etc., en la parte exterior de las construcciones. Esto debe proscribirse porque si a tales puntos llega agua (lluvia o nieve) se forman sales solubles que atacan y corroen el hierro. En construcción, el yeso sólo puede interesar para enlucir interiores y, ocasionalmente, para estucados.

Áridos

Como áridos para los morteros de albañilería y de enlucir sólo son apropiadas las arenas procedentes de piedras resistentes, limpias y no heladizas.

Arena para morteros

Se agrega a los aglomerantes para atenuarlos y reducir así la contracción de la masa que experimentaría el aglomerante puro. Hay que distinguir:

Arenas naturales (arenas de mina, cantera o yacimientos, arenas de río, de mar y de dunas).

Arenas de trituradora (piedras trituradas artificialmente).

Cuando su granulometría va de 0,2 mm a 1 mm se denomina arena media o fina, natural o de trituradora. Si tiene de 1 a 3 mm se llama arena gruesa, natural o de trituradora.

Árido (arena)

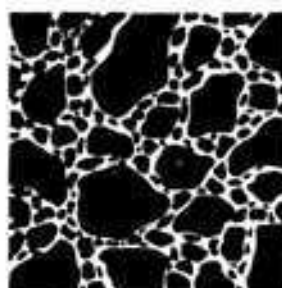
El árido debe ser arena de procedencia mineral en el sentido de la DIN 4226. Debe ser de granulometría mixta y no debe conte-

ner sustancias perjudiciales. Son perjudiciales las materias desleíbles (por ejemplo, barro, arcilla) y las sustancias de procedencia orgánica (vegetales, compuestos húmicos, carbones, especialmente lignito, etc.).

Como sustancias desleíbles se consideran aquellas que tienen menos de 0,063 mm de tamaño de partícula (véase DIN 4226, hoja 1.) El ensayo se hace según la DIN 4226, hoja 3, edición de diciembre de 1971, capítulo 3.6.1.1. Si el contenido de materias desleíbles es mayor del 8% en peso, o si en el ensayo según DIN 4226, hoja 3, edición de diciembre de 1971, capítulo 3.6.2.1 —ensayo con lejía sódica— se observa una coloración intensamente amarilla, pardusca o rojiza, debe demostrarse mediante pruebas adecuadas la aptitud para el empleo de los áridos en los morteros de los grupos II, Ila y III.

La composición granulométrica y la forma de los granos influyen esencialmente en las propiedades del mortero.

Las arenas de grano mezclado son las más favorables. La pasta del aglomerante, con los granos finos de arena, actúa entonces como una cola para la unión de los granos más gruesos. La cantidad necesaria de aglomerante es, por lo tanto, reducida. En cambio, si falta la fracción fina de la arena se necesita una mayor cantidad de aglomerante para rellenar los huecos que en tal caso se producen.



Granulometría mixta



Falta fracción fina



Arena de grano homogéneo
Gran proporción de huecos



Arena con desfavorable
forma de grano

También exigen un elevado exceso de aglomerante las arenas de grano homogéneo (con gran proporción de huecos) y las arenas con forma desfavorable de grano (aplanado, alargado en forma de esquilas) a las que es difícil dar buena compactación. El grano más favorable es el de dimensiones poco diferentes, y a ser posible cúbico.

Agua de amasado

Es un elemento indispensable para los procesos de fraguado y de endurecimiento del aglomerante. Si se dispone de agua canalizada del servicio público, puede usarse sin reparo alguno. Toda otra clase de agua, como p. ej. de río, de estanques, de pozos, subterránea, de pantanos o de mar tiene que ser analizada para comprobar su eventual contenido de impurezas perjudiciales o nocivas. Con las aguas residuales industriales hay que tener el máximo cuidado. De su suciedad no se puede, sin embargo, deducir nada acerca de la posibilidad de su empleo. En ciertas circunstancias, el agua, aunque esté turbia, puede también ser utilizable. En general, un reducido contenido de sulfatos, sulfuros, carbonatos, etc., no resulta peligroso para el proceso de fraguado. No obstante, siempre conviene una investigación de tales aguas residuales.

4.1.4. Aditivos

Extracto de la DIN 1053

4.1.4.1. Aditivos de masa

Los aditivos de masa son sustancias finamente divididas que influyen en las propiedades del mortero y que, al contrario de los aditivos de acción física o química, se añaden al mortero en cantidades considerables. No deben perjudicar el fraguado del aglomerante, ni la resistencia e inalterabilidad del mortero, ni tampoco, en su caso, las sustancias que protegen contra la corrosión las armaduras o los anclajes de acero. Como aditivos de masa sólo pueden emplearse sustancias según las DIN 1060, 4226 y 51043.

Los aditivos de masa no deben incluirse en la cantidad de aglomerante cuando la dosificación del mortero se hace según la tabla 6.

4.1.4.2. Aditivos de acción química o física

Estos aditivos modifican las propiedades del mortero, por su acción química o física, o por ambas a la vez, y se añaden al mortero en pequeña cantidad. Actúan por ejemplo formando inclusiones de aire, fluidificando el mortero, impermeabilizándolo o acelerando el fraguado; también se incluyen entre ellos los que favorecen la adherencia entre el mortero y las piedras o ladrillos.

Los aditivos de acción química o física no deben causar daño al mortero ni a la obra de fábrica. Cuando ésta lleva armaduras o anclajes de acero, sólo deben emplearse aditivos con marca de garantía. Como estos aditivos pueden influir positivamente en algunas propiedades, pero también pueden influir negativamente en otras, antes de utilizarlos es preciso efectuar ensayos de la aptitud de los morteros en que se utilizan.

Clases de morteros

Según sean los aglomerantes que en cada caso se empleen en la confección de los morteros, se distinguirán:

- los morteros de cal
- los morteros de cemento
- los morteros de cal y cemento
- los morteros de barro
- los morteros de yeso

Como morteros de albañilería se emplean principalmente los de cal, los de cemento y los de cal y cemento. Las nuevas instrucciones para la ejecución de las obras de fábrica (DIN 1053) y para los espesores de pared en la construcción de viviendas (DIN 4106) permiten una amplia utilización de las resistencias de la obra de fábrica, siempre que las clases de mortero empleadas posean las resistencias a la compresión prescritas en la DIN 1053. No obstante, no es cierto que la calidad del mortero solamente deba ser apreciada por la magnitud de su resistencia a la compresión.

Cuanto más resistente a la compresión es un mortero, tanto más disminuye su ductilidad y elasticidad. Una obra de fábrica con menores resistencias a la compresión, pero con mayor ductilidad y elasticidad en el mortero empleado será, por consiguiente, más segura contra roturas o grietas porque el mortero actuará de almohadilla o resorte elástico en caso de asientos, trepidaciones y contracciones que pueden producir movimientos. El mortero de alta resistencia, además, en general, es menos fácil de trabajar y poner en obra: llena sólo imperfectamente las desigualdades superficiales de los ladrillos o piezas de albañilería y con las trepidaciones y los asientos que generalmente se producen en las paredes recién construidas se desprende con facilidad de dichos elementos. Por tales razones, en la mayoría de los casos, con un mortero de altas resistencias se logran en la obra de fábrica menores resistencias que con morteros más plásticos, dúctiles y elásticos que poseen mayor poder para retener el agua y que aun en el caso de ser colocados en obra junto con ladrillos muy absorbentes siguen conservando su plasticidad.

Si se desea lograr las resistencias máximas que puede dar un mortero de albañilería, debe preservarse de una desecación demasiado rápida. La importancia que esto tiene, así como la de

graduar bien el humedecimiento y la plasticidad del mortero, se ve claramente en el texto explicativo de la hoja de normas DIN 1053.

Los ladrillos y demás piezas de la obra de fábrica deben mojarse previamente de acuerdo con su absorción y el estado de la atmósfera, a fin de que no roben al mortero más que una reducida cantidad de agua y se logre así buena adherencia entre cerámica y mortero. El mortero debe conservar la humedad necesaria para poder desarrollar su proceso de fraguado. Los morteros destinados a revoques y enlucidos tienen, en general, que cumplir con los mismos requisitos citados. Sólo se obtendrá con ellos una buena protección contra los agentes atmosféricos cuando el revoque o enlucido se halle perfectamente adherido a la superficie que le sirve de soporte y esté exento de grietas. Cuando la obra de fábrica es algo elástica, es necesario que el revoque o el enlucido también lo sean, a fin de que los movimientos que en el soporte se produzcan puedan ser absorbidos por ellos sin que se pierda la adherencia con la estructura portante ni las tensiones den lugar a la aparición de grietas. Para los trabajos de revoque y enlucido son, pues, apropiados, principalmente, los morteros de cal y los de cal y cemento. Estas clases de morteros permiten que en locales utilizados como estancia permanente de personas o de ganado pueda establecerse a través de la obra de fábrica un intercambio de aire y humedad sin gran dificultad.

Solamente en sitios donde se requiere un enlucido impermeable, p. ej., en la impermeabilización de bodegas, depósitos, etc., se emplea el mortero de cemento. Se forma entonces una especie de cubeta enlucida, que impide la "respiración" de la obra de fábrica.

Cuando el tiempo se mantiene muy lluvioso, los ladrillos empapados de agua pueden "flotar" en el mortero, hasta el punto de deformarse el elemento de la obra. En tal caso es mejor construir con mortero amasado con poca agua.

En tiempo de heladas ha de suspenderse la construcción de obras de albañilería a la intemperie.

Mortero de cal

Se prepara con cal, arena para mortero y agua para el amasado, pudiendo hacerse a mano o con máquinas amasadoras. Es apropiado para servir como mortero de albañilería o como mortero para revoques y enlucidos para aquellas partes o elementos de las obras a las que se pide un servicio normal. Si la acción de la humedad ha de tener cierta importancia se dará preferencia al mortero preparado con cal hidráulica mejor que al de cal aérea. Pueden, desde luego, emplearse el mortero de cal inminentemente hidráulica y el mortero de cal y cemento. El proceso de fraguado y endurecimiento del mortero de cal es diferente según sea ésta aérea o hidráulica. Al mortero de cal blanca, una vez que está puesto en obra, ésta le sustrae al principio parte del agua de amasado, con lo que se espesa un poco y "se toma". A continuación empieza el proceso de fraguado y una vez terminado éste, sigue el endurecimiento. Mediante absorción del ácido carbónico del aire, la cal apagada (hidrato cálcico) se endurece al transformarse nuevamente en piedra caliza (carbonato cálcico).

En el mortero de cal hidráulica y en los primeros días después de la puesta en obra, solamente se transforma en carbonato cálcico y se endurece el exceso de cal libre. El resto reacciona con el ácido silícico (silice) difundido por la cocción y con el agua con mayor o menor desprendimiento de calor para formar un compuesto insoluble, el hidrosilicato cálcico. Es muy duro; de aquí la mayor resistencia que se obtiene con la cal hidráulica.

Los morteros recientes de cal hidráulica deben protegerse contra una desecación demasiado rápida provocada por el viento, el calor fuerte o la radiación solar y también contra enfriamientos demasiado fuertes; y durante bastante tiempo después del fraguado conviene seguir manteniéndolos húmedos.

Mortero de cal y pelote

Es un mortero de cal al que se ha agregado pelo de cabra, de vaca, de conejo, fieltro, filamentos de coco u otras materias análogas. Para 1 m³ son necesarios: 370 litros de pasta de cal, 890 litros de arena, 100 litros de agua y 5 kg de pelo.

El mortero de cal y pelote se emplea en aquellos casos en que se

	1	2	3	4	5	6	7
	Grupo de morteros	Cal aérea y cal débilmente hidráulica Pasta de cal	Cal en polvo	Cal hidráulica	Cal eminentemente hidráulica. Aglomerante para revocos y paradas	Cemento	Arena ⁵ (arena natural)
1 2 3 4	I	1	1	1	1		4 3 3 4,5
5 6 7	II	1,5	2		1	1 1	8 8 3
8 9	II a		1		2	1 1	6 8
10	III					1	4

5 Los valores de la cantidad de arena se refieren a la arena con la humedad que lleva en almacén.
6 La cantidad de cemento no debe reducirse cuando se emplean aditivos para facilitar el armado y puesta en obra.

teme la aparición de grietas que pueden facilitar la penetración del agua, p. ej., entre los marcos de las ventanas y la obra de fábrica y en los puntos de unión de las chimeneas con el revestimiento exterior de la cubierta o tejado o de éste con las buhardillas.

Mortero de cemento

Es el mortero adecuado especialmente para aquellas partes o elementos de las construcciones sometidas a fuertes solicitaciones estáticas y en las que puede influir intensamente la humedad. Usado como mortero de revoco o enlucido, el mortero de cemento se emplea principalmente para la impermeabilización de partes de construcciones contra fuertes infiltraciones de humedad y de agua (obra de fábrica en sótanos y bodegas). Al preparar el mortero de cemento se echan los materiales componentes, cemento, arena y agua, en la amasadora y se mezclan y amasan íntimamente. El mortero graso de cemento fragua con rapidez; sin embargo, cuando se endurece al aire fácilmente se producen grietas de contracción. El mortero magro de cemento fragua más lentamente, es más inalterable bajo la acción de los agentes atmosféricos, es resistente y, si se trabaja debidamente, no presenta luego grietas de contracción. El proceso de fraguado y endurecimiento de los cementos es de índole físico-química y en la actualidad no está todavía puesto en claro de un modo completo. Por efecto de la evaporación del agua y de la transformación química que se produce, empieza la solidificación del mortero, es decir, su "fraguado". En los aglomerantes normales el proceso de fraguado no se inicia, cuando menos, hasta después de una hora. En los aglomerantes denominados "de fraguado rápido" empieza ya hacia los 15 minutos y queda terminado a las 2 horas. El molido muy fino, el caldeoamiento intenso del cemento, de la arena y del agua, la sal común, el alumbre y muchos anticongelantes aceleran el proceso de fraguado; la adición de puzolana o trass y el frío lo retardan.

Después del fraguado siguen el endurecimiento del mortero de cemento. Los silicatos del cemento se descomponen absorbiendo agua, precipitan en forma gelatinosa y cristalizan. Las partículas gelatinosas de cemento recubren los granos de arena y los traban entre sí, al cristalizar sólidamente, cediendo agua y experimentando una transformación química.

Mortero de cal y cemento

Es una mezcla de cal, cemento, arena y agua de amasado. El aglomerante principal es, en este caso, la cal apagada. Con su resistencia a la compresión de 25 kg/cm² y su estabilidad ante los agentes atmosféricos, el mortero de cal y cemento supera al mortero de cal, si bien no alcanza las resistencias del mortero de cemento. Por sus propiedades, es empleado como mortero de albañilería y como mortero para revocos y enlucidos.

Dosificaciones de las mezclas

Extracto de la DIN 1053

4. 1. 1. Generalidades

El mortero que se emplea en albañilería es una mezcla de árido, aglomerante y agua, y en ciertos casos, algún aditivo. Los morteros de albañilería se clasifican en los grupos I, II, IIa y III.

4. 2. Composición de los morteros

La composición de los morteros de los distintos grupos está consignada en la tabla 6.

Para los morteros de los grupos II, IIa y III, cuyas composiciones no figuran en la tabla, hay que efectuar ensayos; en ellos la resistencia a la compresión debe cumplir con lo indicado en la tabla 7.

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN QUE DEBEN TENER LOS MORTEROS

	1	2	3
	Grupo de mortero	Resistencia a la compresión en kg/cm ² (MN/m ²)	
		Valores individuales	Valor medio
1	I	—	—
2	II	≥ 20 (2)	≥ 25 (2,5)
3	II a	≥ 40 (4)	≥ 50 (5)
4	III	≥ 80 (8)	≥ 100 (10)

Material necesario

En la práctica y para mayor sencillez se hace la dosificación en volumen. Al determinar la cantidad de material que se necesita, hay que tener en cuenta el rendimiento de las mezclas, que puede variar incluso para un mismo aglomerante e igual clase de árido.

La arena, con la humedad del terreno o de la mina, contiene un 40% de huecos, de manera que la masa sólida viene a ser de un 60%. Al agregar el agua se reduce el volumen de la arena a un 5% aproximadamente y como consecuencia del acercamiento de los granos de arena los huecos son ya solamente un 35%. Es necesario, pues, llenar esos huecos mediante 0,35 m³ de la pasta aglomerante, resultante del amasado del aglomerante con el agua; de este modo se obtendrán 0,95 m³ de mortero. Si se agrega más aglomerante, aumenta la cantidad de mortero en proporción con el exceso de pasta existente. Si, en cambio, se agregan a la arena menos de 0,35 m³ de pasta aglomerante, se

siguen obteniendo siempre los 0,95 m³ de mortero, pero tal mortero resulta menos compacto y resistente.

La dosificación según partes en peso es mucho más exacta, pero su realización a pie de obra exige más tiempo y trabajo. El peso total del mortero fresco es en este caso la suma de los pesos de aglomerantes, árido y agua.

4. 3. Preparación del mortero

4. 3. 1. Preparación en la obra

Cuando el mortero se prepara en la obra deben tomarse las debidas precauciones para que los aglomerantes y aditivos se almacenen en lugares secos y resguardados de las inclemencias atmosféricas y para que los áridos no se ensucien.

Para la dosificación del aglomerante y del árido, y en su caso de los aditivos, en los morteros de los grupos II, Ila y III se emplean básculas y recipientes de medición de volúmenes que permitan una dosificación uniforme de los morteros. Los materiales deben permanecer en los aparatos mezcladores todo el tiempo necesario para que la mezcla resulte homogénea.

En los aparatos mezcladores deben figurar de manera bien visible las instrucciones para su uso.

4. 3. 2. Preparación en fábrica fija

En los morteros preparados en fábrica fija deben efectuarse ensayos de aptitud en la propia fábrica.

En la adquisición de morteros hay que exigir que:

- Toda entrega vaya acompañada de un albarán en el cual conste claramente el grupo a que pertenece el mortero, la dosificación, la clase del aglomerante empleado y, en su caso, la clase y cantidad de los aditivos empleados.
- Toda entrega vaya acompañada, en caso necesario, de las instrucciones pertinentes sobre el tratamiento posterior que deben recibir los morteros o los preparados para la confección de morteros que se suministran; por ejemplo, deben llevar una indicación sobre las cantidades de cemento, en volumen y en peso, que se han de añadir si es preciso a pie de obra.

En este tratamiento posterior del mortero o de los preparados para su confección suministrados desde una fábrica fija, aparte del agua y, en su caso, del cemento necesario, no se pueden añadir áridos ni aditivos de ninguna clase.

4. 4. Empleo y puesta en obra

El mortero debe ser empleado antes de que empiece el fraguado. Al emplearlo hay que asegurarse de que su composición y consistencia son los debidos y de que con él pueden amortearse las paredes sin dificultades especiales.

Esto es válido de manera especial para los morteros del grupo III. Por este motivo, al emplear morteros de este grupo pueden añadirseles aditivos que mejoren su plasticidad y sus cualidades para la retención del agua.

Cuando las condiciones climáticas son desfavorables (humedad, temperaturas bajas) el mortero que se emplea debe ser por lo menos del grupo II.

En el empleo de los morteros de los distintos grupos hay que tener en cuenta:

Mortero del grupo I:

- No son admisibles para bóvedas, paredes armadas, muros de sótano.
- Son admisibles hasta un máximo de dos plantas, con gruesos de pared $d \geq 24$ cm, donde, si se trata de paredes de dos hojas con cámara de aire continua o sin ella, lo que cuenta es el grueso de la hoja interior.

Morteros de los grupos II y Ila:

Los morteros de estos grupos no deben emplearse a la vez en una misma obra.

No son admisibles para bóvedas ni paredes armadas.

Morteros del grupo III:

Pueden emplearse sin limitaciones.

Otros tipos de morteros y mezclas

Mortero de barro

Se forma con tierra arcillosa adecuada y agua. Se endurece por desecación, es decir, por la evaporación del agua. La adición de pelo animal, paja o estiércol disminuye el peligro de agrietamiento por contracción.

El mortero de barro puede ser empleado:

para hacer las juntas, en paredes de adobes, ladrillos o mampuestos de piedra esponjosa (pómez, toba),

para enlucir por ambas caras las cercas o vallas de mimbres entretejidos,

para la construcción de hornos, hogares y calderas y para otros trabajos de albañilería y de revoque o enlucido.

El mortero de barro no es admisible:

en partes o elementos de obras que se hallen a menos de 50 cm por encima del suelo,

para paredes que tengan que soportar la carga de más de dos pisos completos,

para paredes con un espesor $\leq 11,5$ cm, si no se añade cemento al mortero de barro,

para el enlucido de las paredes exteriores por la cara principalmente expuesta a los agentes atmosféricos, de otras paredes exteriores, excepción hecha de edificios de un solo piso, en los que, no obstante, es necesario dar una capa de pintura hidrófuga de protección sobre el enlucido de todas las paredes y techos de habitaciones y locales en que hay mucha humedad en el ambiente o en que se forman condensaciones de agua, como cocinas, lavaderos, y

para el enlucido de paredes cuya fábrica esté hecha con bloques de cal y arena.

Mortero refractario (chamota)

Es un mortero de barro en el que la arcilla que hace de aglomerante tiene un elevado punto de reblandecimiento térmico y que utiliza como árido el polvo del ladrillo refractario. Puede soportar la exposición a temperaturas elevadas y se emplea para el revestimiento de hornos y calderas.

Mortero de yeso

Para la preparación de mortero de yeso hay que tener en cuenta, en primer lugar, las propiedades del yeso. Este material debe amasarse con el agua antes de proceder a la adición del árido.

Pasta de yeso

Consta de yeso vivo y agua y se emplea en enlucidos, en la fijación de tacos en paredes que se mantengan siempre secas, en la ejecución de trabajos de estucado, etc. Se prepara mezclando 10 kg de yeso con 6 o 7 litros de agua; si se quiere que resulte más pastoso o plástico, pueden añadirsele pequeñas cantidades de cal blanca.

Mortero de yeso y arena

Se prepara con yeso, arena y agua; fragua más lentamente que la pasta de yeso puro. Sin embargo, tiene que trabajarse y ponerse en obra en un período máximo de 15 a 20 minutos. Para el enlucido de techos o cielos rasos se mezclan 1 saco de yeso, 1 saco de arena y 1 litro de cal blanca; para el enlucido de paredes, 1 saco de yeso, 1 1/2 sacos de arena y 1 1/2 litros de cal blanca.

Para cielos rasos sobre tela metálica, el mortero de yeso y cal es más apropiado que el de yeso y arena. Este último, sin embargo, alcanza mayor resistencia y sirve ventajosamente para el enlucido de techos y paredes.

Mortero de yeso y cal

Consiste en un mortero de cal blanca al que se añade una papilla de yeso amasada inmediatamente antes de proceder a la puesta en obra del material. Para preparar el mortero de yeso y cal son adecuados dos tipos o clases de yeso que se denominan yeso de estucador, yeso de caldera y yeso de horno rotatorio. En la mayor parte de los casos se prepara con la dosificación de 1 parte de yeso, 1 de cal y 3 de arena, o bien 1 parte de yeso, 2 partes de cal y 4 de arena. El mortero de yeso y cal es apropiado para

toda clase de trabajos de enlucido de paredes y techos, es decir, que puede aplicarse a cualesquiera soportes o bases.

Mortero de yeso, cal y pelote

Se prepara mezclando 1 parte de yeso, 1 parte de cal, 3 partes de arena, 3 puñados de pelote, 2 paletadas de cola y dos cubos de agua. Con la adición de pelote se obtiene mayor cohesión y el material resulta más a propósito para enlucir sobre tela metálica.

Mezcla para estucar

Se prepara de la manera siguiente: 4,8 partes de pasta de cal blanca, 4,8 partes de yeso de estucador, 2,8 partes de agua. Se emplea principalmente para la confección de molduras y para el alisado o última capa de los enlucidos de paredes y techos. Las ventajas de los enlucidos de yeso y de los que contienen parte de yeso, aplicados a interiores, son las siguientes: Buena adherencia a los soportes o bases de diferentes clases, por ejemplo ladrillo, placas para la construcción, madera, hierro, chapa;

Rápido fraguado y, como consecuencia de ello, rápido avance de los trabajos;

Supresión de grietas, porosidad no obstante su gran compactidad y la permeabilidad consiguiente para que la humedad del local pueda escapar hacia el exterior, buen aislamiento térmico y acústico, resistencia al choque y resistencia contra el fuego. Los hierros empotrados en yeso (cielos rasos con tela metálica, angulares guardacantos, tuberías) se oxidan rápidamente, cuando el yeso se humedece de nuevo o se conserva demasiado tiempo húmedo después de su colocación. La pintura antioxidante o el galvanizado del hierro lo protegen contra el peligro de la oxidación durante el fraguado y el secado.

Obra de fábrica de piedra natural

Piedra

Son numerosas las clases de piedra natural, apropiadas para la construcción. Como la piedra es trabajada preferentemente en las inmediaciones del punto de arranque, el arquitecto en la mayoría de los casos conocerá por experiencia práctica únicamente un número más o menos limitado de clases de piedra, así como sus propiedades y la técnica de su preparación.

Según su origen y formación, se distinguen las rocas eruptivas, que tuvieron su origen en el enfriamiento del magma fluido e incandescente, y las rocas sedimentarias, producidas por los depósitos que la sedimentación dejó en el fondo de los mares y cuencas de agua embalsada. Entre ambos grupos principales se encuentran las pizarras cristalinas que se formaron en parte de una manera y en parte de otra, bajo la enorme presión de las montañas y un gran desarrollo de calor.

Rocas Eruptivas

Granito

De las rocas eruptivas, la principal es el granito que se emplea, por su dureza y su estabilidad ante los agentes atmosféricos, en formas diversas, como piedra para mampostería, piedra de labra o en forma de delgadas placas para el revestimiento de paredes y peldaños de escalera, así como para bordillos de aceras y adoquines. Si bien el granito, como todas las rocas primitivas, es un material amorfo, sin embargo, tiene tendencia a exfoliarse o abrirse en determinadas direcciones mejor que en otras, porque al formarse por enfriamiento del magma fundido e incandescente se produjeron tensiones en la masa rocosa.

El color del granito es de un gris blanquecino, pero según su composición se inclina más al rojizo o al verdoso. La piedra de una misma cantera suele ser bastante homogénea, en general, en su coloración. Otras piedras primitivas, como el pórfido o el meláfido, suelen emplearse para mampostería o para grava, pero no como piedra de labra.

Basalto

El basalto negro agrisado, con brillo azulado, que se encuentra en formas quebradas con más o menos regularidad, es difícil de

trabajar por su gran dureza y se suele emplear preferentemente para adoquines y grava para macadam.

Lava basáltica

La lava basáltica, de color gris oscuro, es menos dura que el basalto propiamente dicho, muy inalterable bajo la acción de los agentes atmosféricos y se trabaja bien, por lo que se suele emplear bastante para el revestimiento de zócalos y arrimaderos.

Tobas volcánicas

Las tobas volcánicas son piedras ligeras y porosas de un color que varía desde el amarillento hasta el pardusco, que por la forma como se produjeron están formadas por capas superpuestas. Cuando están recién arrancadas son bastante blandas, por lo que se pueden trabajar bien; sin embargo, más tarde, se endurecen y se vuelven inalterables bajo la acción de los agentes atmosféricos. Se emplean como piedra de sillería o de mampostería.

Rocas sedimentarias

Arenisca

La piedra natural más abundante que se encuentra en innumerables canteras es la arenisca. Su gama de colores abarca desde un tono casi blanco, pasando por el marfil, el verdoso y el rojo hasta el violeta. La piedra es a veces de coloración lisa, pero frecuentemente presenta franjas o aguas. Los granitos de arena que forman la piedra están aglomerados por medio de partículas arcillosas, calizas o por una materia silicea, por lo que hay areniscas duras muy resistentes a los agentes atmosféricos, y areniscas blandas menos inalterables. Como las variedades blandas son más fáciles de trabajar, suelen ser preferidas por los canteros con detrimento de la vida de la obra. La dureza y estabilidad meteorológica de la arenisca varía no sólo dentro de una misma cantera, sino incluso dentro de una misma veta o capa. Por lo cual al hacer la elección hay que tener siempre mucho cuidado, sobre todo en aquellos casos en que la piedra debe usarse en las cercanías de instalaciones industriales o de vías de ferrocarril. El aire cargado con vapores sulfurosos puede originar ácido sulfúrico y transformar el aglomerante calizo en sulfato cálcico, es decir, yeso. Como éste es soluble en el agua, esto conduce a la disolución y destrucción de la piedra. Los elementos arcillosos, por efecto de las congelaciones y descongelaciones de la piedra húmeda, conducen también a su desintegración. El contenido de elementos arcillosos puede averiguarse en las muestras de piedra mediante el olor que desprende la piedra cuando se la moja bien. Para andar sobre seguro, suele ser conveniente comprobar, mediante un ensayo de laboratorio efectuado según la norma DVM 2102-2110, la calidad de la piedra. Cuando se coloca piedra arenisca en interiores (pero no como peldaños de escaleras) no hace falta exigir tan severos requisitos.

Las areniscas se emplean frecuentemente como mampostería y como piedras de sillería en la construcción de paredes y de muros aislados, pero rara vez se emplean como placas de revestimiento. Para peldaños de escaleras muy transitadas sólo son apropiadas las piedras silíceas más duras.

Calizas

Caliza conchifera

De las numerosas clases de piedra caliza que, en comparación con las areniscas, sólo en pequeña medida les van a la zaga destaca preferentemente la caliza conchifera o "muschelkalk", que está constituida por conchas de moluscos petrificadas y aglomeradas y se emplea en placas delgadas o como piedra de sillería. Su color puede ser amarillo agrisado, gris, o gris azulado; es en parte compacta y en parte porosa; es dura y resiste bien la intemperie. Por su dureza, en la mayor parte de los casos se trabaja con la sierra y no se recurre para ello al trabajo de cantero, como se hace con la arenisca.

Travertino

El travertino, que hacia 1920 se puso de moda para el revestimiento de fachadas y de paredes interiores, es también una piedra caliza dura, resistente a los agentes atmosféricos, más o menos cavernosa y de un color que va del amarillento al pardusco.

co cruzado con franjas. Se suele colocar en forma de placas delgadas. Como piedra en sillares no se emplea tanto.

Mármol

Se conocen las más diversas clases de mármol con bellos colores y dibujos. En los países de clima crudo no son resistentes a la intemperie y, por consiguiente, sólo hallan aplicación en los interiores de los edificios para paredes, pavimentos, tableros o losas de cocina, chimeneas, etc., donde se aplican en forma de placas delgadas obtenidas con la sierra.

Pizarras calizas

Lo mismo que el mármol, la pizarra caliza, que se exfolia bien, puede aplicarse como placas en bruto tal como vienen de la cantera o después de pulirlas. Se emplean con frecuencia para pavimentos, pero rara vez para revestimiento de paredes. Para cocinas no son apropiadas porque las manchas de grasa o de zumos de frutas que reciben ya no pueden quitarse. Tampoco son recomendables las pizarras calizas para instalaciones a la intemperie, por su mala resistencia a la acción de los agentes atmosféricos.

Pizarras cristalinas

De esta clase de piedras sólo pueden emplearse para mampostería o sillería el *gneis*, que es una piedra dura y resistente a los agentes atmosféricos y tiene un color blanco agrisado, azulado o negruzco.

RESISTENCIAS MÍNIMAS DE LAS DISTINTAS CLASES DE PIEDRA EN kg/cm² (MN/m²)

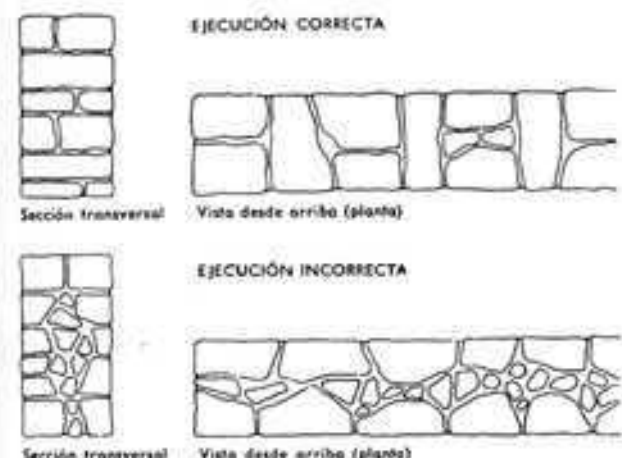
Grupo	Clases de piedra que abarcan los grupos	Resistencia mínima a la compresión en kg/cm ²
A	Caliza, travertino, tobas volcánicas	200
B	Areniscas blandas (con aglomerante arcilloso o análogo)	300
C	Calizas compactas (duras) y dolomías (mármol incluido), lava basáltica y análogas	500
D	Areniscas cuarcíticas (con aglomerante silíceo), grauwacas y análogas	800
E	Granito, sienita, diorita, pórfido cuarzoso, melafido, diabasa y análogas	1200

Solicitaciones admisibles por compresión

Para conocer las solicitaciones por compresión que pueden admitirse en la mampostería y sillería en paredes y pilares de piedra natural pueden consultarse las tablas 13 y 14 de la hoja de normas DIN 1053 (véase el capítulo "Dimensiones de las paredes").

Preparación y puesta en obra de la piedra natural

En toda obra que tenga que estar expuesta a la intemperie, y especialmente en aquellas que tienen que quedar sin revocar ni enlucir, solamente habrá que emplear piedra natural bien sana y no heladiza.



Las piedras sedimentarias estratificadas tienen que colocarse de manera que descansen a hoja, o sea sobre sus lechos naturales de cantera y la carga actúe siempre perpendicularmente a esas juntas de hilada. En la dirección paralela a sus lechos de cantera, las piedras tienen mucha menos resistencia a la compresión y tienden a abrirse o exfoliarse. Cuando la estratificación es paralela al paramento exterior, las piedras muchas veces se exfolian bajo la acción de los agentes atmosféricos.

Ejecución de la obra de fábrica en tiempo de heladas

En tiempo de heladas la obra de fábrica no puede ejecutarse sin tomar medidas de precaución especiales.

No deben emplearse materiales que se hayan helado.

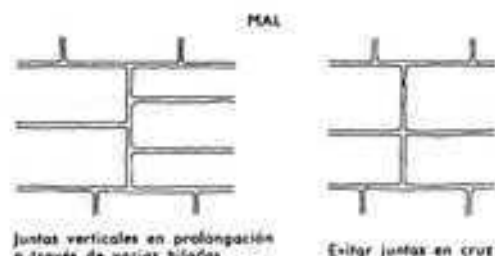
Sobre la obra helada no debe continuarse trabajando. Con la adición de sales de deshielo pueden producirse daños de la obra de fábrica.

La obra recién construida debe protegerse de las heladas a su debido tiempo, por ejemplo con un recubrimiento protector.

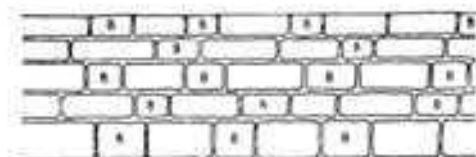
La obra de fábrica dañada por la helada debe eliminarse antes de continuar la construcción.

La longitud de una piedra debe ser por lo menos igual a su altura y en las piedras areniscas no debe rebasar cuatro o cinco veces dicha altura, porque las piedras largas y delgadas se rompen fácilmente.

Las piedras naturales deben estar unidas al cuerpo de obra y aparejadas en tal forma que se obtenga una buena trabazón longitudinal y transversal, para lo cual ni en la parte interior ni en la exterior de la pared se verán juntas que se prolonguen a través de varias hiladas. En los paramentos nunca deben estar en prolongación más de tres juntas. El espesor de las juntas debe limitarse en relación con la tosquedad del material y no debe nunca rebasar los 3 cm. Hay que evitar los nidos o bolsas de mortero, y los huecos, tanto en el interior del muro como en los paramentos, deben rellenarse con trozos de piedra (ripio) recubiertos por toda su superficie.



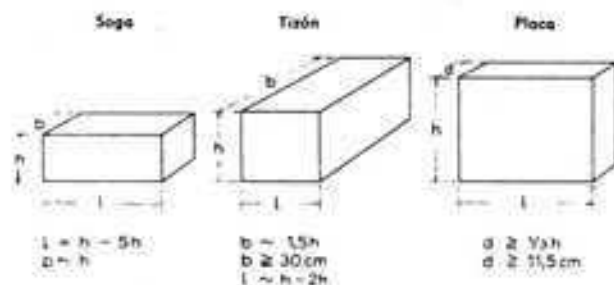
La ejecución técnicamente correcta de una fábrica de piedra natural requiere, además, que tras dos piedras colocadas a "so-



ga", por lo menos haya una colocada a "tizon", (piedras B de la figura) o bien que alternen entre sí las hiladas a soga y a tizon.

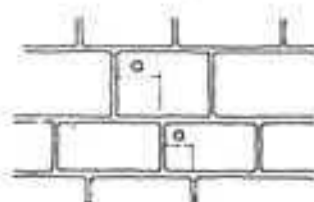


El grueso (profundidad) de los tizones debe ser de alrededor de vez y media de altura de la hilada, y como mínimo debe tener 30 centímetros.



El grueso (profundidad) de las sogas debe ser aproximadamente igual a la altura de las hiladas. El recubrimiento será, como mini-

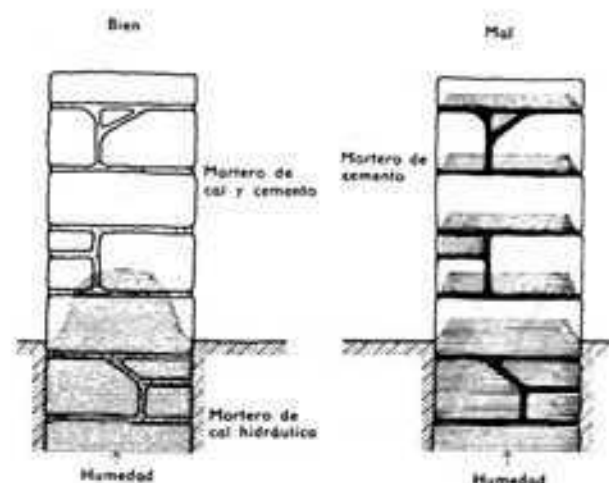
RECUBRIMIENTO DE LAS JUNTAS VERTICALES



En fábrica de sillarejo $a = 10$ cm
En fábrica de sillera $a = 15$ cm

mo: en la fábrica de sillarejo, 10 cm, y en la de sillera, 15 cm. En las esquinas deben colocarse las piedras de mayor tamaño. En los muros aislados con dos paramentos principales deben éstos trabajarse con el máximo cuidado y con la mejor alineación posible.

TIPO DE MORTERO EN LAS OBRAS DE PIEDRA NATURAL

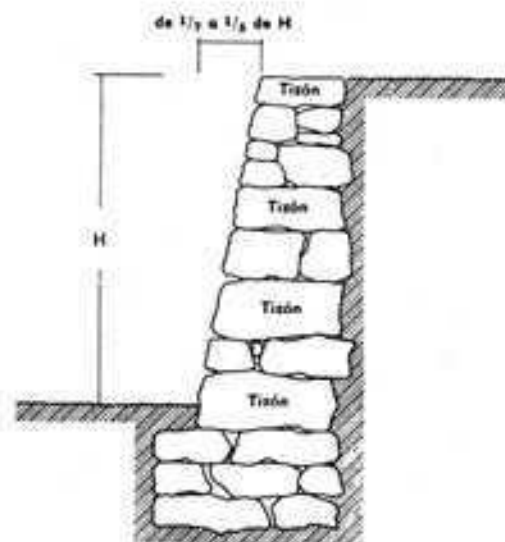


Para fábrica de piedra natural bajo tierra se emplean el mortero de cal hidráulica o el mortero de cal y cemento; cuando se trabaja por encima del nivel del suelo con piedra arenisca o caliza se adopta mortero de cal y cemento. El mortero de cemento solo (sin cal) es inadecuado, especialmente para piedra arenisca y por varias razones. En primer lugar, para piedras blandas es demasiado duro, cosa que en muchos casos puede dar lugar a que se rompa la piedra; además, tiene la desagradable propiedad de dar color a la piedra, que perjudica el buen aspecto de la pared con el tono gris sucio de la proximidad de las juntas. Además, juntas excesivamente impermeables (y de un modo especial las horizontales) dificultan la desecación de la pared y la humedad que contiene o absorbe no puede repartirse, descender o evaporarse, ya que es retenida en cada hilada. Según como se entrelazan las piedras y como se colocan, se obtienen diferentes clases de obra de piedra, tanto en su estructura resistente como en el aspecto de sus paramentos.

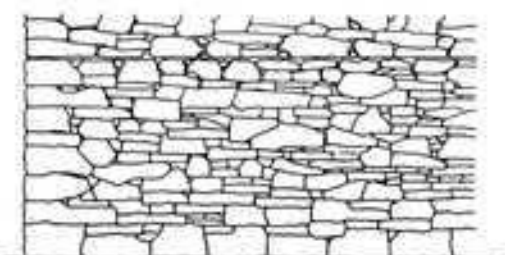
Mampostería en seco

La más antigua de las clases de fábrica de piedra natural existente que todavía se encuentra, p. ej., en las ruinas de los monumentos celtas, es la mampostería en seco. Está hecha sin emplear mortero alguno en las juntas (en que únicamente hay tierra seca), trabajando ligeramente las piedras y disponiéndolas con la debida trabazón, de manera que las juntas queden lo más estrechas posible y los huecos sean también pequeños. Los muros en seco no deben soportar cargas. Actúan simplemente por su peso para contener la presión de las tierras, impidiendo que éstas se desmoronen.

MAMPOSTERÍA EN SECO



Con el fin de darles más estabilidad y hacerlos más aptos para el sostenimiento de tierras, se le puede dar un talud de 1/7 a 1/5 de su altura. Su grueso medio viene a ser 1/3 de la altura y se calcula debidamente a cada caso. Como la tierra puede ser arrastrada por las aguas de lluvia que tienden a salir por las juntas, es necesario que la construcción del muro esté dispuesta según hiladas bien trabadas y acuñada con esquirlas y trozos de piedra que transmitan las solicitaciones al cuerpo de la obra, la cual debe poder ser estable, aunque no tengan sus juntas rellenas de tierra. En los muros de sostenimiento sólo se dejarán planos y alineados con la regla los paramentos libres; los del lado de las tierras se dejan irregulares, según quedan debido a la forma de las piedras. Se llaman ordinariamente muros de una cara. Se toma como peso volumétrico del muro en seco la mitad del peso específico de la piedra en él empleada.



Mampostería enripiada por hiladas

En esta clase de fábrica se procura formar unas hiladas rústicas y se colocan las piedras tal como vienen o ligeramente retocadas a martillo, con lo cual el dibujo de los paramentos resulta muy movido y animado. Los huecos se rellenan con ripio y esquirlas de piedra recubiertas de mortero por todos lados. Al crecer el número e irregularidad de las juntas, sin embargo, disminuye la resistencia del cuerpo de obra. Por su estructura tiene tendencia a los corrimientos, por lo que a cada 1,00 ó 1,50 m de altura conviene aplanar el muro en todo su espesor y toda su

longitud. Para las esquinas y extremos se emplean las piedras más gruesas y de mejor forma, que se colocan alternativamente a soga y a tizón.

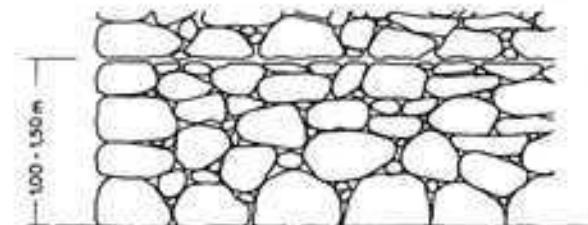
MAMPOSTERÍA ENRIPIADA POR HILADAS



Mampostería con cantos rodados

En zonas en que sólo se encuentran cantos rodados de piedra muy dura y de superficie redondeada, como son por ejemplo los acarreos de las morrenas, se aprovechan también esas piedras para levantar muros mediante una hábil puesta en obra, aunque siempre a base de confiar sólo en una baja resistencia por comprensión. Como esos cantos rodados son casi imposibles de trabajar, se colocan los pequeños tal como llegan y se parten o tro-

MAMPOSTERÍA DE CANTOS RODADOS

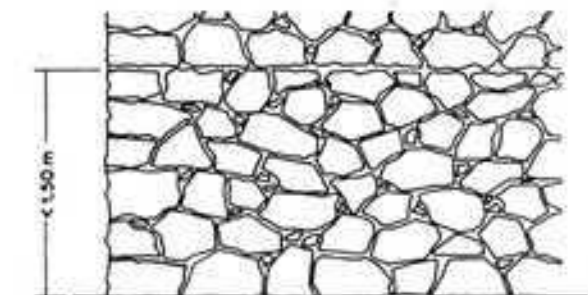


cean únicamente los bloques grandes. Con estas piedras grandes partidas, que presentan superficies apropiadas para asentar bien, se empieza la pared. Los numerosos huecos que se van produciendo se rellenan con piedras pequeñas y trozos que se adaptan bien. La trabazón longitudinal y transversal del muro resulta defectuosa y está supeditada al material disponible. Para evitar corrimientos en el muro se enrasa éste durante su construcción cada metro o metro y medio de altura y sobre la superficie plana y horizontal así obtenida se vuelve a empezar la construcción con piedras partidas que tengan alguna cara plana. A pesar del relleno o acuchado con cantos menudos, este tipo de mampostería requiere mucho consumo de mortero, que debe extenderse con la paleta incluso sobre anchas superficies por encima de las piedras, debido a la forma redondeada de éstas. La construcción es lenta y se debe llevar despacio, porque las piedras, por su compacidad y dureza, absorben muy poca humedad del mortero.

Mampostería ordinaria

Las piedras procedentes de la cantera y apenas trabajadas de formas irregulares en la mayoría de los casos, se colocan sin tratar de formar capas o hiladas horizontales y en una masa abundante de mortero que llene los huecos. La estructura de la mamposte-

MAMPOSTERÍA ORDINARIA



ría ordinaria está en contraposición con todo sentido estático. Tiene tendencia a desplazamientos y corrimientos, y aunque se utilice piedra dura no alcanza notables resistencias a la comprensión. Por estas razones, hoy día apenas si se construye en esta forma; en cambio, fue característica de nuestra mala época constructiva de fines del siglo XIX, en que estuvo muy de moda.

Mampostería de rajuela

La forma más sencilla, más barata y mas frecuente de aplicación de la piedra natural es la que representa este tipo de mampostería. Se utiliza preferentemente para muros de sostenimiento en jardines, viñedos, etc., para paredes de cerca o vallados y para paredes de sótanos o bodegas. En cambio, para paredes, en casas de pisos, rara vez se emplea esa clase de mampostería, porque su aislamiento térmico es sólo de la mitad del de la obra de fábrica de materiales cerámicos y exige en consecuencia espesores de pared considerables y un elevado gasto de mano de obra.

MAMPOSTERÍA DE RAJUELA



Las lajas o rajuelas proceden, como subproducto, de las voladuras en las canteras o del troceo y desmenuzamiento de bloques que por su forma y tamaño o por los eventuales defectos o taras no se consideran aprovechables para ser labrados para sillería. Por la mayor abundancia de yacimientos y explotaciones de esta piedra, los muros de mampostería se hacen preferentemente de arenisca y en menor medida de caliza y de granito o de otras clases de piedras apropiadas.

Como las lajas o rajuelas se ponen en obra a mano, como se hace con los ladrillos, en vez de colocarlas con aparejos como se hace con los sillares, el tope máximo del tamaño de las piedras está fijado por su peso, que ha de ser manejable por un hombre; su forma resulta de las características estructurales de cada material.

Así, por ejemplo, las piedras de estructura amorfa, como la diabasa, se rompen en longitudes cortas, algo así como en la proporción de 1 : 1; muchas clases de piedras estratificadas, como algunas areniscas, llegan hasta proporciones de 1 : 5, y el gneis, incluso a 1 : 10. El tamaño limitado de las piedras y la longitud característica derivada de la naturaleza del material determina el aspecto que ofrecen los paramentos de la obra. Al ejecutar la mampostería ordinaria de lajas o rajuelas, hay que tener presentes los siguientes puntos:

Las piedras se colocan en obra, en cuanto sea posible en el estado en que llegan, sin modificarlas o en todo caso rectificándolas ligeramente con el martillo de cantero. Esto se aplica también a la cara vista de la piedra. Además, todo el muro en su anchura total (espesor) y por secciones de 1,50 m como máximo debe enrasarse y nivelarse dejando la superficie perpendicular a la dirección de las fuerzas que actúan sobre ella. El espesor mínimo de pared de mampostería de rajuela es de 50 cm.

Fábrica de sillarejo rectificado con martillo

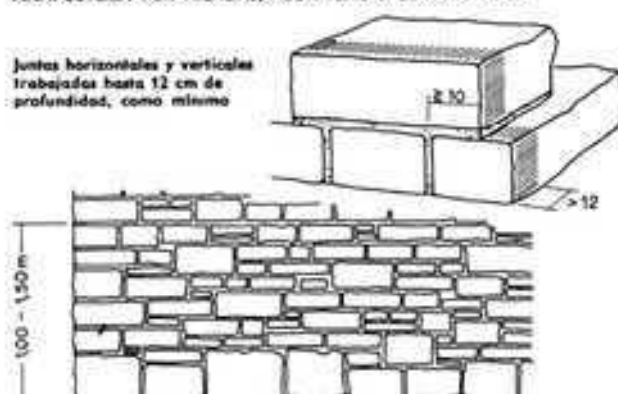
(Mampostería por hiladas)

En este tipo de fábrica las piedras tienen trabajadas las superficies de sus juntas tanto horizontales como verticales hasta 12 cm de profundidad como mínimo; tales juntas están dispuestas aproximadamente formando ángulos rectos.

Las alturas de las capas o hiladas pueden variar de una hilada a otra y aun dentro de la misma. El muro en todo su espesor debe enrasarse por lo menos cada 1,50 m de altura y formando un plano perpendicular a la dirección de la fuerza.

MAMPOSTERÍA POR HILADAS, RECTIFICADA CON MARTILLO

Junta horizontal y vertical
trabajadas hasta 12 cm de
profundidad, como mínimo



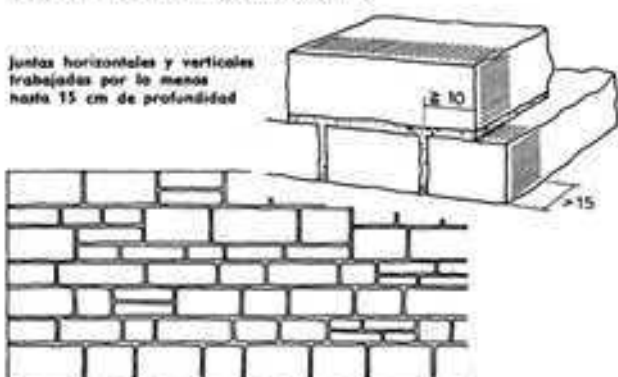
Según que las piedras sean de alturas más o menos uniformes, se califica esa fábrica o mampostería de hiladas regulares o irregulares.

Mampostería por hiladas irregulares (Fábrica de sillarejo irregular)

Las juntas verticales y horizontales, perpendiculares entre sí y normales a los paramentos, están trabajadas por lo menos hasta una profundidad de 15 cm. Las juntas, en las superficies lisas (paramentos) no deben tener más de 3 cm de anchura. La altura de las hiladas puede variar de una hilada a otra y aun dentro de la misma hilada, dentro de límites moderados. La obra debe enrasarse en todo su espesor o anchura cada 1,50 m como máximo, dejándola plana y perpendicular a las fuerzas que sobre ella actúan.

MAMPOSTERÍA DE HILADAS IRREGULARES

Junta horizontal y vertical
trabajadas por lo menos
hasta 15 cm de profundidad

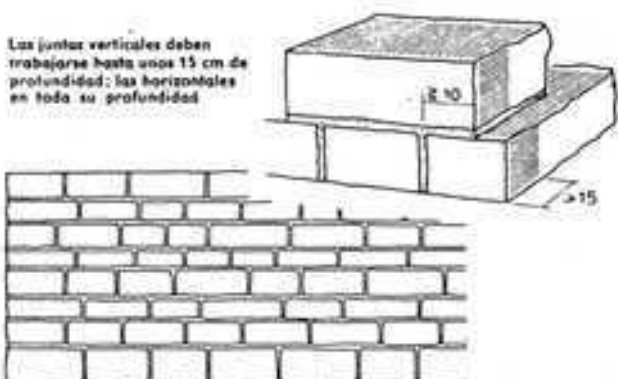


Mampostería por hiladas regulares (Fábrica de sillarejo regular)

Las juntas verticales y horizontales son perpendiculares entre sí y a los paramentos. Las verticales están trabajadas por lo menos hasta los 15 cm de profundidad; las horizontales en toda profundidad. Dentro de una misma hilada, la altura de las piedras no debe cambiar; cada hilada debe estar enrasada perpendicularmente a la dirección de las fuerzas que sobre ella actúan.

MAMPOSTERÍA POR HILADAS REGULARES

Las juntas verticales deben
trabajarse hasta unos 15 cm de
profundidad; las horizontales
en toda su profundidad



Muros de fábrica mixta

Ya en la Edad Media, y con el fin de economizar piedra, se empleó el ripio o desperdicio de cantería para el relleno de la parte central de los muros y murallas, empleando las piedras grandes, más o menos cuidadosamente trabajadas, en la parte de los paramentos. La masa de la parte interior venía a ser una especie de hormigón. La parte de los paramentos ha de tener por lo menos un 30% de piedras colocadas a tizón. Estos tizones tendrán cuando menos 24 cm de espesor (profundidad) y como mínimo deben entrar 10 cm en el hormigón.

FÁBRICA MIXTA

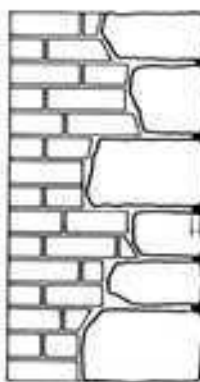


Hoy día procedemos aproximadamente de la misma manera para el respaldado con hormigón apisonado de una pared de mampostería o de sillarejo. Esta clase de fábrica mixta conviene hacerla por hiladas continuas.

En lugar de construir sin interrupción la pared de piedra, se coloca cada vez una hilada de piedras sobre una junta de unos 3 cm de espesor. El hormigón, entonces, es puesto en obra hasta la altura correspondiente y apisonado, repitiéndose sucesivamente la operación. Las juntas se dejan huecas hasta unos 3 cm de profundidad para hacer después el rejuntado con mortero de cal y cemento.

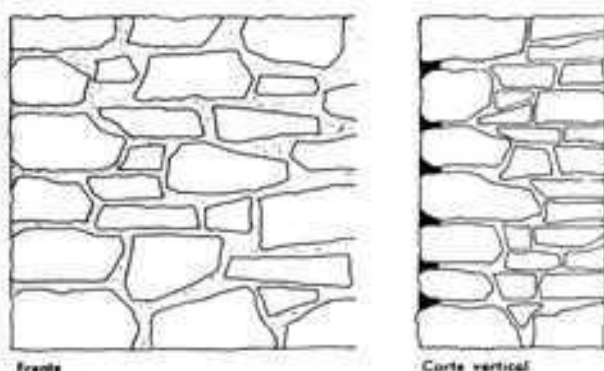
Aunque en esta forma las piedras quedan perfectamente ligadas con el hormigón, en muchos casos se ha visto que al cabo de largo tiempo se despegaba el hormigón del antemuro de piedra o fábrica delantera de la pared. Este fenómeno resulta inofensivo cuando no está muy cargada la totalidad de la pared.

Rejuntado



Profundidad de las juntas
igual a su anchura

Cuando la parte posterior del muro se hace de ladrillo, en cada tres hiladas de piedra natural debe haber una de piedras colocadas a tizón. Los tizones deben tener también aquí por lo menos 24 cm de grueso (profundidad) y entrar como mínimo 10 cm en la obra de fábrica posterior. Ésta, detrás de los tizones, debe tener todavía un espesor de 1 asta con el fin de evitar la penetración de la humedad y que se marque la huella de los tizones en el revoco o enlucido interior. Las juntas horizontales del paramento delantero tienen que compensarse con las numerosas juntas horizontales del paramento posterior, procurando corregir

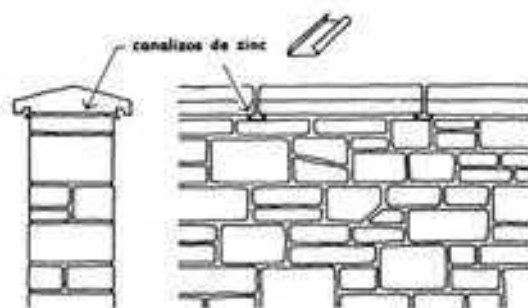


las diferencias mediante los espesores de las mismas, de manera que la suma de estos espesores sea igual en ambos paramentos, dentro de la altura de cada piso, a fin de que la obra haga igual asiento por una parte que por otra.

Albardillas para muros

Las paredes o muros aislados, de piedra natural, según sea la clase de piedra empleada y su estabilidad ante los agentes atmosféricos, requieren una cubierta o albardilla de protección. Estas albardillas, naturalmente, tiene que ser únicamente de piedras compactas y de naturaleza inmune a las heladas. Siempre que sea posible, se escogerá para esta aplicación piedra de la empleada en la construcción de la pared, separando para ellos las mejores piedras y procurando que sean bastante largas (para reducir en lo posible el número de juntas verticales).

PLACAS DE CUBIERTA CON GOTERONES



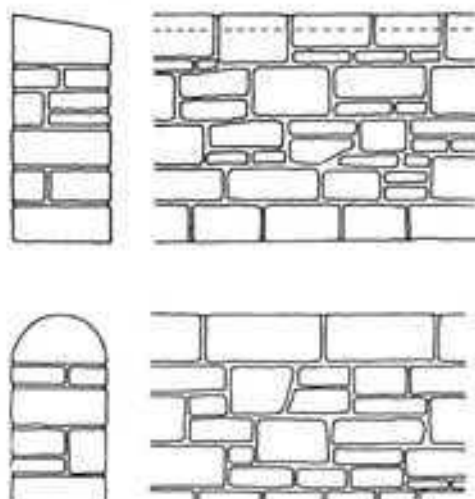
Si la piedra empleada en el muro es heladiza, hay que cubrirla con placas de piedra labrada, en su parte superior, de manera que tengan la pendiente debida, a una o a dos aguas, y proveerlas, en sus bordes, con los correspondientes goterones. Si hay que impedir de manera bien segura la penetración del agua por las juntas verticales, y evitar que pueda llegar al cuerpo de la obra, puede darse salida al agua infiltrada por medio de pequeños canalillos de cinc colocados debajo de cada una de aquellas juntas y de manera que sobresalgan un poco hacia el exterior.



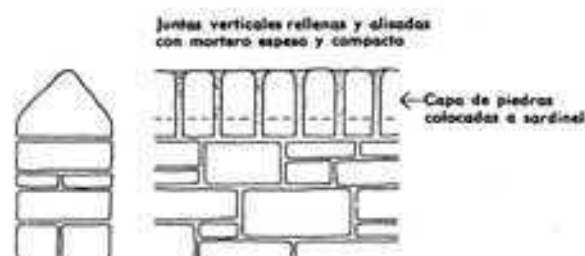
En lugar de canalillos de cinc, pueden también colocarse piedras trabajadas en forma acanalada, que se colocan debajo de las juntas, con lo cual se presta cierta animación rítmica a la corona-

ción del muro, que, en tal caso, naturalmente, debe hacerse a base de piedras de igual longitud. Los muros y paredes de piedra inalterable y no heladiza no requieren que haya encima ninguna cubierta que sobresalga de los paramentos. Únicamente se colocan piedras más largas y en muchos casos labradas o desbasta-

Paredes de piedra inalterable por los agentes atmosféricos y no heladiza



das, que, según el efecto que se desee, se les da forma redondeada o de tejadillo a una o dos aguas. Estas piedras pueden ser colocadas una vez que el cuerpo de pared ha sido enrasado o bien disponerlas formando parte del aparejo o trabazón de la pared sin enrasar.



Cuando la pared está hecha con piedras amorfas muy duras, que se rompen solamente en trozos de corta longitud, la hilada que sirve de cubierta puede hacerse con piedras de la misma clase colocadas a sardinel. Las juntas verticales deben, en tal caso, hacerse con un mortero muy denso y compacto que debe extenderse ampliamente por encima de las piedras, con objeto de impedir la penetración del agua por las juntas.

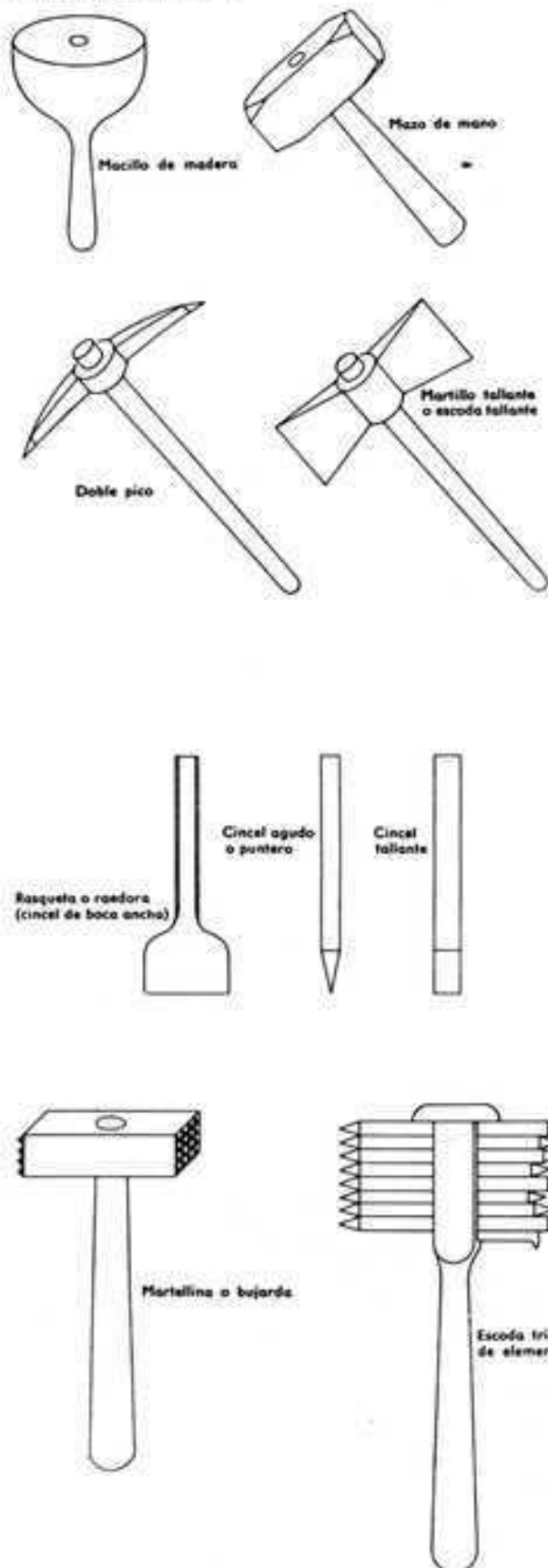
Fábrica de sillería (obra de piedra labrada)

Para construir a base de sillería o de piedra labrada se emplea la piedra natural, que se labra por sus caras de apoyo o bases, por sus frentes o paramentos y por sus juntas o caras laterales, sea verticalmente; a plomo, sea según planos inclinados, en varias operaciones sucesivas de trabajo de cantero.

Obtención y preparación de los sillares

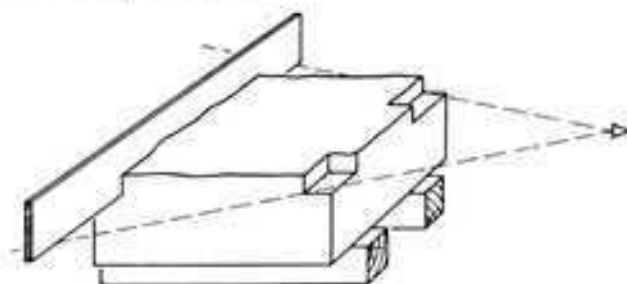
Los bloques para sillería se arrancan en las canteras sea mediante explosivos, sea por medio de sierras de cable. El cantero parte luego los bloques por medio de cuñas hasta dejarlos del tamaño deseado. Con el pico o martillo de desbastar, efectúa el cantero la operación del desbaste de los bloques, es decir los trabaja hasta dejarlos de una forma aproximadamente rectangular y convertirlos en los llamados "carretones" cuyas dimensiones exceden en una "pulgada de trabajo" (3 cm de exceso en todos sentidos) de las que debe tener la piedra en su estado definitivo.

HERRAMIENTAS DE CANTERO



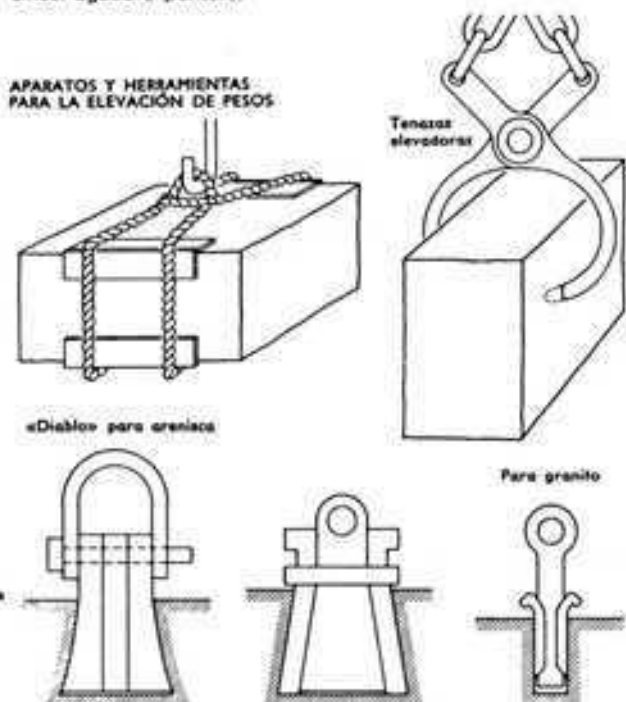
De estos carretales parte luego el cantero para llevar a cabo su trabajo de labra, que hoy día se efectúa en la misma cantera o en sus inmediaciones, porque las piedras que conservan todavía su humedad de cantera se trabajan mejor que las que ya se han desecado. Además, al aligerar las piedras se reducen los ulteriores gastos de transporte.

Examen de la piedra de labra



La piedra en bruto se coloca primeramente "en alto", es decir, sobre un soporte (caballetes de madera, otras piedras, etc.). A continuación, el cantero examina la piedra y traza las aristas de una de las superficies de apoyo o lechos de la piedra y procede a dejar limpias dichas aristas con unas fajas o *maestras* a lo largo de ellas de 2 a 3 cm de anchura, trabajadas y lisas. El resto de las caras así delimitadas rara vez se deja en bruto, es decir, tal como estaba en el carretal, sino que lo corriente es rebajarlo mediante el cincel o el pico hasta dejarlo enrasado con la faja del borde. Cuando se ha hecho esta operación con todas las caras viene el trabajar las caras vistas o paramentos según el tipo o clase de acabado que se desee, desde el más rugoso al más fino. La piedra arenisca se trabaja primero con el cincel de punta o puntero, luego con la escoda, se aplanan con el martillo tallante y la rasqueta, y finalmente se asperona y apomaza para dejarla lisa y pulida. Cuando la piedra es dura se requieren varias pasadas para aplanarla y pulirla. Las piedras poco resistentes y delgadas sólo pueden ser trabajadas en lecho de arena. Cuando el muro va forrado por detrás con otra clase de fábrica se deja la cara dorsal de la piedra tal como queda después de su trabajo con el cincel agudo o puntero.

APARATOS Y HERRAMIENTAS PARA LA ELEVACIÓN DE PESOS



Transporte y colocación de los sillares

Las aristas de las piedras de labra trabajadas en la cantera deben protegerse para que no se desportillen durante el transporte. Esto se suele hacer con haces de paja que se colocan debajo de las piedras o entre ellas. Las piedras de poco tamaño se manejan y colocan en obra con las tenazas de suspensión; si son de mayor peso se las eleva con los llamados "diablos", que se introducen en cajas abiertas en la piedra y que tienen que hallarse exactamente en el centro de gravedad de la superficie superior. Para poder hacer esas cajas en la misma cantera se facilita a los canteros un modelo del "diablo" que se desea emplear. El orificio o caja se hace ensanchando por abajo cuando se trata de

arenisca. El "diablo" se introduce flojo y se asegura con arena húmeda. La caja cuando se abre en piedra granítica es de sección redonda y se perfora con un barreno o perforadora. Al colocar las piedras se ponen, primero provisionalmente, sobre trozos de cartón doblados varias veces o sobre plaquitas de pizarra del grueso de la junta. Después se vuelven a levantar para preparar el lecho del mortero, donde finalmente se dejan descansar. El espesor de las juntas es de 4 a 6 mm. Para evitar tener que volver a levantar la piedra, pueden rellenarse las juntas con mortero fluido.

Coste y economía de la fábrica de sillería

El coste de la fábrica de sillería depende de la dureza del material, del número de pasadas que requiere su acabado, es decir, de la mayor o menor finura de la labra, y del tamaño de las piedras, porque las superficies a labrar crecen con el número de piedras que entran por metro cúbico de fábrica. Con objeto de aprovechar mejor y en beneficio de la economía los bloques que resultan del arranque de cantera y que tienen diferentes tamaños, se hacen variar las alturas de las hiladas y el largo de las piedras. Si hay que labrar grandes extensiones de paramentos de sillería, puede aún intensificarse el aprovechamiento del material fijando únicamente las diferentes alturas de las hiladas, pero dejando libertad para emplear longitudes cualesquiera de las piedras y fijando solamente un límite máximo y un límite mínimo para dichas longitudes. Un cantero, a pie de obra selecciona y retoca las dimensiones en forma conveniente. La forma más costosa del empleo de la fábrica de sillería es la de la sillería homogénea, compuesta de sillares iguales que, por lo tanto, exigen un enorme desperdicio de piedra para la selección y elaboración de cada una de las piedras.

La piedra y la expresión arquitectónica

Si hoy día construimos con piedra natural cuyas formas de elaboración y utilización están establecidas y cultivadas desde hace siglos, no es que obedezcamos ciegamente motivos y tradiciones de tipo histórico. La razón es que esos bellos materiales naturales pueden combinarse excelentemente con otros materiales de tipo moderno, como por ejemplo el hormigón armado, el metal, el cristal, etc.

Hay canteras cuya piedra es siempre de color homogéneo y constante, como ocurre con las de granito, caliza conchifera y travertino, y también con muchas clases de piedra arenisca. Sin embargo, precisamente en estas últimas se suelen encontrar, junto a canteras que dan piedra de color siempre igual, otras en que la piedra presenta una variada gama de colores. Para las paredes de gran extensión se suelen preferir estas últimas, porque los colores demasiado iguales dan paramentos apagados y "muertos". Por consiguiente, es oportuno, muchas veces, recurrir a piedra de varias canteras con objeto de conseguir cierta animación o vida en las superficies gracias a la combinación de colores.

La piedra natural de calidad valiosa o poco común sólo se emplea actualmente y por regla general en forma de placas o láminas delgadas que constituyen una protección contra la humedad que producirían las precipitaciones y contribuyen de esta manera a aumentar la protección térmica que proporciona la pared.

Las placas de piedra natural no se elaboran por medio de trabajo de cantería, sino que se obtienen mediante el aserrado de grandes bloques. Este método de preparación ahorra gran cantidad de mano de obra y aprovecha mejor el material porque apenas origina roturas. Los detalles acerca del revestimiento con placas de piedra natural o artificial se encuentran en la página 179.

Ordenación de dimensiones - DIN 4172

Observación preliminar

El desarrollo experimentado por la edificación hace indispensable una ordenación de dimensiones y tamaños como base para proyectos, a fin de lograr la normalización de las construcciones. Gracias a ella se reduce el número y variedad de tamaños en los materiales y elementos de la construcción.

Cuando no existen razones especiales que obliguen a escoger otras dimensiones, hay que emplear los valores normalizados.

1. Definiciones

1.1. Valores o números normalizados: Son aquellos números que sirven de patrones y los valores de ellos deducidos, para las medidas aisladas, en obras y elementos de las mismas, tanto para obra en bruto, como acabada.

1.2. Medida patrón para la construcción: Son, en primer término, medidas teóricas. Sin embargo, son las bases para las medidas de los elementos que, aisladamente o en conjunto, intervienen en las obras, en bruto o acabadas. Son indispensables para que puedan enlazarse y coordinarse bien, en la práctica, todas las partes de una obra de manera sistemática.

1.3. Medida nominal: Es la medida que deben tener las construcciones. Por lo regular, es la que figura en planos y dibujos. En las obras sin juntas, las medidas nominales son las mismas o corresponden a las medidas patrón. En cambio, en las obras con juntas, las medidas nominales se obtienen de las medidas patrón mediante deducción de las juntas.

2. Números normalizados para la construcción

Series preferentes para obras en bruto				Serie preferente para medidas aisladas	Series preferentes para obras acabadas			
a	b	c	d		f	g	h	i
25	25 2	25 3	25 4	25 5 10 = 2	5	2 x 5	4 x 5	5 x 5
	12 1/2	8 1/2	6 1/2	2,5 5 7,5 10 12,5 15 17,5 20 22,5 25	5	10	10	
25	25	25	25		25	20	20	25
	37 1/2	30 1/2	31 1/2	27,5 30 32,5 35 37,5 40 42,5 45 47,5 50	30	30	40	
50	50	50	50		50	40	40	50
	62 1/2	58 1/2	56 1/2	52,5 55 57,5 60 62,5 65 67,5 70 72,5 75	55	60	60	
75	75	75	75		75	65	70	75
	87 1/2	83 1/2	81 1/2	77,5 80 82,5 85 87,5 90 92,5 95 97,5 100	80	80	80	
100	100	100	100		100	85	90	100

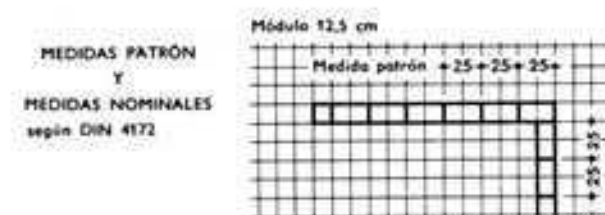
3. Medidas menores

Son medidas menores las de 2,5 cm y las inferiores a ésta. Según la norma DIN 323, serie 10, hay que escogerlas entre las siguientes:

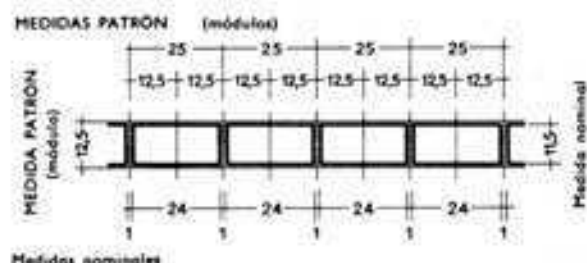
2,5 cm; 2 cm; 1,6 cm; 1,25 cm; 1 cm;
8 mm; 6,3 mm; 5 mm; 4 mm; 3,2 mm;
2,5 mm; 2 mm; 1,6 mm; 1,25 mm; 1 mm;

4. Aplicación de los valores normalizados para la construcción

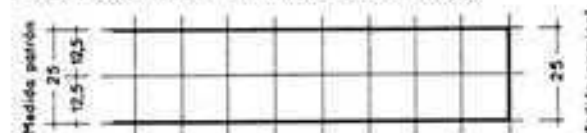
4.1. Las medidas patrón deben buscarse en la tabla.
4.2. Las medidas nominales en los tipos de construcciones sin



En tipos de construcciones con juntas de colocación en obra



En tipos de construcciones sin juntas de colocación en obra



juntas son iguales a las medidas patrón. En tal caso hay que buscarlas en la tabla. Ejemplo:

Medida patrón para espesores de muros de hormigón de masa	= 25 cm
Medida nominal para espesores de muros de hormigón en masa	= 25 cm
Medida patrón para anchura de locales	= 300 cm
Medida nominal para anchura de locales	= 300 cm

4.3 Las medidas nominales en tipos de construcción con juntas se deducen de las medidas patrón restando o añadiendo el valor de las juntas.

Ejemplo:

Medida patrón de la longitud de un ladrillo	= 25 cm
Medida nominal de la longitud de un ladrillo	= 25 - 1 = 24 cm
Medida patrón para anchura de local	= 300 cm
Medida nominal para anchura de local	= 300 + 1 = 301 cm

4.4 Cuando no es posible fijar todas las medidas de una obra mediante valores normalizados, deben ser empleados los valores normalizados, en primer término, para la fijación de los puntos y superficies de contacto con otras partes o secciones de la construcción, que hayan sido ya dimensionadas a base de valores normalizados.

5. Juntas y aparejo

Las partes y elementos de las construcciones (ladrillos, placas, etc.) deben dimensionarse de manera que sus medidas patrón al aparejarse den valores normalizados. Hay que tener en cuenta, en tal caso, las reglas de aparejado, las juntas de la puesta en obra y las tolerancias.

	Medida patrón	Junta	Medida nominal
Longitud de un ladrillo	25 cm	1 cm	24 cm
Anchura de un ladrillo	25/2 cm	1 cm	11,5 cm
Altura de un ladrillo	25/3 cm	1,23 cm	7,1 cm
y también	25/4 cm	1,05 cm	5,2 cm

Obra de fábrica de materiales cerámicos

Las piezas cerámicas son productos moldeados y cocidos en las ladrillerías o tejares utilizando barro, arcilla u otras masas de tipo arcilloso. La denominación oficial es: "Ladrillos de albañilería". Están normalizados en la DIN 105. En la práctica, sin embargo, casi siempre se denominan simplemente "ladrillos". La fabricación y elaboración de ladrillos cerámicos era conocida entre el Eufates y el Tigris (Mesopotamia). Más tarde, a través de los romanos, llegó a los pueblos germánicos, que en la época del gótico (cerámica gótica) llevaron la construcción de ladrillo hasta la máxima perfección. Del mismo modo que en el época del Renacimiento, la piedra natural, como material de construcción para muros y paredes, adquirió gran preponderancia sobre la madera, el ladrillo cerámico, durante el siglo XIX, logró sustituir casi totalmente a los anteriores métodos de construcción usuales.

Al principio los ladrillos se moldeaban a mano; actualmente su fabricación se ha mecanizado. Los antiguos ladrillos de elaboración manual, cocidos según los métodos primitivos de aquellos tiempos, adolecían de desigualdad en su dureza y resistencia, dando gran proporción de rechazo y desperdicio; en cambio, los ladrillos modernos fabricados mecánicamente, bien cocidos con homogeneidad presentan otros defectos, debidos precisamente a su modo de fabricación, que los hechos a mano no tenían. A causa de la presión de las paredes en la boca de la prensa de

moldeo, la zona del borde del ladrillo queda más compacta y lisa, de forma que se deseca y cuece desigualmente, con lo cual forma una cáscara que hace que el ladrillo no se parta tan fácilmente como los ladrillos de estructura homogénea. Las superficies lisas exteriores son menos aptas para la adherencia de revocos y enlucidos. Con objeto de corregir ese inconveniente se procura que la cara más áspera o rugosa que siempre tienen cuando se secan sobre tablero enarenado quede hacia el paramento exterior al construir. Esta medida es sobre todo muy necesaria cuando se aplican enlucidos muy finos y fluidos, pues no se adhieren bien a la superficie lisa del ladrillo y las lluvias los deslavan con facilidad.

Formas y tamaños de los ladrillos

Las dimensiones de que se partió en su origen para fijar el tamaño de los ladrillos fueron las convenientes para asirlos cómodamente con la mano. Esto determinó la anchura del ladrillo macizo. Los tamaños mayores que se dan a los ladrillos huecos son debidos a la mayor manejabilidad que trae consigo la reducción del peso. Algunos tipos de ladrillos huecos son muy manejables gracias al moldeo de rebajos o asideros especiales.

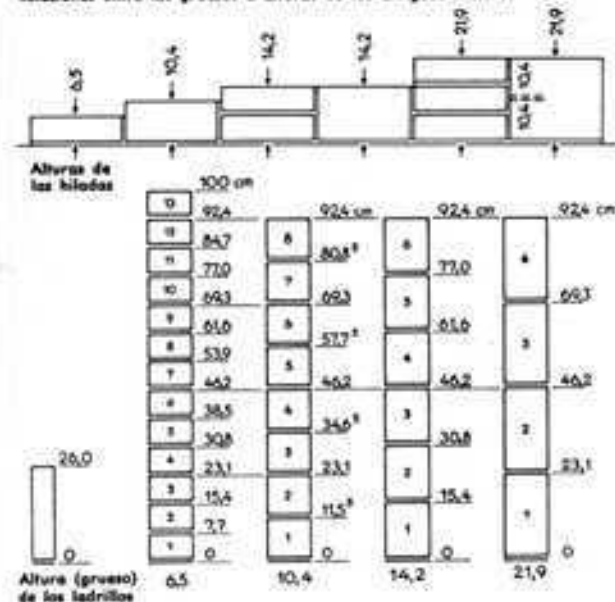


Para lograr un buen aparejo y la indispensable trabazón entre los ladrillos macizos (tamaño normal) la longitud del ladrillo tiene que ser siempre igual al doble de su anchura más el grueso de una junta. La altura del ladrillo no guarda ninguna relación directa con su superficie de base y puede, por consiguiente, fijarse libremente. Su aplicación ornamental, de todos modos, es la que fija límites a esas dimensiones.

Antiguos tamaños y dimensiones de los ladrillos

El antiguo tamaño y forma típica Reich con su anchura de 12 cm aún se encuentra en el mercado. La anchura de los ladrillos en la mayoría de los países europeos no difiere mucho de esas medidas y oscila entre 10,5 y 13 cm. La longitud de los ladrillos es de $2 \times 12 \text{ cm (anchura)} + 1 \text{ cm (junta vertical)} = 25 \text{ cm}$ y su altura o espesor 6,5 cm. Este tamaño, conocido con la denominación de "modelo Reich", fue introducido en 1852 tomando como base las antiguas dimensiones prusianas en pulgadas. La longitud + la junta era de 10 pulgadas prusianas = 26 cm; la anchura + la junta era de 5 pulgadas = 13 cm. Descontadas las juntas se

Relaciones entre los gruesos o alturas de los antiguos ladrillos



obtuvo el tamaño de $25 \times 12 \text{ cm}$. La altura de 6,5 cm se determinó a base de que el número redondo de 400 ladrillos, incluyendo las inevitables pérdidas por roturas pudiese dar 1 m^2 de obra de fábrica.

El antiguo tamaño y forma del "modelo Reich" presenta los siguientes inconvenientes prácticos y estéticos: la medida del testero o cabeza (anchura del ladrillo + la junta) = 13 cm no encaja en el sistema decimal y proporciona una serie de números incómodos. En la obra de fábrica que ha de quedar sin revocar el ladrillo parece demasiado grueso para su longitud y además no se presta para combinaciones ornamentales en los paramentos. Al ajustar una faja a sardinel, ya constituye una dificultad el hecho de que dos hiladas y una junta no enrasen con la anchura del ladrillo puesto de canto, por lo que la hilada superior o de enrase siempre tiene que recortarse o cercenarse para lograr dicho enrase, cosa que resulta laboriosa y difícil. Ladrillos que deban ser empleados de una manera general y sin limitaciones tienen que llenar también esta condición: Su altura o espesor debe dimensionarse de la siguiente manera: (anchura del ladrillo + 1 junta horizontal): 2.

El antiguo tamaño y forma del ladrillo de Baden, de $27 \times 13 \times 6$ y el "ladrillo real" bávaro de $29 \times 14 \times 6,5 \text{ cm}$ cumplen con dicha condición. Si a cada dimensión se le agrega 1 cm como espesor de 1 junta, partiendo de la altura o espesor del ladrillo, se obtienen respectivamente las series 7 - 14 - 28 cm y 7,5 - 15 - 30 cm que guardan las relaciones 1 : 2 : 4; éstas son las que convienen a una obra que deba ser aplicable a un uso general. Hasta la fecha, ladrillos dimensionados en esa forma sólo se fabrican sobre pedido.

Nuevos tamaños y formas de ladrillos

Desde 1941 fueron propuestos por el Prof. Neufert los nuevos ladrillos llamados "octámetros", cuyas dimensiones eran $24 \times 11,5 \times 6,5 \text{ cm}$. El grueso de 6,5 cm del ladrillo normal alemán se mantiene, pues, en esta propuesta.

En la nueva revisión de la norma DIN 105 de enero de 1952 se fijaron las dimensiones de los ladrillos macizos y huecos en correspondencia con la nueva ordenación de tamaños de la DIN 4172 y en la forma siguiente:

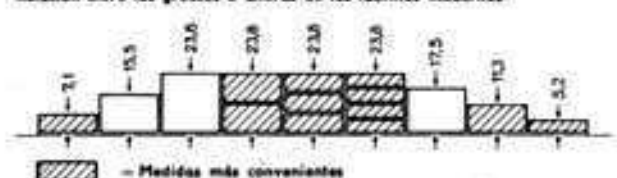
Longitud en cm	Anchura en cm	Altura o grueso en cm
24	11,5 17,5 24,0	5,2 7,1 11,3 15,5 17,5 23,8

De estos tamaños de ladrillos, por lo regular, sólo deben ser fabricados y empleados con preferencia los siguientes:

		Longitud en cm	Anchura en cm	Altura o grueso en cm
Tamaño delgado	DF	24	11,5	5,2
Tamaño normal	NF	24	11,5	7,1
Tamaño $1\frac{1}{2}$ normal	$1\frac{1}{2}$ NF	24	11,5	11,3
Tamaño $2\frac{1}{2}$ normal	$2\frac{1}{2}$ NF	24	17,5	11,3

Los ladrillos macizos se fabrican casi siempre en los tamaños normal y delgado. Los tamaños mayores, cuando se trata de ladrillos macizos presentan dificultades de cocción y por su excesivo peso son de difícil manipulación. Los ladrillos de tamaño normal y delgado están estudiados de manera que 4 hiladas de ladrillo delgado equivalgan a 3 hiladas de ladrillo normal.

Relación entre los gruesos o alturas de los ladrillos modernos



En este nuevo sistema y forma de ladrillos, la anchura + la junta resulta ser de $1/8\text{ m} = 12.5\text{ cm}$. Se tiene así la siguiente serie de valores fáciles de recordar: 12.5 - 25 - 37.5 - 50 - 62.5 - 75 - 87.5 - 100 cm, etc., que comprende el octavo, el cuarto, la mitad, los tres cuartos del metro y el metro entero.

Hiladas	Tamaño diseñado	100 cm	Tamaño normal	100 cm	100 cm	100 cm
10	91.8	11	91.7	8	87.5	4
15	87.5	11	83.3	9	75	3
20	83.3	10	75	6	62.5	2
25	75	9	66.7	5	50	1
30	66.6	8	58.3	4	37.5	
35	62.5	7	50	3	25	
40	58.3	6	41.7	2	12.5	
45	54.0	5	33.3	1	0	
50	50.0	4	25			
55	45.8	3	16.7			
60	41.7	2	8.3			
65	37.5	1	0			
70	33.3					
75	30.0					
80	26.7					
85	23.3					
90	20.0					
95	16.7					
100	13.3					
105	10.0					
110	6.7					
115	3.3					
120	0					
Altura de los ladrillos	5.2 cm	7.1 cm	11.3 cm	24 cm		

Ladrillos macizos

Los ladrillos macizos, con objeto de obtener una reducción de su peso y facilitar su desecación y cocción, así como para que resulten de más fácil troceo deben tener ranuras y unos orificios perpendiculares a sus caras mayores o de asiento. La sección de cada orificio no debe exceder de 6 cm^2 ; la anchura de las ranuras 15 mm y la suma de las secciones huecas no ha de rebasar el 15% de la superficie total de la cara mayor del ladrillo. Por su resistencia a los agentes atmosféricos se distinguen: Ladrillos macizos para obra de fábrica revocada y Ladrillos macizos para obra de fábrica vista.

Ladrillos macizos para obra de fábrica revocada

Los tipos Mz 100 y Mz 150 (que son los llamados ladrillos para fábrica interior) no son inalterables ante la acción de los agentes atmosféricos y sólo deben ser empleados para paredes interiores o paredes exteriores revocadas.

Ladrillos macizos para obra de fábrica vista

Los tipos de ladrillos VMz 150, VMz 250 y el ladrillo KMz 350 cocido hasta el punto de vitrificación no son heladizos y por ello resultan apropiados para fábricas de obra vista o como piezas de aplacado exterior para protección de otros materiales menos resistentes contra los agentes atmosféricos. Además, por su elevada resistencia a compresión son también apropiados para la construcción de elementos sometidos a fuertes solicitaciones estáticas.

Observación a la tabla de la página

Las cantidades de material que se mencionan en esas tablas están determinadas por cálculo. Las pérdidas que se producen por transporte y en la puesta en obra no se tienen en cuenta. Las roturas y pérdidas de ladrillos con que hay que contar para el material que se inutiliza oscilan entre un 2 y un 5 %. Así, pues, al calcular la cantidad de obra que en realidad se necesitará habrá que aumentar en dichas proporciones los valores que dan las tablas.

Si las juntas se hacen de más de 1.2 cm de espesor, se rebajará la cantidad de ladrillos.

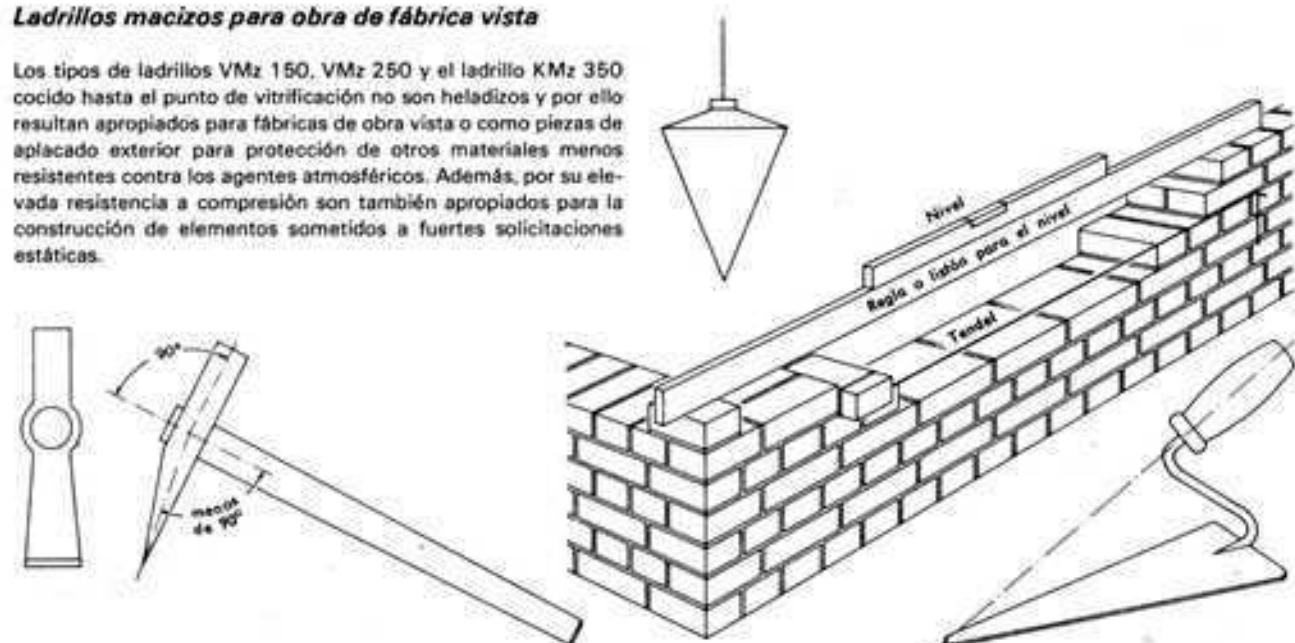
Para el mortero, hay que aumentar en un 30 o 35% los valores de las tablas, según se deduce del siguiente ejemplo, si se quiere obtener la cantidad realmente necesaria:

1 m³ de fábrica de ladrillo (formato normal) contiene, según el cálculo, 385 ladrillos, que a 0.00196 m³ cada uno representan 0.7524 m³ de ladrillo, de manera que para las juntas quedan $1.00 - 0.7524 = 0.2476\text{ m}^3$, o sean 248 litros. Sin embargo, como el promedio del volumen de los ladrillos comerciales corrientes no es de 0.00196 m³ sino de 0.00189 m³, la fracción correspondiente a las juntas en cada 1 m³ de obra de fábrica será de $1.00 - (384 \times 0.00189) = 0.2743\text{ m}^3$ o sean 274 litros. El mortero preparado con la paleta y que se comprime al ser colocado en la obra, pierde parte de su agua en favor del ladrillo. Esto reduce su volumen en un 11.5%. A la cantidad antes calculada de 274 litros hay que añadir pues un 11.5%; $274 \times (1 + 0.115) = 315$ litros de mortero. Las pérdidas por transporte y durante la puesta en obra, así como por restos inaprovechables, etc., vienen a ser de un 4%. Resulta pues, que para 1 m³ de fábrica de ladrillo se requiere una cantidad práctica de mortero $315 \times (1 + 0.04) = 328$ litros, o sea aproximadamente un 30% más que la cantidad estricta dada por el cálculo de 248 litros.

Ejecución de la obra de fábrica con ladrillo macizo

La obra de fábrica de ladrillo macizo se rige por la norma DIN 1053. Los ladrillos macizos tienen que cumplir con la norma DIN 105.

Toda obra de fábrica tiene que ejecutarse con las reglas del buen aparejo: bien nivelada, bien alineada y a plomo. Al construir paredes se empieza por colocar los ladrillos de los extremos, de las esquinas o ángulos y de las aberturas. Al subir las paredes se procede llevando siempre por delante el aparejo de las esquinas y llenando después las partes intermedias de la pared. Por consiguiente, hay que tener bien presente que las aristas de las esquinas deben constantemente comprobarse en su verticalidad, con la plomada, y los paramentos intermedios, en su alineación entre arista y arista, por medio de cordeles tirantes (tendeles). Las paredes de 1/2 asta y de 1 asta pueden subirse comprobando la alineación por una sola de sus caras. A partir de espesores de pared de asta y media deben disponerse tendeles en ambas



LADRILLOS MACIZOS

Formato	Macizo Mz 100		Macizo Mz 150		Macizo Mz 250		Macizo Mz 350	
	Tamaño normal	Tamaño delgado	Tamaño normal	Tamaño delgado	Tamaño normal	Tamaño delgado	Tamaño normal	Tamaño delgado
Digitativo	Ninguno		Verde*		Blanco*		Ninguno	
Dimensiones	Longitud	cm	24	24	24	24	24	24
	Anchura	cm	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5
	Altura (grueso)	cm	7,1	5,2	7,1	5,2	7,1	5,2
Peso específico aparente ¹⁾	Valor medio	kg/dm ³	≤ 1,8		≤ 1,8		≥ 1,9	
Peso aproximado		kg	3,3	2,5	3,3	2,5	4,0	3,0
Resistencia a la compresión	Valor medio	kg/cm ²	100		150		350	
	Valor individual mínimo	kg/cm ²	80		120		300	
		kg/cm ²	6		8		10	
Solución admisible a la compresión	Con paredes de grueso ≥ 24 cm	Grupo del mortero según DIN 1053P)	I		II		II	
			II		III		III	
	Con paredes de grueso < 24 cm	Grupo del mortero según DIN 1053P)	I		II		II	
Resistencia a las heladas ²⁾			II		III		III	
			III		III		III	
			III		III		III	
Coefficiente de conductividad térmica de la obra de fábrica		kcal/mh	0,08		0,08		0,08	
Peso calculado de la obra de fábrica		kg/m ³	1800		1800		1900	

$$1) \text{ Peso esp. aparente del ladrillo } \gamma_1 = \frac{P_{1s}}{V_1}$$

$$\gamma_1 = \text{Peso específico aparente del ladrillo}$$

$$P_{1s} = \text{Peso del ladrillo seco}$$

$$V_1 = \text{Volumen del ladrillo}$$

2) Grupos de mortero según DIN 1053, véase pág. 130

3) Si los Mz 100, Mz 150 y Mz 250 son resistentes a las heladas se pueden utilizar como aplicados de revestimiento (VPM) sin necesidad de revoco en su cara exterior.

4) Franja de color de 20 mm de anchura:

Mz 150: verde

Mz 250: blanco

El digitativo se aplica después de la cocción:

Uno de cada 200 ladrillos del lote debe llevarlo



MATERIAL NECESARIO	Pérdidas: Ladrillo: 2 - 5% Mortero: 30 - 35%		Tamaño normal 24 x 11 x 7,1		Tamaño delgado 24 x 11 x 5,2	
	Ladrillos	Número	Ladrillos	Número	Ladrillos	Número
Para 1 m ²	Pared media esta		Mortero			
	Pared de esta		Ladrillos			
	Pared de esta y media		Mortero			
	Pared de esta y media		Ladrillos			
Para 1 m ³	Obra de fábrica		Mortero			
			Ladrillos			

Observación: Las cantidades de materiales citados en las tablas están determinadas por cálculo. En los ladrillos no se han incluido las rebajas ni en el mortero la pérdida que en la preparación y puesta en obra se producen.

caras. Es preferible ir construyendo de derecha a izquierda, porque la mano derecha es la que sostiene la paleta y la izquierda la que va colocando los ladrillos. Sin embargo, un albañil experto suele trabajar con igual perfección de izquierda a derecha (a contramano). Cuando está colocada una hilada se rellenan bien con mortero sus juntas verticales. Los ladrillos porosos o secos deben remojarlos bien antes de colocarlos en obra, porque el mortero, para su carbonatación, necesita agua, y si no está bastante mojado el ladrillo lo absorbe. En tiempo de heladas no debe construirse a la intemperie obra de ladrillo. Las piezas de acero siempre deben fijarse con mortero de cemento, que protege el metal contra la oxidación.

Una vez se ha llegado a la total altura de cada piso, debe comprobarse con regla y nivel la horizontalidad de las hiladas y proceder a su aplanado y alisado.

Herramientas de albañil

Para levantar las paredes en las casas de pisos, con obra de fábrica, el albañil sigue empleando todavía las herramientas antiguas de su oficio, como la paleta o palastre, el martillo o maceta, la plomada y el nivel de agua. Además, el metro, la regla o reglón de 5 m de longitud, el cordel para los tendeles, la regla para apoyar el nivel y, en caso de obra sin revocar, la reglilla destinada a mantener la igualdad de altura de las hiladas.

Gruesos y longitudes de paredes

La longitud y el grueso de una pared se calcula por el número de testeros o cabezas de ladrillo que caben en ella:

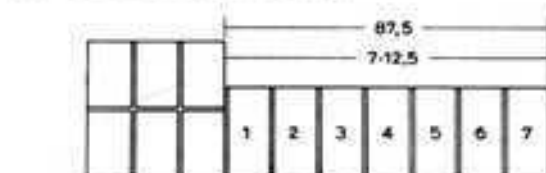
1 testero = 11,5 cm (anchura del ladrillo) + 1 cm (junta vertical) = 12,5 cm. (En el antiguo tamaño Reich: 1 testero = 12 cm + 1 cm de junta vertical = 13 cm.)



Espesor y longitud libres = $(x \cdot 12,5 \text{ cm}) - 1 \text{ cm}$.

Por consiguiente, las medidas de las paredes serán: 11,5 cm; 24 cm; 36,5 cm; 49 cm; etc.

[y con el tamaño antiguo tipo Reich $(x \cdot 13 \text{ cm}) - 1 \text{ cm}$, o sea: 12 cm, 25 cm, 38 cm, etc.].



La longitud de una pared a continuación de otra (medida del proyecto) = $x \cdot 12,5 \text{ cm}$.

(Con tamaño Reich = $x \cdot 13 \text{ cm}$); en este caso, el número de testeros y de juntas es el mismo.



Longitud de pared contruida en un hueco entre dos obras existentes (luz o dimensión interior) = $(x \cdot 12,5) + 1 \text{ cm}$.

[con el tamaño tipo Reich = $(x \cdot 13) + 1 \text{ cm}$]; el número de juntas, en este caso, es una unidad mayor que el de testeros de ladrillo.

Denominaciones con que se distinguen los ladrillos, las juntas y las hiladas

Los ladrillos, las juntas y las hiladas reciben distintas denominaciones según su situación.

Se llaman sogas los ladrillos que tienen sus aristas largas paralelas al paramento y tizones o llaves los que las tienen perpendiculares al mismo.

Se denominan juntas los espacios rellenos de mortero que quedan entre los ladrillos. Cuando estas juntas son horizontales o, en su caso, perpendiculares a la dirección de la presión que han de soportar los ladrillos se las llama juntas horizontales o de asiento, o también juntas de tendel. Las juntas verticales, además de este nombre se llaman también llagas. Una hilada es un lecho o capa de ladrillos, colocada en obra por el albañil según las reglas y usos del buen aparejo. Según la posición de los ladrillos, se distinguen los siguientes tipos de hiladas:

hiladas a soga, que son aquellas que en el paramento sólo presentan ladrillos colocados en esta forma;

hiladas a tizón, que son las que sólo presentan las cabezas, es decir, su cara menor en el paramento, en posición tendida;

hiladas a sardinel o de canto, las que presentan dichas cabezas pero en posición vertical, con lo cual las juntas verticales están formadas entre las caras mayores, y las horizontales o de asiento se hacen por caras estrechas.

Las altas y extensas juntas verticales aumentan la adherencia de los ladrillos de la hilada entre sí. Los ladrillos colocados verticalmente de canto reparten mejor las presiones que los colocados de plano, pues estos últimos se rompen con más facilidad bajo la acción de cargas grandes. La hilada a sardinel resulta, pues, ventajosa para apoyos de cargas y techos y para terminación de muros, antepechos y cornisas. Mediante capas o hiladas a sardinel oblicuo pueden someterse a tensión las superficies de las paredes.

En las hiladas triscadas, los ladrillos de las hiladas a sardinel se colocan inclinados, formando un ángulo de 45° a 60° con las líneas de los tendeles.

En las hiladas "a corriente", los ladrillos colocados de plano están en posición oblicua respecto del paramento.

Hilada a soga



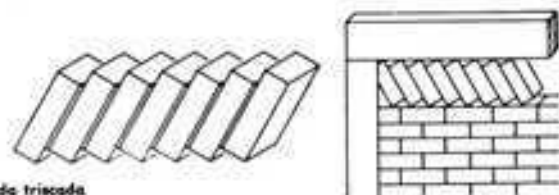
Hilada a tizón



Hilada a sardinel



Hilada triscada



Hilada a corriente



Medidas de los ladrillos modernos

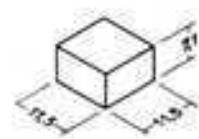
(Formato normal correspondiente a la DIN 4172)



Ladrillo entero



Ladrillo 3/4



Ladrillo 1/2



Ladrillo 1/4

Medidas de los ladrillos antiguos (Formato Reich)



Ladrillo 1/4

Aparejos de paredes

Se entiende por aparejo la disposición de las juntas de los ladrillos en un cuerpo de obra de fábrica según reglas determinadas, que deben garantizar la debida trabazón entre los distintos elementos que lo componen las uniones de los cuerpos de obra de fábrica en los cruces y enlaces.

Aunque los esfuerzos para conseguir mayor rentabilidad en las obras de fábrica, mediante mayoración de los tamaños de ladrillos, han reducido la cantidad de juntas, y con ello el importe de la mano de obra, todos los aparejos normalizados se basan en el tamaño normal del ladrillo.

En la realización práctica de aparejos de paredes con ladrillo macizo hay que tener en cuenta las siguientes reglas de carácter general:

todas las hiladas tienen que descansar sobre planos horizontales;

hay que procurar emplear el número mayor posible de ladrillos enteros;

en el interior de la pared, en cuanto sea posible, hay que procurar que los ladrillos estén a tizón;

en paredes de 1,1 1/2 y 2 astas de espesor, deben alternarse las hiladas a soga y a tizón;

en las hiladas a tizón quedan aparentes en el paramento únicamente los testeros o caras menores de los ladrillos;

en los extremos de la pared cada hilada o soga empieza con tantas piezas de 3/4 de ladrillo como testeros entran en el espesor de la pared;

el mayor número posible de juntas verticales deben atravesar el total espesor de la pared;

las juntas verticales e intermedias de hiladas superpuestas no deben coincidir, sino al contrario estar encontradas o entrecruzadas, siendo el desplazamiento entre unas y otras al menos de 1/4 de ladrillo;

en las esquinas, en los cruces de paredes o en los sitios donde una pared termina uniéndose a otra transversal (encuentro), las hiladas a soga deben continuar y, en cambio, las hiladas a tizón deben enlazarse y trabarse.

Las jambas de puertas y ventanas de paredes provistos de salientes para formar la mocheta.

Estos salientes se obtienen:

en las hiladas a tizón, suplementándolas con una pieza de ladrillo de anchura igual al saliente de la mocheta, y en las hiladas a soga, corriendo hacia fuera el ladrillo extremo.

La bondad o calidad de un aparejo depende de la resistencia que pueda presentar contra el agrietamiento.

El enlace transversal de todo aparejo de muro, consistente en que cada ladrillo tenga una superposición de 1/2 ladrillo sobre el inferior, es muy bueno. Sólo se producen grietas por pandeo en este enlace en los muros muy cargados y demasiado altos. Sin embargo, la resistencia al pandeo casi nunca es sobrepasada, de modo que el enlace transversal rara vez se agrieta. En el enlace longitudinal las grietas ya son más frecuentes. Se producen, por ejemplo, por asentos desiguales del terreno de cimentación.

Aparejo a soga o de chimenea

Consiste en hacer todas sus hiladas a soga, con lo que las paredes o las chimeneas resultan de 1/2 asta. La superposición, endentado y escalonamiento resultan siempre del tamaño de 1/2 ladrillo.

Aparejo a tizón o de testeros

Este aparejo conviene únicamente para paredes de asta. Todas sus hiladas se componen únicamente de tizones que van superpuestos a juntas encontradas, con recubrimientos de 1/4 de ladrillo. El escalonamiento del aparejo longitudinal es muy empinado. Tiene, pues, tendencia a la formación de grietas. El aparejo a tizón es muy apropiado para paredes de planta circular con radio corto, para chimeneas de fábricas, etc.



PAREDES DE MEDIA ASTA

EXTREMO DE PARED

1ª. hilada



2ª. hilada



ENCUENTRO DE PAREDES

1ª. hilada



2ª. hilada



La hilada de la pared seguida es ininterrumpida; la de la pared que termina lo hace a tope con ella

La hilada de la pared que termina se prolonga hasta el paramento anterior de la pared seguida

CRUCE DE PAREDES

1ª. hilada



2ª. hilada



Las hiladas se hacen seguidas alternativamente en cada una de las paredes

ESQUINA EN ÁNGULO RECTO

1ª. hilada



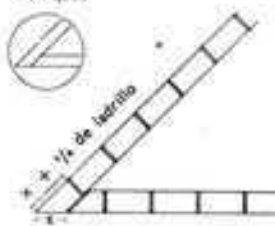
2ª. hilada



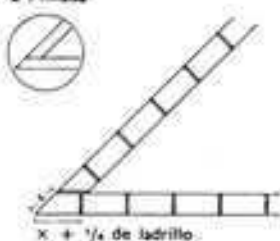
Las hiladas atraviesan la pared contraria alternativamente

ESQUINA EN ÁNGULO AGUDO

1ª. hilada

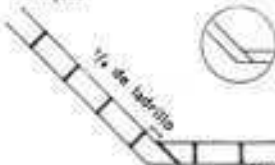


2ª. hilada

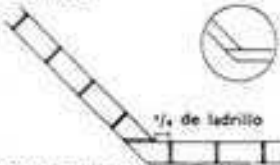


ESQUINA EN ÁNGULO OBTUSO

1ª. hilada



2ª. hilada

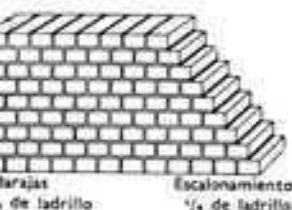


Con paredes de $\frac{1}{2}$ asta se hace que las hiladas delantera y lateral lleguen alternativamente hasta la arista saliente

PAREDES DE ASTA

EXTREMO DE PARED

1ª. hilada



Adarajas $\frac{1}{4}$ de ladrillo

Escalonamiento $\frac{1}{4}$ de ladrillo

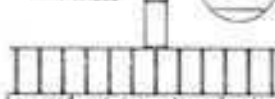
2ª. hilada



Las hiladas pares empiezan con dos botas de $\frac{2}{4}$ de ladrillo

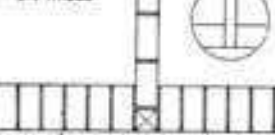
ENCUENTRO DE UNA PARED DE ASTA CON OTRA DE MEDIA ASTA

1ª. hilada



La pared que encuentra a la otra termina a tope con ella

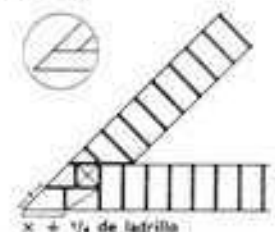
2ª. hilada



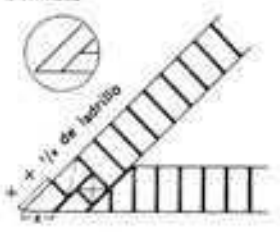
La pared que encuentra a la otra es prolongada hasta el paramento anterior de ésta

ESQUINA EN ÁNGULO AGUDO

1ª. hilada

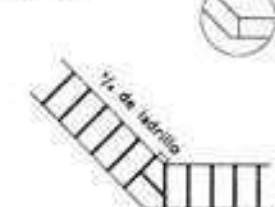


2ª. hilada

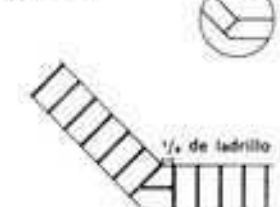


ESQUINA EN ÁNGULO OBTUSO

1ª. hilada



2ª. hilada



Aparejo inglés

En este aparejo alternan las hiladas a soga y a tizón con regularidad. Las juntas verticales en todas las sogas se corresponden verticalmente y lo mismo las juntas de los tizones entre sí. La superposición o recubrimiento así como el endentado son de $\frac{1}{4}$

de ladrillo. El escalonamiento longitudinal es bastante tendido, siendo alternativamente de $\frac{1}{4}$ y de $\frac{3}{4}$ de ladrillo; esta irregularidad le presta una excelente trabazón longitudinal. El dibujo que este aparejo forma en los paramentos ofrece poco atractivo, ciertamente, por lo que no suele escogerse para obra de fábrica vista que haya de quedar sin revocar.

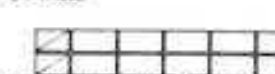
PAREDES DE ASTA

EXTREMO DE PARED

1ª. hilada



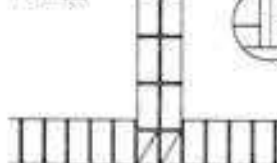
2ª. hilada



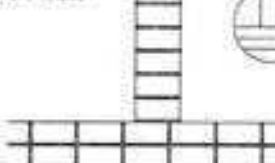
La hilada a soga empieza con 2 ladrillos $\frac{1}{4}$

ENCUENTRO DE PAREDES

1ª. hilada



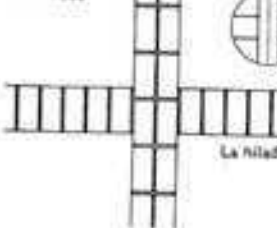
2ª. hilada



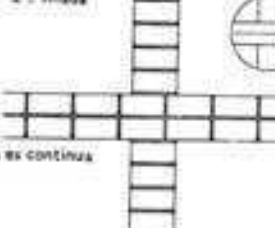
La hilada a soga es continua

CRUCE DE PAREDES

1ª. hilada



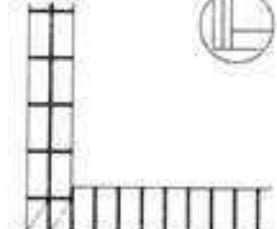
2ª. hilada



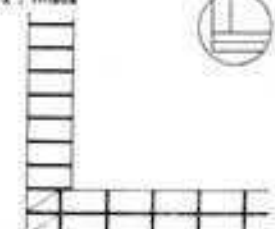
La hilada a soga es continua

ESQUINA EN ÁNGULO RECTO

1ª. hilada



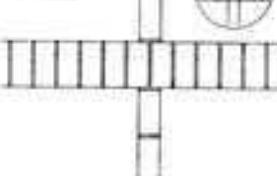
2ª. hilada



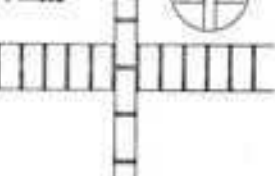
La hilada a soga es continua

CRUCE DE PAREDES

1ª. hilada

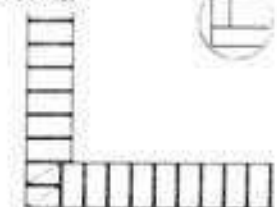


2ª. hilada

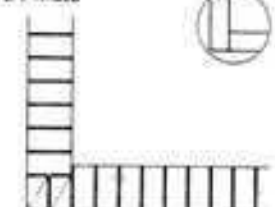


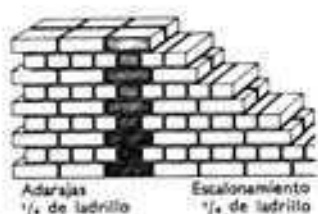
ESQUINA EN ÁNGULO RECTO

1ª. hilada



2ª. hilada





PAREDES DE ASTA Y MEDIA

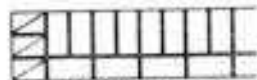
EXTREMO DE PARED 1.ª hilada



2.ª hilada



La hilada a tijón empieza con 4 ladrillos $\frac{1}{4}$.

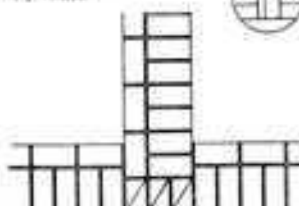


La hilada a soga empieza con 3 ladrillos $\frac{1}{4}$.

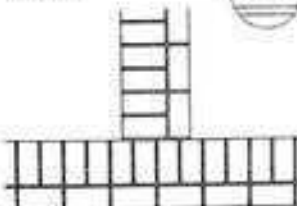
ENCUENTRO DE PAREDES 1.ª hilada



2.ª hilada



La pared que encuentra a la otra es prolongada hasta el paramento anterior de ésta.

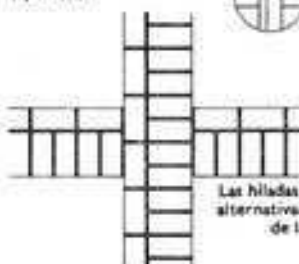


La pared que encuentra a la otra termina a tope con ella.

CRUCE DE PAREDES 1.ª hilada



2.ª hilada



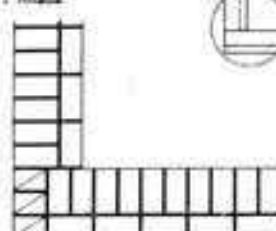
Las hiladas se hacen seguidas alternativamente en cada una de las paredes.



ESQUINA EN ÁNGULO RECTO 1.ª hilada



2.ª hilada



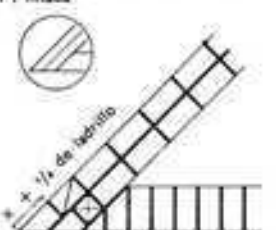
Las hiladas se hacen seguidas alternativamente en cada una de las paredes.



ESQUINA EN ÁNGULO AGUDO 1.ª hilada



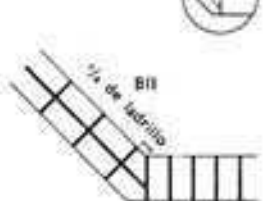
2.ª hilada



ESQUINA EN ÁNGULO OBTUSO 1.ª hilada



2.ª hilada



BII

$\frac{1}{4}$ de ladrillo

PAREDES DE DOBLE ASTA

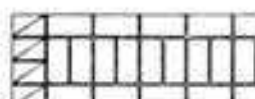
EXTREMO DE PARED 1.ª hilada



2.ª hilada



La hilada a tijón empieza con 4 ladrillos $\frac{1}{4}$ y uno entero central.



La hilada a soga empieza con 4 ladrillos $\frac{1}{4}$.

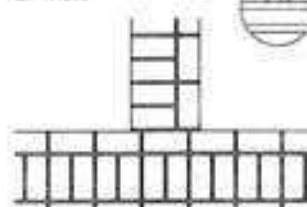
ENCUENTRO DE PAREDES 1.ª hilada



2.ª hilada



La pared que encuentra a la otra es prolongada hasta el paramento anterior de ésta.



La pared que encuentra a la otra termina a tope con ella.

CRUCE DE PAREDES 1.ª hilada



2.ª hilada



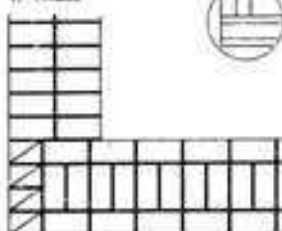
Las hiladas se hacen seguidas alternativamente en cada una de las paredes.



ESQUINA EN ÁNGULO RECTO 1.ª hilada



2.ª hilada



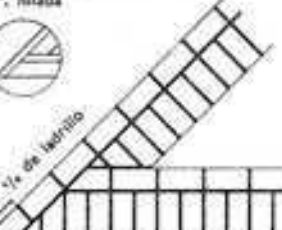
Las hiladas se hacen seguidas alternativamente en cada una de las paredes.



ESQUINA EN ÁNGULO AGUDO 1.ª hilada



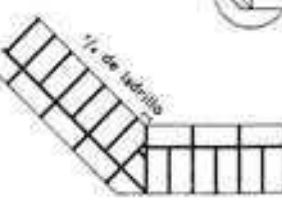
2.ª hilada



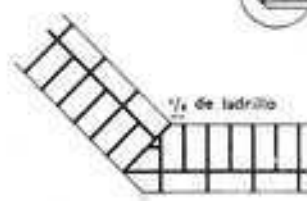
ESQUINA EN ÁNGULO OBTUSO 1.ª hilada



2.ª hilada



$\frac{1}{4}$ de ladrillo



$\frac{1}{4}$ de ladrillo

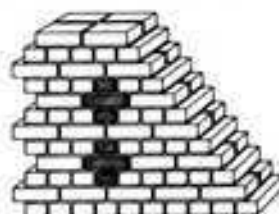
Aparejo belga

También en el aparejo belga o cruzado alternan regularmente las hiladas a soga y a tizón. Sin embargo, están desplazadas unas respecto de otras, de manera que no repiten su posición más que cada 4 hiladas. La primera y la segunda hiladas van colocadas igual que en el aparejo inglés; la tercera hilada es como la primera, y la cuarta es como la segunda, pero en ella las juntas verticales van desplazadas longitudinalmente $\frac{1}{2}$ ladrillo. En la cuarta hilada (hilada de sogas), después de la primera pieza ($\frac{3}{4}$ de ladrillo) sigue un tizón y después de éste vienen las sogas. Las juntas verticales de las hiladas de tizones quedan superpuestas en las mismas líneas verticales, en tanto que las juntas de las hiladas de sogas se hallan alternativamente desplazadas $\frac{1}{2}$ ladrillo.

Resulta de ello que el aparejo belga presenta un paramento característico, por cuya razón se le prefiere al inglés cuando la obra ha de quedar vista.

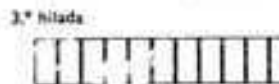
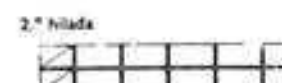
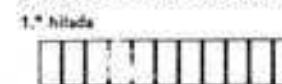
En el aparejo cruzado el escalonamiento es de $\frac{1}{4}$ de ladrillo y el endentado es de dos veces $\frac{1}{4}$ de ladrillo.

Su trabazón longitudinal no es tan buena como la del aparejo inglés, por lo que es más propenso a la producción de grietas oblicuas. En cambio, por su buen endentado está bien defendido contra grietas verticales.

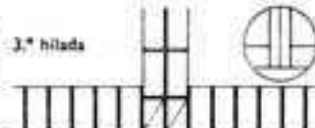
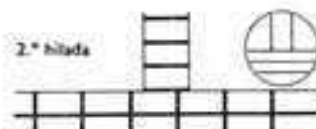


Adarajas $2 \times \frac{1}{4}$ de ladrillo Escalonamiento $\frac{1}{4}$ de ladrillo

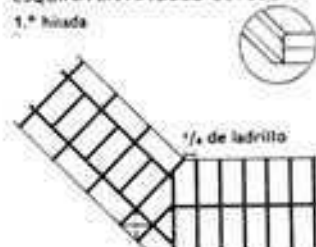
EXTRÉMO DE PARED DE ASTA



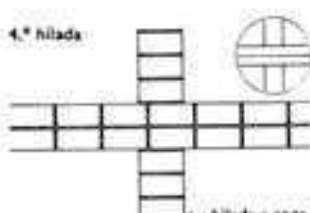
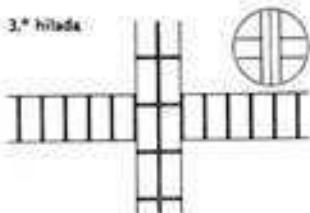
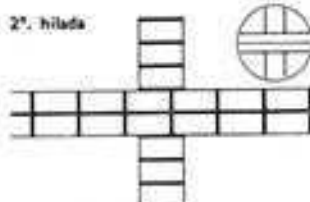
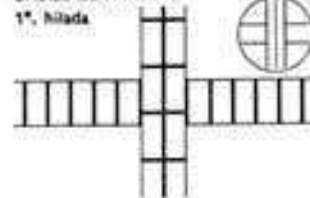
ENCUENTRO DE PAREDES



ESQUINA EN ÁNGULO OBTUSO

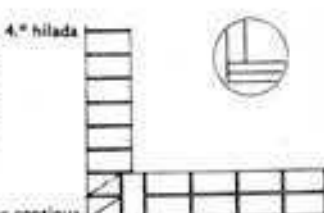
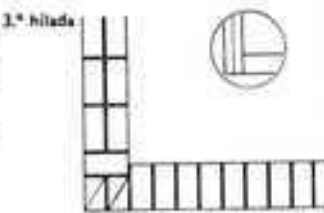
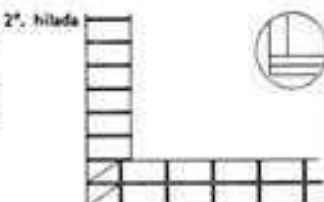
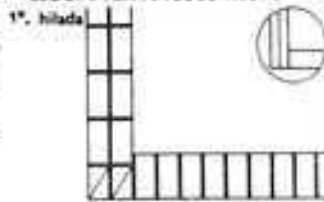


CRUCE DE PAREDES

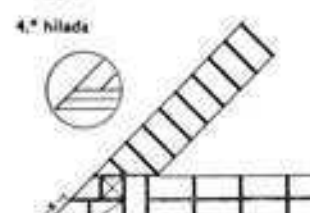
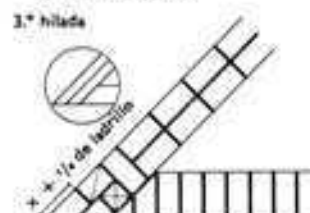
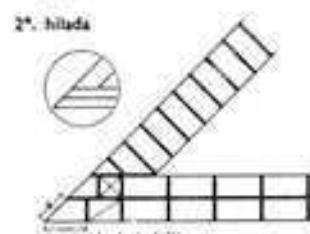
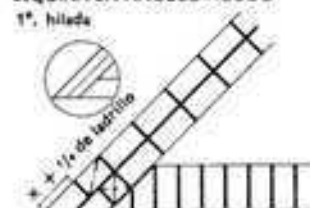


La hilada a soga es continua

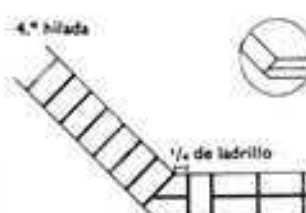
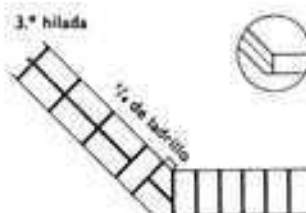
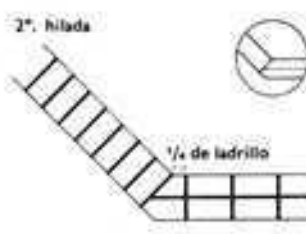
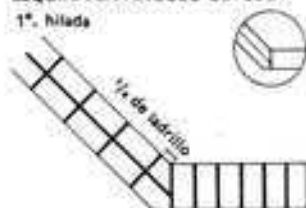
ESQUINA EN ÁNGULO RECTO



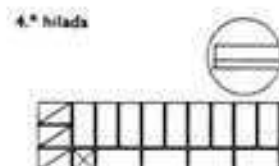
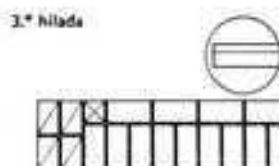
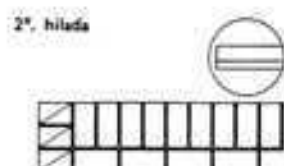
ESQUINA EN ÁNGULO AGUDO



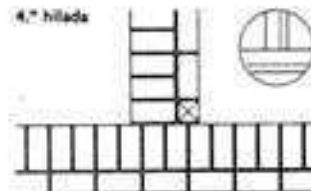
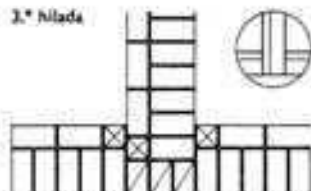
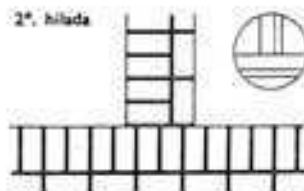
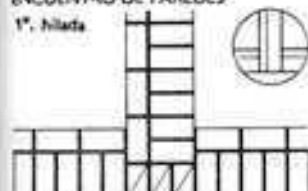
ESQUINA EN ÁNGULO OBTUSO



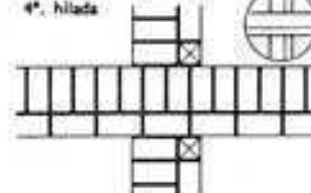
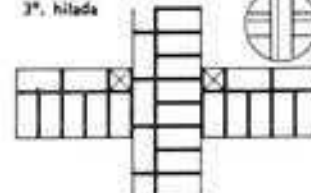
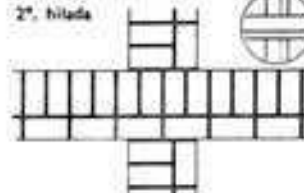
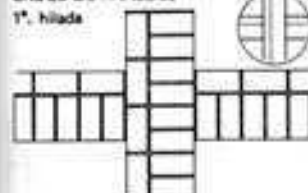
PAREDES DE ASTA Y MEDIA
EXTREMO DE PAREO



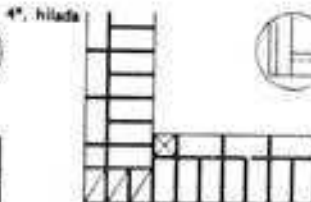
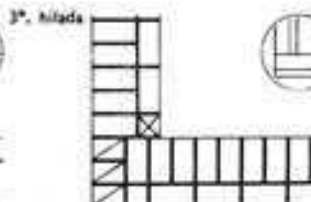
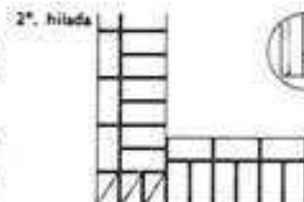
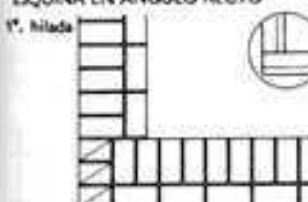
ENCUENTRO DE PAREDES



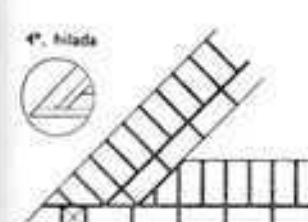
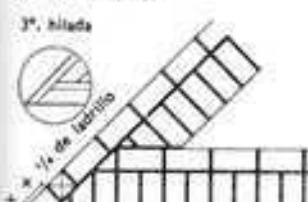
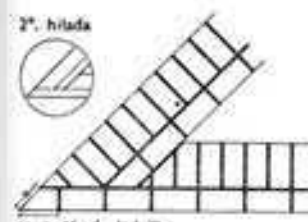
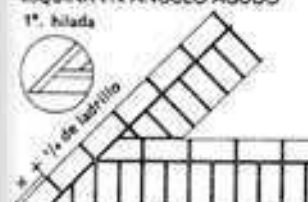
CRUCE DE PAREDES



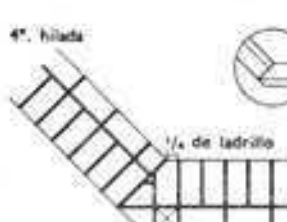
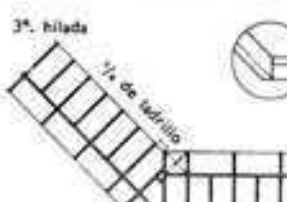
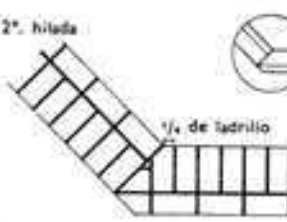
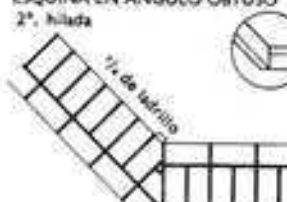
ESQUINA EN ÁNGULO RECTO



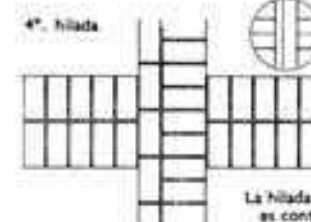
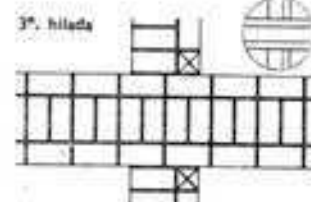
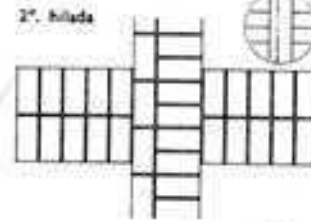
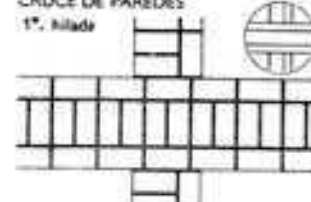
ESQUINA EN ÁNGULO AGUDO



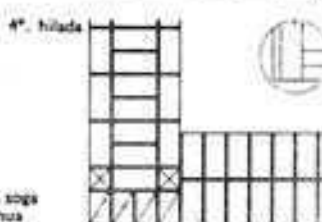
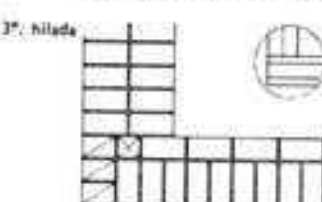
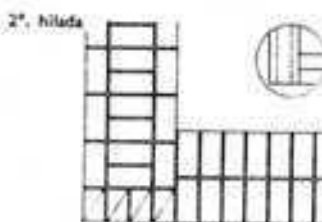
ESQUINA EN ÁNGULO OBTUSO



CRUCE DE PAREDES



ESQUINA EN ÁNGULO RECTO



La hilada a soga es continua

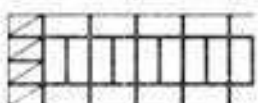
PAREDES DE DOBLE ASTA

EXTREMO DE PARED

1ª. hilada



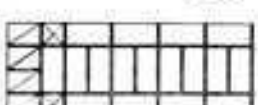
2ª. hilada



3ª. hilada



4ª. hilada

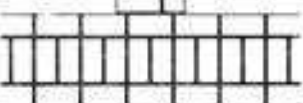


ENCUENTRO DE PAREDES

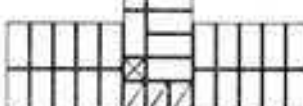
1ª. hilada



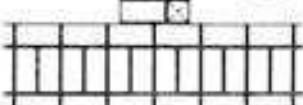
2ª. hilada



3ª. hilada



4ª. hilada

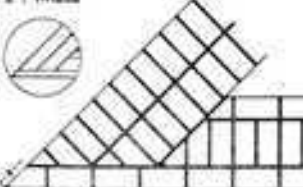


ESQUINA EN ÁNGULO AGUDO

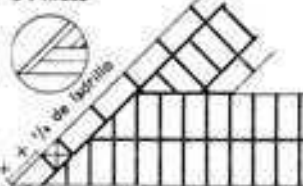
1ª. hilada



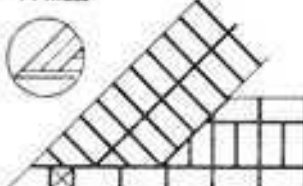
2ª. hilada



3ª. hilada

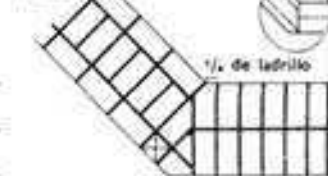


4ª. hilada

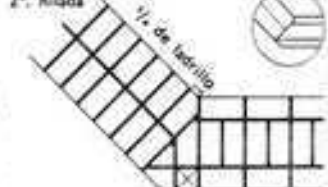


ESQUINA EN ÁNGULO OBTUSO

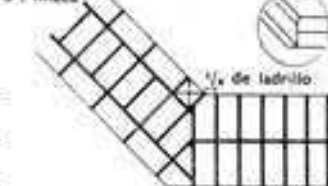
1ª. hilada



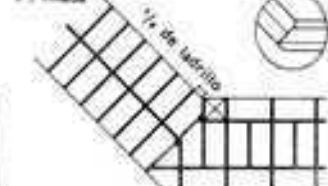
2ª. hilada



3ª. hilada



4ª. hilada

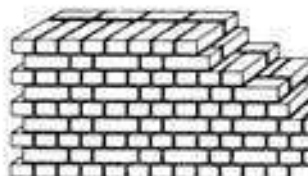


Aparejos históricos

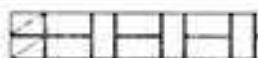
Estos aparejos no corresponden completamente a las reglas dadas. Con frecuencia las juntas se superponen. Por esta razón no alcanzan las fábricas así aparejadas tan altas resistencias como, p. ej., las que dan los aparejos inglés y belga que aparecieron después del Renacimiento. Por tal inconveniente, los tipos antiguos de aparejos actualmente sólo se emplean en paredes de relleno o de revestimiento.

Aparejo holandés o flamenco

Las hiladas de tizones son iguales que en el aparejo inglés o en el belga. En las hiladas a soga, se intercala un tizón entre cada dos ladrillos a soga. En paredes de asta y media hay que emplear muchas piezas de $\frac{3}{4}$ de ladrillo, lo cual ocasiona gran cantidad de desperdicio de obra. La abundancia de testeros en el paramento da una impresión de pobreza o mezquindad.



1ª. hilada

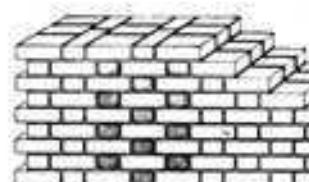


2ª. hilada

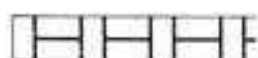


Aparejo gótico o polaco

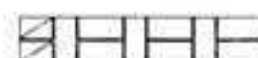
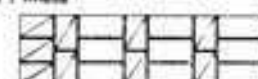
En todas las hiladas alternan constantemente sogas y tizones. Este aparejo ofrece diversas posibilidades de combinaciones ornamentales, especialmente si se emplean ladrillos de distintos colores.



1ª. hilada



2ª. hilada



Aparejo de la Marca o aparejo wendo

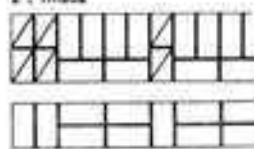
En todas las capas se colocan dos sogas seguidas y a continuación un tizón, repitiendo constantemente esta figura. El consu-



1ª. hilada



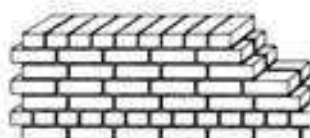
2ª. hilada



mo de piezas fraccionarias es menor que en el aparejo gótico. La abundancia de sogas da a sus paramentos un aspecto de grandiosidad.

Aparejo americano

En el aparejo americano, a cada tres o más hiladas de sogas se coloca una hilada de tizones. El dibujo de sus paramentos resul-



ta sugestivo y atrayente, por lo que es muy adecuado para revestimientos. El consumo de piezas fraccionadas es mínimo en este tipo de aparejo.

Aparejo rústico

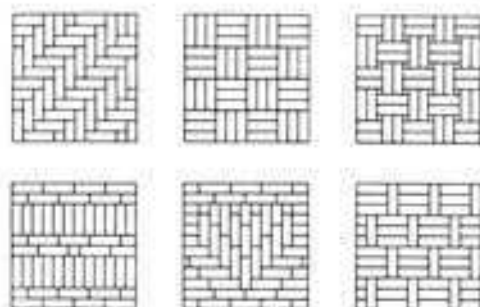
Los tizones y sogas alternando de forma irregular dan un paramento lleno de animación e inquietud. Fritz-Schumacher, por



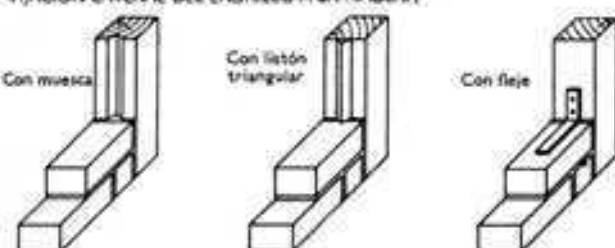
ejemplo, empleó este aparejo en los años 1913 a 1916 en el Museo Histórico de Hamburgo. El aparejo rústico sólo se emplea en casos especiales.

Aparejos ornamentales

Los entrepaños o forjados de ladrillo sin revocar de los edificios de entramado de madera, de hormigón armado o de acero, se aparejan en muchos casos según formas ornamentales o decorativas. La obra de fábrica tiene que ir bien sujeta a la armazón. Para los aparejos ornamentales solamente son adecuados tipos de ladrillos como p. ej. el antiguo ladrillo badense (de 27 x 13 x 6 cm), el ladrillo real bávaro (de 29 x 14 x 6,5 cm) y el nuevo tamaño normal (de 24 x 11,5 x 7,1 cm) con la relación de dimensiones 1:2:4. 3 hiladas + 2 juntas deben enrasar así con un ladrillo puesto verticalmente en el sentido de su longitud.



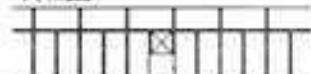
FIJACIÓN LATERAL DEL LADRILLO A LA MADERA



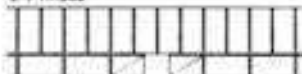
Rehundidos y ranuras en las paredes

Los rehundidos y ranuras en las paredes son rebajos o huecos dejados en la obra de fábrica. Los rehundidos se suelen dejar en las construcciones para encajar en ellos radiadores de calefacción, armarios empotrados, etc. En las ranuras suelen disponerse las tuberías de agua o de desagües o las de la calefacción. En los rehundidos y ranuras, el espesor de la pared remanente, la "pared de protección", debe ser por lo menos de media asta.

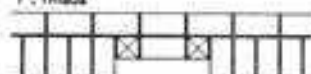
1ª. hilada



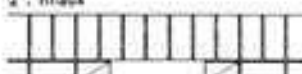
2ª. hilada



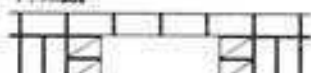
1ª. hilada



2ª. hilada



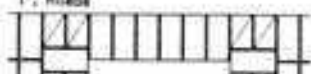
1ª. hilada



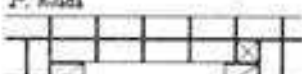
2ª. hilada



1ª. hilada



2ª. hilada



Con ladrillos de formato Reich (25 x 12 x 6,5)

0,14	0,27	0,40	0,53	0,66	0,79	0,92	1,05	1,18
------	------	------	------	------	------	------	------	------

Con ladrillos DIN 4172 (24 x 11,5 x 7,1)

0,135	0,26	0,385	0,51	0,635	0,76	0,885	1,01	1,135
-------	------	-------	------	-------	------	-------	------	-------

Medidas superiores a 1 m, con las mismas cifras decimales

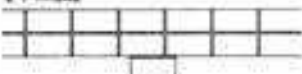
Resaltos en las paredes

Se entiende por resaltos en las paredes aquellas partes salientes de las mismas que sirven como refuerzo y animación de los paramentos (pilastras, machones) o que están destinadas a la absorción de mayores cargas aisladas (contrafuertes).

1ª. hilada



2ª. hilada



1ª. hilada



2ª. hilada



1ª. hilada



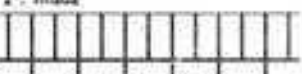
2ª. hilada



1ª. hilada



2ª. hilada



Con ladrillos de formato Reich (25 x 12 x 6,5)

0,25	0,38	0,51	0,64	0,77	0,90	1,03	1,16	1,29
------	------	------	------	------	------	------	------	------

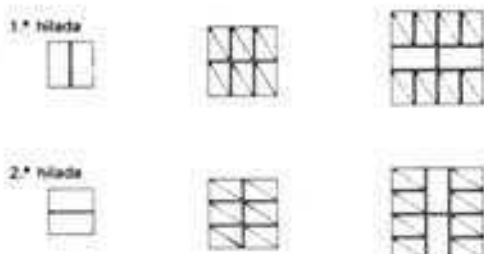
Con ladrillos DIN 4172 (24 x 11,5 x 7,1)

0,24	0,365	0,49	0,615	0,74	0,865	0,99	1,115	1,24
------	-------	------	-------	------	-------	------	-------	------

Medidas superiores a 1 m, con las mismas cifras decimales

Aparejo de pilares

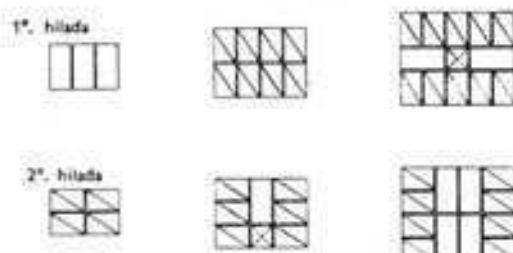
Los pilares cuadrados llevan en cada hilada el mismo aparejo, pero desplazándolo sucesivamente 90°.



Los pilares cuadrados de asta están hechos exclusivamente con ladrillos enteros.

Los pilares cuadrados de asta y media llevan en cada hilada 6 piezas de $\frac{3}{4}$ de ladrillo.

Los pilares cuadrados de 2 y 3 astas, si se respetan las reglas de buen aparejo llevan gran número de piezas de $\frac{3}{4}$ de ladrillo, por lo que dan lugar a gran desperdicio de obra.



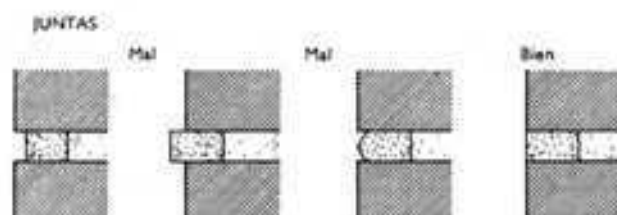
En los pilares rectangulares se consideran las dos caras estrechas como extremos de pared, colocando en ellos tantas piezas de $\frac{3}{4}$ de ladrillo como testeros deban aparecer en dichas caras estrechas, y se rellena el hueco sobrante intermedio con ladrillos enteros o medios ladrillos.

Rejuntado de la obra de fábrica

La obra de fábrica sin revocar, u obra vista, hecha de ladrillo inalterable a la intemperie, debe protegerse en sus juntas mediante un cuidadoso rejuntado. Al hacer el acabado de las juntas hay que tener presente que esa operación sólo obedece a una necesidad técnica. Los juegos o diversiones decorativas, como son el resalto o el rehundido de las juntas para lograr efectos de sombras, deben pasar a segundo plano a causa del peligro que reportan por las influencias atmosféricas. Lo mejor es la junta plana y enrasada con el paramento. Rechaza rápidamente el agua de lluvia e impide así la penetración de humedades en el cuerpo de la fábrica.

Al subir las paredes, lo mejor es emplear un mortero suficientemente espeso, dejar las juntas bien llenas y enrasarlas alisando el mortero sobre los ladrillos. A continuación se limpia con una astilla o regla de madera o con un estropajo mojado.

Si el rejuntado no se hace hasta más tarde, como ocurre en la mayoría de los casos en que se emplean ladrillos recochos o vitrificados, es necesario rascar y vaciar las juntas hasta unos 3 cm de profundidad para rellenarlas luego con mortero de cemento puzolánico o mortero de cemento adicionado con cal.

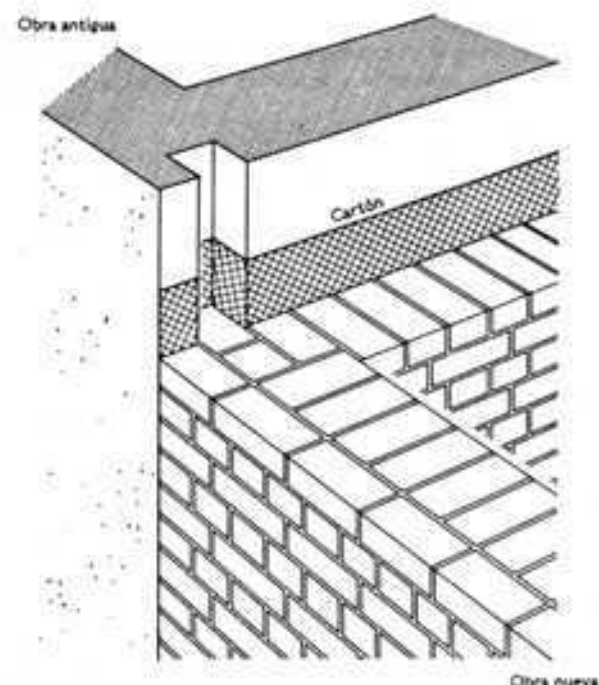


Tiene también importancia el color de los morteros. Un reticulado de juntas de color claro realza mucho la tonalidad de conjunto de la pared y le da un carácter amable. Sin embargo, el color de las juntas no debe contrastar con demasiada dureza con el tono del ladrillo. Cuando debido al uso de la cal gris o de una arena oscura se tropieza con dificultades para obtener juntas de color claro, puede recurrirse a adiciones de cemento blanco. El cemento gris ordinario, sobre todo si se emplea con arena oscura, da a las juntas un color gris sucio de aspecto desagradable.

Agregación de paredes a obras de fábrica ya existentes

Los escalonamientos en las paredes solamente deben dejarse cuando la parte de obra que habrá de enlazar con ellas se tenga que construir muy poco tiempo después y haya de tener poca altura.

Cuando se trata de paredes de mucha altura, cuyo escalonamiento iría demasiado lejos, se recurre al enlace por adarajas. Si hay que evitar la formación de grietas, hay que construir pronto la nueva obra de fábrica y ligar bien con mortero las adarajas de una y otra sección de la obra, a fin de evitar que puedan hacer asiento por separado.



Cuando hay que agregar una obra nueva a un edificio ya existente, hay que tener en cuenta que la obra nueva tendrá que hacer su asiento. Si se ligan ambas obras mediante adarajas, se producirán grietas. Con objeto de evitarlas se hace un rebajo o ranura vertical en el muro ya existente, de medio ladrillo de profundidad, y se engrana allí la obra nueva de manera que si se hace asiento pueda resbalar lo necesario.

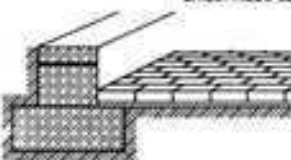
Pavimentos de ladrillo

Los ladrillos macizos también pueden ser empleados para la pavimentación. En bodegas de economatos, donde para la conservación en buen estado de productos naturales es conveniente una humedad moderada en el suelo, basta enladrillar éste con una solera de ladrillo de plano sobre una capa de arena.

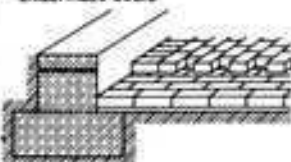
En el caso de cargas más importantes, en naves de fábricas, almacenes, etc., se coloca una doble capa de ladrillo de plano. En patios transitados por vehículos, pasajes, zaguanes o calles se coloca el ladrillo a sardinel, es decir de canto.

Los ladrillos deben colocarse sobre un lecho de arena seca de 15 cm de espesor cuidadosamente preparado.

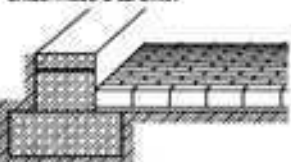
Enladrillado sencillo



Enladrillado doble



Enladrillado a sardinel



Las juntas pueden rellenarse o embeberse con un mortero muy fluido de cal pura o de cal y cemento. El terreno sobre el que hay que enladrillar debe previamente apisonarse bien.

Ventajas e inconvenientes de la obra de fábrica de ladrillo macizo.

Las paredes hechas con ladrillo macizo bien cocido son resistentes a la compresión y a la acción del fuego; son aislantes del sonido y poseen una buena capacidad para la acumulación del calor. Los ladrillos macizos se contraen o dilatan en medida insignificante y son suficientemente porosos para permitir el paso del aire indispensable para el fraguado del mortero. Su coeficiente de aislamiento térmico difiere apenas del correspondiente al mortero, como consecuencia de lo cual la fábrica de ladrillo macizo se comporta como un sólido homogéneo ante las fluctuaciones térmicas del medio ambiente.

Su masa y con ella su excelente acumulación térmica proporcionan una alta estabilidad de temperatura. Esto y su extraordinaria capacidad para equilibrar la humedad (después de evaporarse la humedad de la construcción) influyen sobre el clima interior de los locales de manera tan favorable como casi ningún otro material moderno de construcción.

Además del despilfarro de horas de trabajo que origina, la obra de fábrica de ladrillo macizo adolece de otros inconvenientes para nuestros actuales puntos de vista y necesidades.

Debido al gran número de juntas de mortero, los ladrillos macizos de pequeño tamaño aportan gran cantidad de humedad a la obra, lo cual agrega al ya largo período requerido por la lentitud de la construcción un prolongado plazo de desecación; en los climas nórdicos, ambos períodos pueden representar en conjunto dos años. Las viviendas de reciente construcción pecan siempre de húmedas y requieren para su completa desecación mucha calefacción y mucha ventilación.

El ladrillo macizo ocasiona elevados gastos de transporte por su mucho peso.

Además, es muy frecuente que la resistencia a la compresión de la fábrica de ladrillo macizo no se utilice totalmente, de manera que en este aspecto hay un cierto despilfarro de material.

Así por ejemplo, en la construcción de casas pequeñas la protección térmica exige espesores de paredes que representan un gran exceso sobre lo que sería necesario para la resistencia a la compresión, por lo cual ha de considerarse como un sistema antieconómico de construcción. Incluso en los edificios de varios pisos para viviendas, la resistencia del ladrillo a la compresión no es totalmente aprovechada en la mayoría de los casos.

A pesar de sus indiscutibles ventajas constructivas, después de la segunda guerra mundial el ladrillo macizo fue sustituido casi del todo por motivos económicos, por los ladrillos huecos y otros elementos de construcción ligeros.

Ladrillos huecos y perforados

Para los ladrillos huecos y perforados rige la norma DIN 105. En la revisión de esta hoja de normas efectuada en 1952 están agrupados los ladrillos macizos y huecos, en contra de lo que antes se había hecho. Se llaman ladrillos huecos o perforados aquellas piezas cerámicas que llevan perforaciones u oquedades practicadas en sentido perpendicular a una cara o superficie de las que delimitan la pieza y la atraviesan totalmente, hasta la

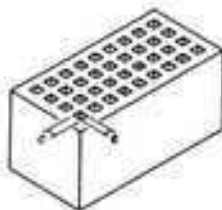
cara opuesta, alcanzando la sección total de tales perforaciones más de un 15% de la superficie total en que desembocan. Estas perforaciones deben estar repartidas lo más uniformemente posible en la cara perforada; la forma de su sección puede ser cualquiera. Por sus resistencias a la compresión, que van de 60 a 350 kg/cm², los ladrillos huecos tienen un campo de aplicación igual al de los ladrillos macizos.

Se distinguen dos clases: Los de perforaciones verticales y los de perforaciones longitudinales.

Ladrillos con perforaciones verticales

Estos ladrillos, que son los llamados propiamente perforados, tienen los orificios o perforaciones perpendiculares a sus caras de asiento. Se clasifican, según las dimensiones de dichos orificios, en:

Ladrillos con perforaciones verticales A, con muchos orificios pequeños y tabiques de escaso espesor (denominaciones antiguas: ladrillos de panal, ladrillos de orificios múltiples, ladrillos celulares).

Ladrillo perforado A:
huecos verticales

(Ejemplo)

$$c \times e \leq 2,5 \text{ cm}^2$$

(por lo menos 36 huecos)

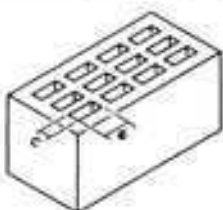
Suma de las secciones de los orificios: $\geq 15\%$ de la superficie de asiento.

Sección de un orificio: $\leq 2,5 \text{ cm}^2$

Número de orificios: ≥ 13 en 100 cm², o bien

≥ 36 para una superficie de 24 x 11,5 cm

Ladrillos con perforaciones verticales B, con un reducido número de orificios y con tabiques gruesos.

Ladrillo perforado B:
huecos verticales

(Ejemplo)

$$c \leq 15 \text{ mm}$$

$$c \times e \leq 6 \text{ cm}^2$$

(por lo menos 12 huecos)

Suma de las secciones de los orificios: $\geq 15\%$ de la superficie de asiento.

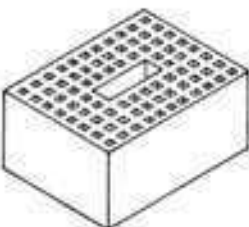
Sección de un orificio: $\leq 6 \text{ cm}^2$

Número de orificios: ≥ 5 en 100 cm², o bien

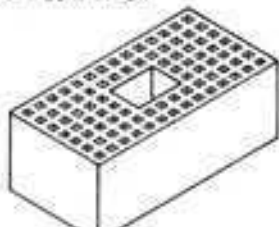
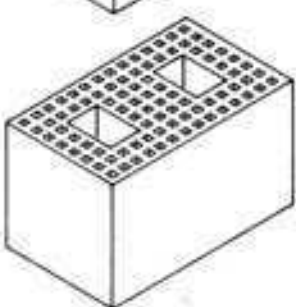
para una superficie de 24 x 11,5 cm

TAMAÑOS ESPECIALES

Ladrillo perforado 2 1/4 FN (3FD)

Lhv A o Lhv B
17 x 24 x 11 cm

Ladrillo perforado

Lhv A o Lhv B 2,3 FN
14 x 30 x 11 cmLadrillo
de grandes dimensionesLadrillo perforado
Lhv A o Lhv B 5,7 FN
24 x 30 x 17 cm

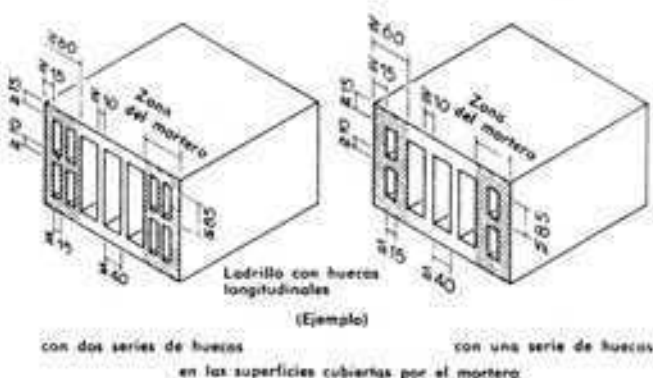
Los ladrillos con perforaciones verticales se fabrican con los tamaños preferentes (DIN 105) y para obra de fábrica de 24 cm de espesor se hacen también con las dimensiones de 24x24x11,3 cm.

Para obra de 30 cm de espesor se emplea el ladrillo perforado de 17,5 cm de largo y de 11,5 de anchura [17,5 cm + 1,0 cm (junta) + 11,5 cm = 30 cm].

Ladrillos huecos con perforaciones longitudinales

Son ladrillos con orificios o perforaciones paralelas a las superficies o caras de asiento.

En la parte de la superficie de testa que cubre el mortero, la anchura de las ranuras o perforaciones puede tener hasta 15 mm, y si son de sección circular, su diámetro no debe pasar de 20 mm. Estas zonas, cubiertas por el mortero en las juntas verticales, tienen por lo menos 6 cm de ancho.



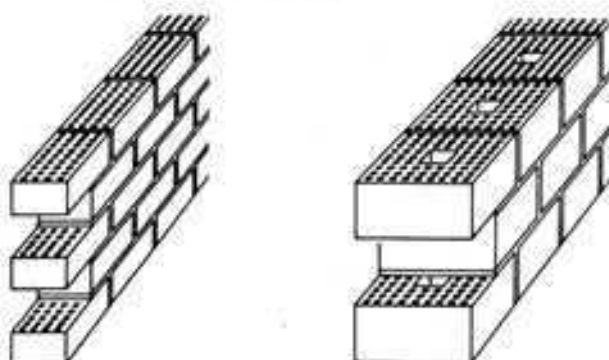
Los ladrillos huecos con perforaciones longitudinales se fabrican, lo mismo que los ladrillos con perforaciones verticales, con los tamaños preferentes (DIN 105) y, para las paredes de 24 cm de espesor se hacen con las dimensiones 24 x 24 x 11,3 cm. Como los ladrillos con huecos longitudinales sólo pueden emplearse en el aparejo a soga, y como debido a los huecos paralelos a las caras de apoyo ofrecen una estructura menos rígida y con ello una menor resistencia a la compresión, estos ladrillos no han podido ser preferidos con respecto a los ladrillos huecos con perforaciones verticales.

Ejecución de la obra de fábrica de ladrillo hueco o perforado

Los ladrillos de pequeño tamaño con orificios verticales (24 x 11,5 x 7,1 cm) se colocan en obra de la misma manera y con iguales aparejos que los ladrillos macizos. Los ladrillos de anchuras 11,5 y 17,5 cm con orificios verticales se usan colocándolos unos junto a otros para levantar paredes de 30 cm de espesor. Los ladrillos se desplazan a cada hilada media longitud, con el fin de romper la continuidad de las líneas de juntas verticales. El aparejo transversal de la pared resulta deficiente de todos modos, porque los ladrillos, en sentido transversal, tienen escasa trabazón.

Los grandes ladrillos con perforaciones verticales de 24 cm de anchura, destinados a paredes de asta y de asta y media, tienen un agujero en el centro para poderlos manejar mejor.

LADRILLOS DE HUECOS VERTICALES

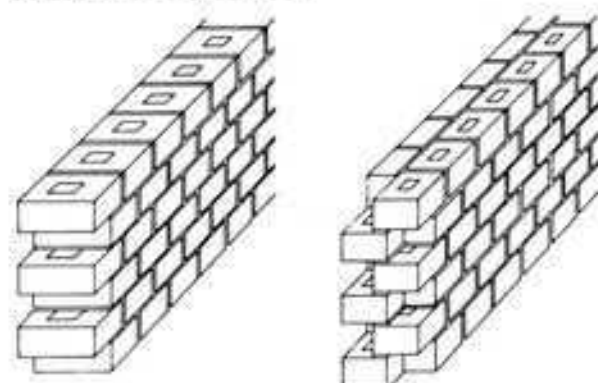


Ladrillos de 11,5 cm de anchura en aparejo a soga

Ladrillo de 24 cm de anchura con gran agujero central para manejarlo con facilidad

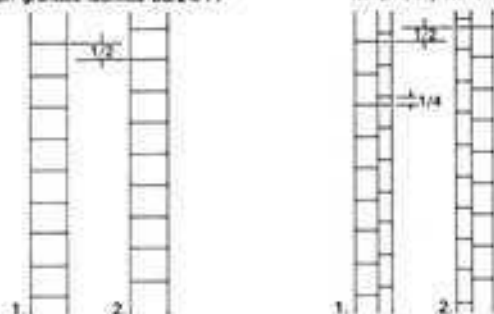
En las paredes de 17,5 cm de espesor o más delgadas, hechas con ladrillo hueco, no son admisibles los rehundidos o nichos. En las paredes de mayor espesor son sólo admisibles rehundidos verticales hasta de 3 cm profundidad.

Obra de fábrica de 30 cm de espesor



Con grandes ladrillos 30/24/11,3

NF 2 1/4 y NF 1 1/2



Ventajas e inconvenientes de la obra de fábrica de ladrillo hueco

Las imperfecciones técnicas y económicas de los ladrillos macizos indujeron a la producción y perfeccionamiento del ladrillo hueco. Sus ventajas respecto del ladrillo macizo son las siguientes:

El aire confinado en las celdas huecas del ladrillo aumenta el poder aislante de la obra de fábrica, de manera que el espesor normal de las paredes exteriores de ladrillo de asta y media puede ser reducida a un asta.

Los huecos disminuyen el peso del ladrillo, cosa que permite la fabricación de tamaños mayores. Los ladrillos de tamaño grande proporcionan una economía de tiempo, de mano de obra y de mortero, lo que en último término conduce a un abaratamiento del coste de producción. Además, se reduce el número de juntas, con lo cual disminuye la humedad de construcción y se abrevia el período de desecación. Al fabricar los ladrillos huecos se consigue, a causa de las celdas vacías, mejor aprovechamiento de la primera materia, la desecación se acelera y el pro-

caso de cocción se acorta (economía de carbón) y, finalmente, se disminuyen los pesos que hay que transportar.

En los ladrillos grandes es un inconveniente el peso, que alcanza su límite al llegar a los 10 kg, pasado el cual ya no es posible colocar en obra los ladrillos con una sola mano. Además, trabajar todo el día con esa clase de ladrillos llega a fatigar al operario.

En paredes de poco espesor, que son las que permiten desplegar mayor eficacia aislante a los ladrillos huecos, subsiste el peligro de paso de la humedad, sobre todo si abundan las juntas sin romper por las que puede penetrar por capilaridad. Los huecos no ofrecen apenas resistencia al paso del vapor de agua y en el caso más frecuente de que el propio material del ladrillo no presenta tampoco una gran resistencia a la difusión de dicho vapor, puede afirmarse que la pérdida de presión parcial del vapor de agua (la "caída de presión") en el interior de pared es muy escasa. La acumulación de vapor de agua puede ser, pues, notable y en los meses fríos del año dar lugar a la formación de agua de condensación en el interior de las celdillas, para cuya absorción existe poco material de ladrillo a su alrededor, con lo cual la zona acuosa queda empapada y la pared pierde eficacia aislante. Por ello las paredes de ladrillo hueco necesitan un recubrimiento exterior que, junto a la protección contra la humedad de condensación atmosférica, ofrezca posibilidades de evaporación del agua eventualmente condensada en el interior. Esto puede conseguirse con un revoco adecuado, pero lo mejor es disponer de un tabique antepuesto "respirante". Si la capa exterior es impermeable hay que revocar apropiadamente la parte interior de la misma para multiplicar su resistencia a la difusión del vapor con una barrera contra éste. De todo ello se desprende que no puede aprovecharse la mayor capacidad aislante de la fábrica de ladrillo hueco para construir muros más delgados a causa del gran peligro que existe de penetración y formación de humedades. Si no se dispone de un revoco exterior apropiado, la capacidad aislante de la pared disminuye en seguida y aparecen en el enlucido interior las trazas reticulares del sistema de juntas.

Observaciones sobre la rentabilidad de la obra de fábrica

A través de la adopción de los formatos según la norma DIN 4172 —estandarización de la construcción— así como a través del estudio de piezas de formato complementario, se ha tratado de perfeccionar y simplificar la utilización del ladrillo y de conseguir mayor economía en la construcción de muros levantados con mortero aplicado a mano pieza por pieza. Este progreso queda limitado por la manufactura artesanal de las piezas y la productividad del albañil que no puede manejar más que ladrillos de formato $2 \frac{1}{4}$ veces el formato normal ($2 \frac{1}{4} FN = 24 \times 17,5 \times 11,3$ cm, con un peso de ≈ 7 kg). El estudio teórico de cómo aumentar la rentabilidad de la construcción de muros, no ha originado la revisión de las reglas del oficio tradicionalmente transmitido en el aprendizaje, que ya tiempo atrás fueron puestas en tela de juicio y señaladas como puntos a someter a revisión.

Influencia sobre las reglas de aparejo

El Prof. Georg Staufenbiel dio algunas indicaciones básicas a tener en cuenta para que la ejecución del aparejo de ladrillo resulte económica a saber:

1. El muro debe aparejarse de manera que en él se empleen un número mínimo de ladrillos.
2. El aparejo debe ser tal que en los finales de hilada se utilicen, si resulta inevitable, piezas de medio o cuarto de ladrillo, pero en un mínimo de casos se recorra a las de tres cuartos.
3. En lo posible, debe descargarse al albañil operario de la responsabilidad y vigilancia del proceso general del aparejo.
4. Cuantos menos formatos se utilizan en un aparejo, más económica es su construcción.

Según la norma DIN 1053: "Hay que aparejar la fábrica de ladrillo de modo que las hiladas superpuestas rompan juntas con sus

inferiores. Podrá tolerarse un solape menor cuando se trate de aparejos suficientemente conocidos". Los aparejos "teóricos" que se señalan para finales de muro, ángulos, entregas y cruces, en los que se atiende cuidadosamente al problema de cubrir juntas, requieren tal cantidad y variedad de piezas fraccionarias que en muchos casos no pueden llevarse a cabo.

Desde el punto de vista estático hay pues que prestar atención a la posible pérdida de solidez del muro ocasionada por una junta continua en toda la altura de un piso, por ejemplo, que obligaría a limitar los esfuerzos a que dicho muro puede someterse, pues to que:

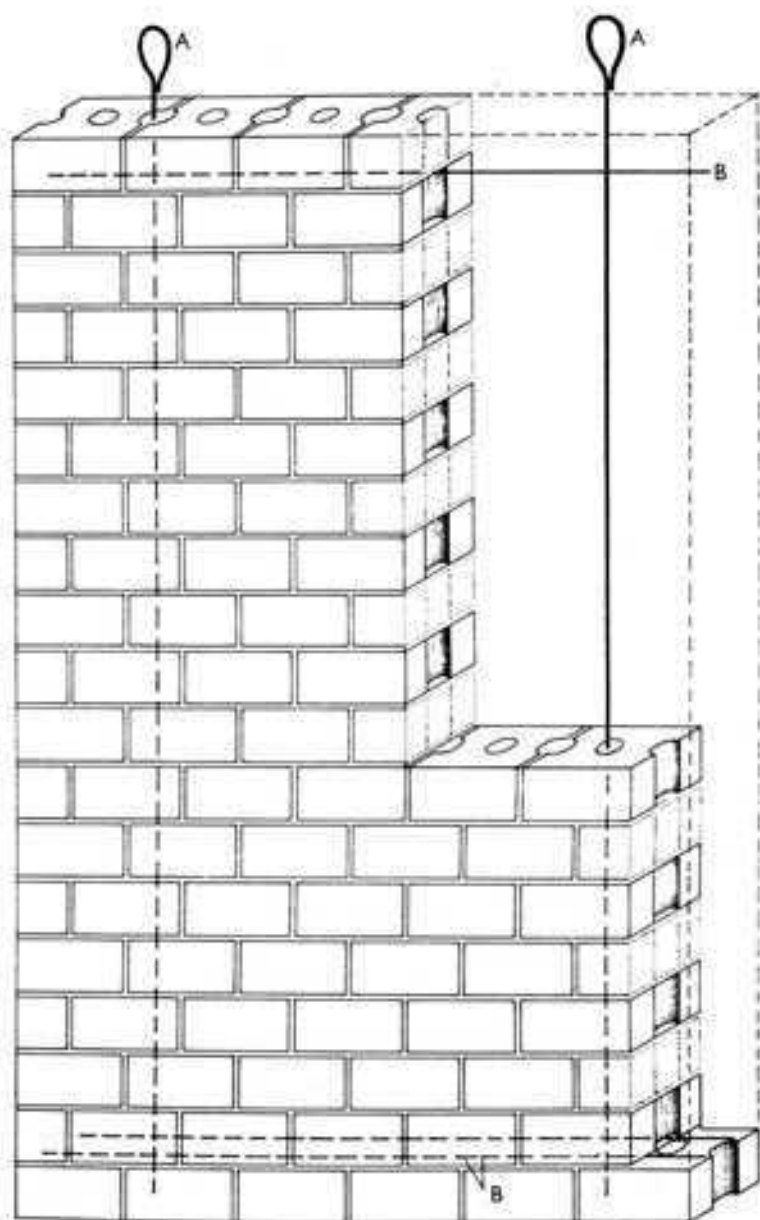
- Los finales o testers de los muros sobre los que descansa un dintel están muy sobrecargados. En ellos se requiere pues un aparejo impecable, en especial pilares que separan aberturas.
- Los ángulos y entregas requieren, por lo menos, un aparejo "teórico" o normativo para que puedan hacer frente, tanto a las cargas estáticas como a los asentamientos y a las distintas sollicitaciones horizontales que arriostan el edificio.

Si se utiliza la fábrica de ladrillo en casas de muchos pisos trabajando al límite de su resistencia, deben evitarse los ladrillos fraccionados —como se ha indicado antes— y no puede prescindirse de los aparejos teóricos. Pero en los casos extremos, como torres o edificios singulares para viviendas, ni siquiera los aparejos especiales meticulosamente concebidos bastan, y no queda más remedio que utilizar piezas prefabricadas. Cabe citar aquí los trabajos realizados por P. Haller sobre utilización del ladrillo en la construcción de bloques altos de vivienda (véase pág. 386).

Paredes prefabricadas de ladrillo

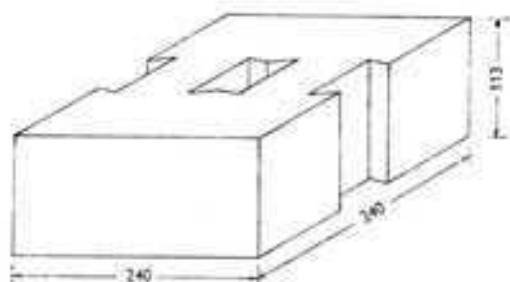
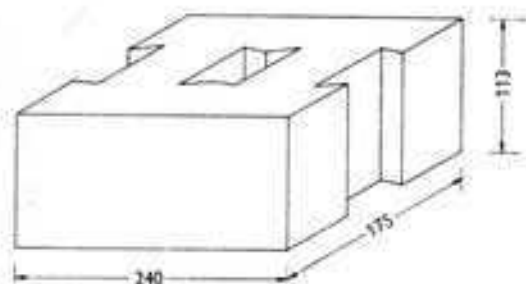
Los muros de ladrillo, incluso aplicando las reglas de simplificación aducidas por Staufenbiel no presentan posibilidades de ser utilizados en el futuro (falta de aprendices). Los fabricantes de ladrillos se preocupan pues, desde hace tiempo, de lograr elementos completos prefabricados a base de ladrillo. Cabe esperar, a través de dichos esfuerzos, que este material de tan larga y probada eficacia siga estando presente en las técnicas constructivas de la Era Industrial. En la actualidad se fabrican elementos de pared juntando en la factoría, con mortero, bloques huecos de cerámica hasta formar paneles de 1,25 m de ancho por 2,50 o 3 m de alto y se recubren con un primer revoco, para su suministro a la obra. Los gruesos ordinarios sin contar el revoco son: 11,5, 17,5, 24 y 30 cm. Entre otros elementos estándares hay que citar el medio panel de 62,5 cm de ancho, así como los tableros de enrase de 50, 75 y 100 cm y los elementos de antepecho. El volumen estándar, que es el del panel de 1,25 m de ancho por 30 cm de grueso, no sobrepasa el peso de 1,5 ton, de modo que permite un fácil transporte con remolque o volquete y una puesta en obra con una grúa normal. Los paneles se unen, como las paredes de tres capas, hormigonándolos por los bordes, para lo cual se pasan unos hierros a través de unas asas que sobresalen de la armadura horizontal. Se rellenan con hormigón las ranuras en forma de canal semicircular que discurren a través del panel. Otros dos redondos verticales que rodean el panel por los costados y por debajo y se anudan formando un gancho por arriba, sirven para sujetarlo a la grúa al levantarlo para su colocación. Los huecos continuos verticales que ofrecen las piezas por su interior son una excelente ubicación para las tuberías y conductos de las instalaciones. Tan sólo hay que practicar las aberturas de conexión. En combinación con los paneles de pared se suministran forjados de pisos cuyo peso es también inferior a 1,5 ton por elementos.

Las ventajas de este procedimiento radican, aparte del material empleado, en la puesta en obra prácticamente en seco, en la gran libertad que ofrece la gama de paneles para el diseño, así como en la facilidad de montaje y acabado. Resulta apropiado tanto para obras de importancia como para proyectos menores —y por ello igual puede utilizarse una empresa constructora mediana o pequeña—, ya sea para edificios de varias plantas o para edificios en planta baja, porque no se requieren grandes series como sucede en otros sistemas de montaje con paredes y techos prefabricados.



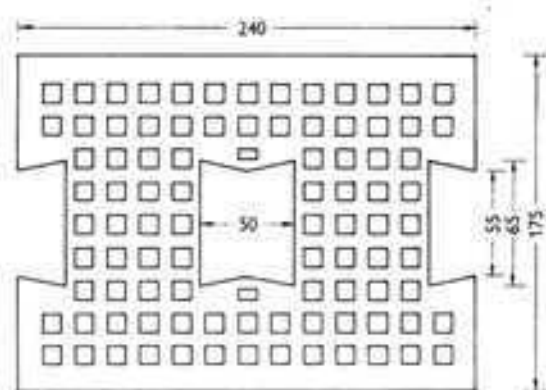
Croquis sistemático de un panel de pared
incluida la armadura de transporte

PROCEDIMIENTO DE MONTAJE

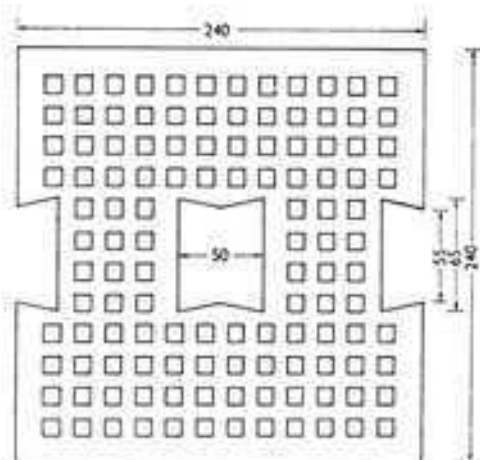


Los ladrillos empleados cumplen por sus dimensiones con las disposiciones de DIN 105. En lugar de las ranuras para asirlos, están dispuestas unas entalladuras que forman después, a lo largo del panel de pared, unos canales continuos. En estos canales se coloca por ejemplo la armadura de suspensión.

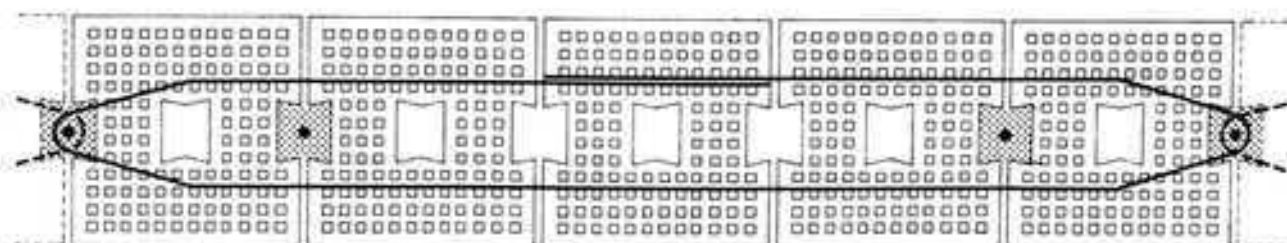
Reproducciones de Ziegler 1969/1970. Construcción por montaje de paredes de ladrillos según el sistema Bott.



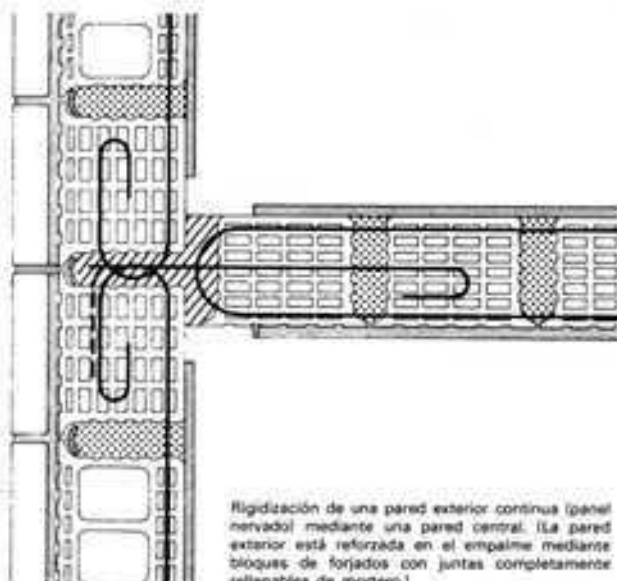
Ladrillo de 240 x 240 x 113, sistema Bott



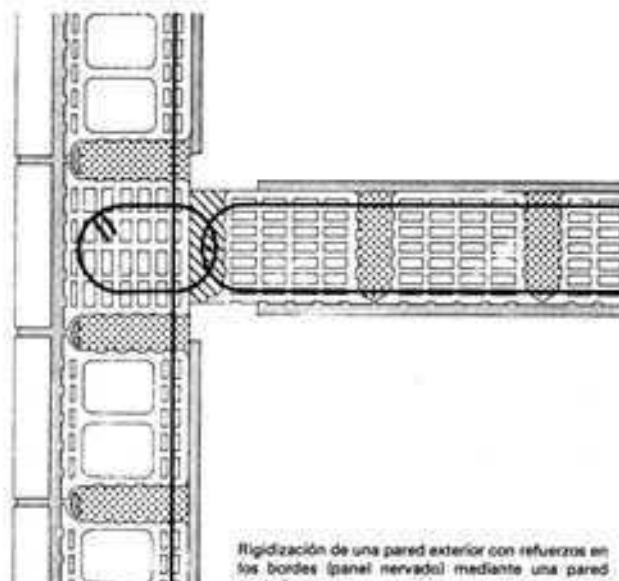
Ladrillo de 240 x 175 x 113, sistema Bott



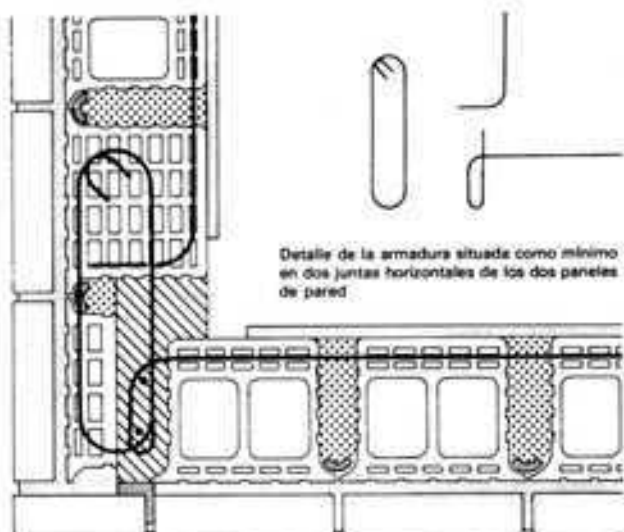
Panel normal con juntas laterales sistema Bott



Rigidización de una pared exterior continua (panel nervado) mediante una pared central. (La pared exterior está reforzada en el empalme mediante bloques de forjados con juntas completamente rellenas de mortero.)

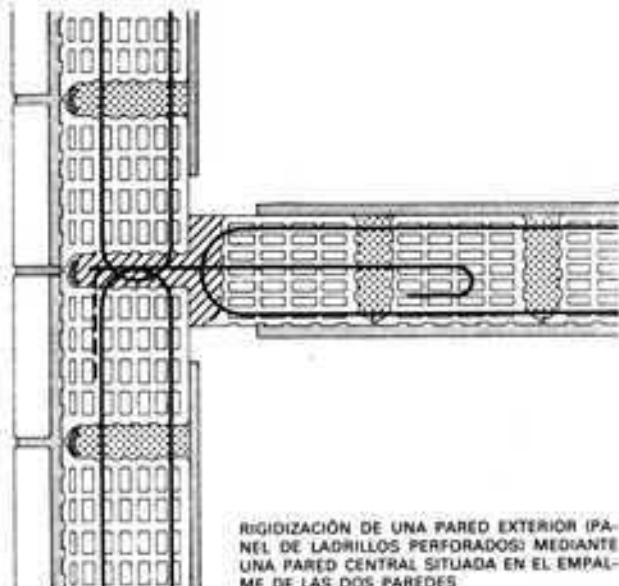


Rigidización de una pared exterior con refuerzos en los bordes (panel nervado) mediante una pared central



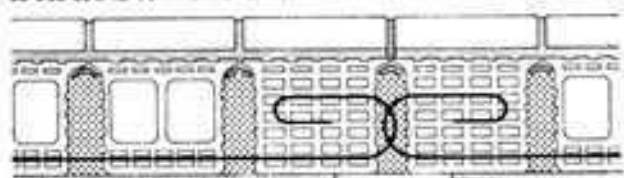
Detalle de la armadura situada como mínimo en dos juntas horizontales de los dos paneles de pared

EJECUCIÓN DE LA UNIÓN ANGULAR ENTRE DOS PAREDES EXTERIORES, QUE SE DAN RIGIDEZ MUTUAMENTE (PANELES NERVADOS)

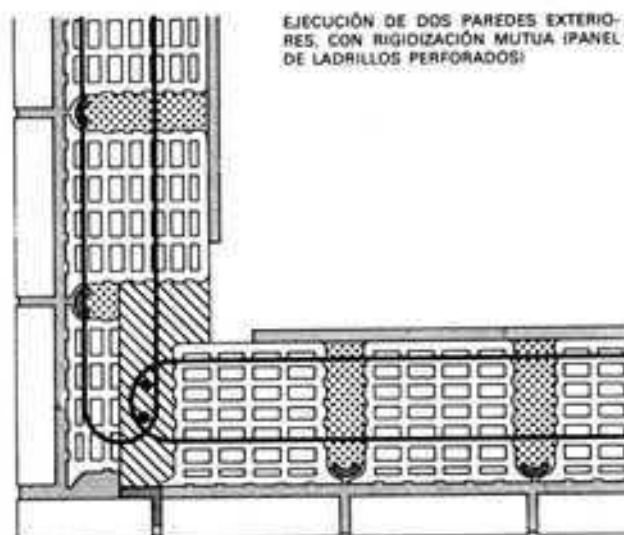


RIGIDIZACIÓN DE UNA PARED EXTERIOR (PANEL DE LADRILLOS PERFORADOS) MEDIANTE UNA PARED CENTRAL SITUADA EN EL EMPALME DE LAS DOS PAREDES

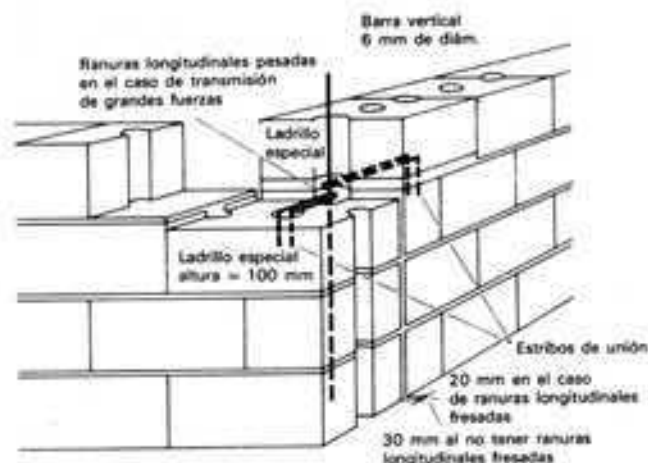
UNIÓN RESISTENTE AL DESLIZAMIENTO ENTRE PANELES PARA PAREDES EXTERIORES CUYO ANCHO ES MENOR QUE EL DEL LOCAL, CON REFUERZOS (PANEL NERVADO)



RIGIDIZACIÓN DE UNA PARED EXTERIOR CONTINUA (PANEL DE LADRILLOS PERFORADOS) MEDIANTE UNA PARED CENTRAL

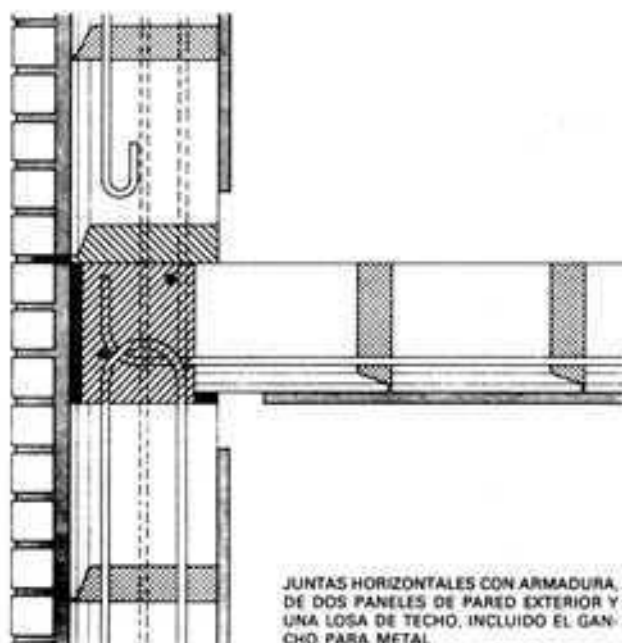
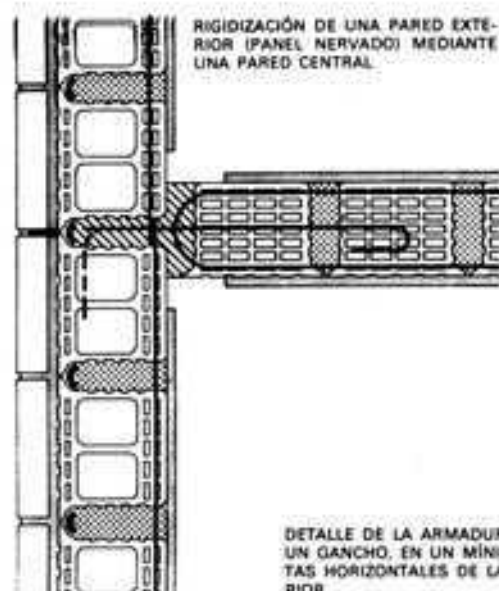


EJECUCIÓN DE DOS PAREDES EXTERIORES, CON RIGIDIZACIÓN MUTUA (PANEL DE LADRILLOS PERFORADOS)

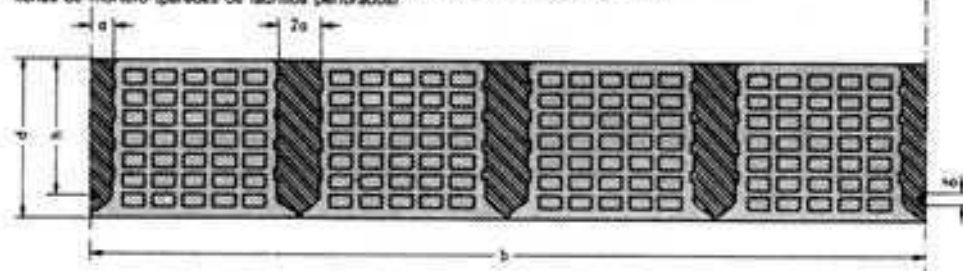


En las uniones angulares y en las juntas con paredes intermedias se disponen estribos adecuados y ladrillos especiales, igual que en las uniones rectas de elementos de pared

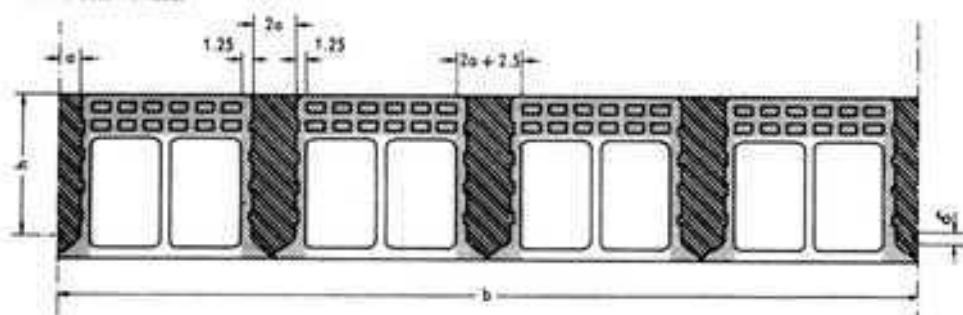
UNIONES ENTRE PAREDES DE LADRILLOS EN ESQUINAS Y PUNTOS DE ENLACE CON PAREDES INTERMEDIAS



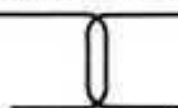
Sección útil a compresión, para paredes de ladrillo perforado, con juntas completamente llenas de mortero (paredes de ladrillos perforados)



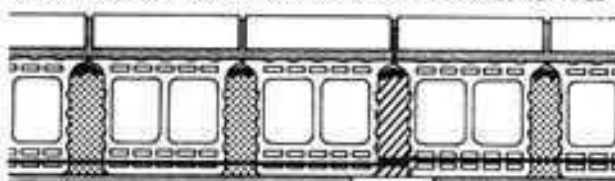
Sección útil a compresión, para paredes de ladrillo con juntas parcialmente llenas de mortero (losa nervada)



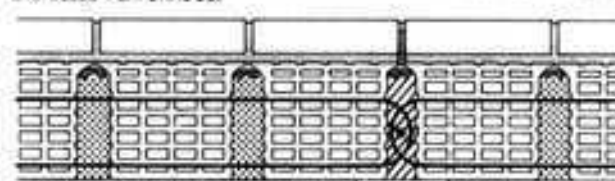
UNIÓN ARMADA Y RESISTENTE AL DESLIZAMIENTO DE PANELES DE PARED EXTERIOR CON UN ANCHO MENOR QUE EL DE UN LOCAL (LOSA NERVADA)



DETALLE DE LA ARMADURA FORMANDO UN GANCHO Y DISPUESTO EN UN MÍNIMO DE 2 JUNTAS HORIZONTALES DE LOS DOS PANELES DE PARED



UNIÓN ARMADA Y RESISTENTE AL DESLIZAMIENTO DE PANELES DE PARED EXTERIOR QUE TIENEN UN ANCHO MENOR QUE EL DEL LOCAL (PANEL DE LADRILLOS PERFORADOS)



Espesor de pared cm	Dimensiones de los ladrillos cm			Material necesario por m ²			Carga de cálculo incluido el revoque* (kg/m ²) según DIN 1055	Material necesario por m ²			Carga de cálculo sin revoque (kg/m ²) según DIN 1055	Resistencia térmica 1/f = m ² h°/kcal	Coeficiente de transmisión calorífica R = kcal/m ² h°
	L	B	H	Ladrillos unidades	Mortero L	Horas de trabajo		Ladrillos unidades	Mortero L	Horas de trabajo**			
30	24	30	23,8	13	19	0,90	387	53	87	2,9	1000	1,25	0,70
30	24	30	11,3	33	50	1,0	387	107	149	3,0	1000	1,25	0,70
24	30	24	23,8	16	26	0,7	307	54	79	2,9	1000	0,96	0,84
24	30	24	11,3	27	35	0,8	307	113	146	3,3	1000	0,96	0,84

Resistencia a la compresión según DIN 105 = 100 kg/cm²

*Incluido el enlucido exterior 2 cm interior 1,5 cm

Coeficiente de conductibilidad calorífica λ según DIN 52612 = 0,25 kcal/m h°

** Valores empíricos

Peso específico aparente = 0,8 kg/dm³ = peso de carga

Planchas para paredes divisorias y tabiques PORENTON no sustentantes según DIN 18505

Espesor de pared cm	Dimensiones de los ladrillos cm			Material necesario por m ²			Carga de cálculo incluido el revoque* (kg/m ²) según DIN 1055	Material necesario por m ²			Resistencia térmica 1/f = m ² h°/kcal	Coeficiente de transmisión calorífica R = kcal/m ² h°
	L	B	H	Ladrillos unidades	Mortero L	Horas de trabajo**		Ladrillos unidades	Mortero L	Horas de trabajo**		
8	32	8	24	12	6	0,6	116	150	78	7,5	0,35	1,60
10	32	10	24	12	8	0,6	136	120	78	6,0	0,43	1,41
12	32	12	24	12	9	0,65	156	100	79	5,1	0,51	1,2

Resistencia a la compresión según DIN 18505 = 25 kg/cm²

*Incluidos enlucidos en las dos caras, de 1 cm cada uno

** Valores empíricos

Coeficiente de conductibilidad calorífica λ según DIN 52612 = 0,35 kcal/m h°

Peso específico aparente = 0,8 kg/dm³ = peso carga

Ladrillos ligeros

El material llamado "porenton" es un perfeccionamiento del ladrillo cocido. Se mezcla la materia prima con elementos combustibles para conseguir cierta porosidad, con lo que el ladrillo cocido tiene menor peso y mejores propiedades de elaboración y aislamiento térmico.

Los ladrillos con densidades aparentes comprendidas entre 0,4 y 0,8 kg/dm³ se definen según DIN 305 como ladrillos ligeros. Se llaman también ladrillos porosos; pueden fabricarse en forma de ladrillos macizos o de ladrillos huecos y emplearse tanto en obras de fábrica con carga como en obras sin carga. Su resistencia a la compresión varía desde 25 kg/cm² hasta 350 kg/cm². Su menor peso en comparación con los ladrillos normales permite fabricar piezas de mayor tamaño que pueden colocarse con una o dos manos, con lo que se aumenta el rendimiento del trabajo. Aparte de estos bloques grandes se fabrican piezas complementarias para esquinas y extremos de paredes, que posibilitan un aparejo según la ordenación de medidas, sin ninguna necesidad de partir las piezas normales.

Este material poroso es fácil de aserrar, clavar y fresar. No experimenta contracción posterior y ofrece, por su superficie también porosa, buena adherencia con el revoque.

Obra de fábrica hecha con ladrillos aglomerados

Los ladrillos aglomerados están fabricados a base de aglomerantes y áridos.

Ladrillos de cal y arena

El material

Los ladrillos de cal y arena según DIN 106, llamados también "silicocalcáreos", son ladrillos para albañilería que se moldean a base de cal y áridos; predominantemente cuarzosos, mezclados íntimamente y endurecidos por la acción del vapor a presión. Es admisible la adición de activadores (aditivos).

Los ladrillos de cal y arena se distinguen por la posibilidad de fabricarlos de forma y medidas especialmente exactas. Por esto se emplean cada vez más para paredes de ladrillo visto, tanto interiores como exteriores.

Por su gran resistencia a la compresión, en la actualidad hasta de 350 kg/cm², en preparación hasta de 750 kg/cm², son muy apropiados para elementos de carga en la construcción de edificios elevados.

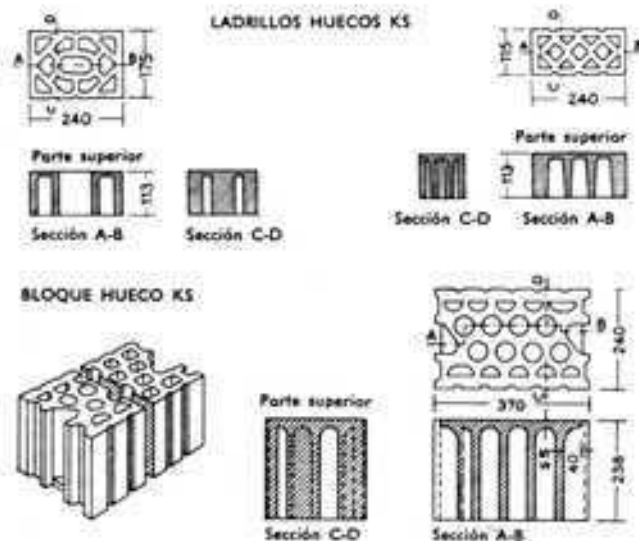
Pero a causa de sus buenas cualidades físicas —gran aislamiento acústico, almacenamiento de calor, respiración— los ladrillos de

cal y arena se emplean también cada vez más para el relleno de los vanos de las estructuras con entramado de acero o de hormigón armado, formando paredes interiores o exteriores no sustentantes, en escuelas, hospitales, edificios administrativos y construcciones análogas.

Ladrillo de cal y arena (KS) según DIN 106

Sobre las calidades y formatos de los ladrillos de cal y arena, que pueden suministrarse en cada localidad con sus diferentes propiedades, darán información las fábricas de ladrillo de cal y arena, las oficinas consultivas y los distribuidores y vendedores de tal clase de ladrillos.

- 1.1. Los ladrillos de cal y arena macizos (KSV) con ladrillos cuya sección transversal puede ser reducida hasta en un 25% de la superficie de asiento mediante perforaciones u orificios verticales (perpendiculares a aquella superficie).
- 1.2. Los ladrillos de cal y arena perforados (KSL) son ladrillos cerrados por cinco de sus caras (prescindiendo de los huecos continuos que facilitan el agarrarlos), con perforaciones perpendiculares a su superficie de asiento.
- 1.3. Los bloques huecos de cal y arena (KSHBL) son piezas de gran formato, cerradas por cinco de sus caras, con huecos perpendiculares a su cara de asiento.
- 1.4. Los ladrillos de cal y arena para revestimientos (VKSV/VKSL) son ladrillos resistentes a las heladas que se emplean en la fábrica de ladrillo visto y en revestimientos.



Forma y disposición de las perforaciones

Las perforaciones deben estar repartidas uniformemente por lo menos en tres filas, el tresbolillo. La sección transversal de cada una de las perforaciones cerradas por arriba puede ser de hasta 10 cm². Los ladrillos de cal y arena perforados de un grueso mayor que los del tipo 2 DF deben tener huecos que faciliten el agarrarlos; los bloques de cal y arena pueden tener en sus testas rebajos para facilitar el agarre y para el amorteramiento de las juntas verticales.

Ejecución de las obras de fábrica de ladrillo con ladrillos de cal y arena

En la ejecución de estas obras se aplica la norma DIN 1053: obras de fábrica, cálculo y ejecución.

Morteros para una fábrica de ladrillos de cal y arena resistente a las lluvias que inciden sobre ella

Para las paredes de fábrica de ladrillo con ladrillos de cal y arena expuestas a la acción de las lluvias se proponen las siguientes dosificaciones del mortero.

1	2	3	4	5	6	7
Grupo de morteros	Cal aérea y cal hidráulica Pasta de cal	Cal en polvo	Cal hidráulica	Cal eminentemente hidráulica. Aglomerantes para revocos y paredes	Cemento	Arena (arena natural)
II	1,5	2		1	1	8 8 3
Ila		1		2	1 1	6 8

Juntas de dilatación

En las paredes de una hoja, interiores y exteriores, deben disponerse juntas de dilatación a distancias convenientes.

En las paredes aisladas se dispone una junta de dilatación cada 6-8 m; en la zona de los desvanes, cada 4-6 m.

En las paredes de fábrica de ladrillos hechas con ladrillos de cal y arena, de dos hojas, según el tipo de pared son necesarias juntas de dilatación en la hoja de revestimiento a las distancias siguientes.

JUNTAS DE DILATACIÓN EN LAS PAREDES DE LADRILLOS DE CAL Y ARENA

Clase de paredes	Distancia entre las juntas de dilatación
De dos hojas sin cámara de aire	aprox. 6-12 m
De dos hojas con cámara de aire	aprox. 6-8 m
Con aislante granular	aprox. 5-6 m

Las distancias entre juntas aquí consignadas se han establecido suponiendo que se emplea un mortero del grupo III; si se emplea un mortero del grupo II estas distancias deben reducirse convenientemente.

En las esquinas hay que disponer unas juntas de dilatación adicionales. Las juntas de dilatación deben hacerse estancas con un relleno de material alastoplástico efectuado de acuerdo con la naturaleza del material empleado.

Aplicaciones

La industria de los ladrillos de cal y arena es actualmente la mayor de las productoras de ladrillos de Alemania. Desde hace varias décadas, los ladrillos de cal y arena ocupaban una posición importante en la construcción de edificios, a causa de sus

destacadas cualidades. Con la adopción de las paredes de dos hojas, una de ellas para soportar la carga y la otra para protección, se han destacado las ventajosas cualidades de los ladrillos de cal y arena: la exactitud de sus dimensiones, las elevadas resistencias a la compresión (variables según los tipos) y la gran capacidad para almacenar calor. Tanto para paredes revocadas y revestidas como para el relleno de los vanos de los entramados, en todas las partes de los edificios elevados, por motivos de racionalización, se emplean ladrillos de cal y arena de gran formato —bloques huecos y elementos prefabricados de cal y arena.

Como cada vez vuelven a contemplarse con más satisfacción las paredes de ladrillo visto, se emplean cada vez más los ladrillos de cal y arena, tanto para las paredes de revestimiento exterior como para paredes interiores y paredes aisladas.

Para las paredes con superficies de ladrillo visto son posibles dos sistemas de rejuntado:

1 Juntas alisadas

en que el mortero que rebosa de las juntas se plancha con un pedazo de manguera o algo similar después de colocado.

2 Rejuntado posterior

en el que las juntas, verticales y horizontales, se rascan hasta 2-3 cm de profundidad y se rellenan luego con mortero especial para rejuntado.

Las paredes interiores y exteriores de ladrillos visto hechas en ladrillos de cal y arena, con juntas llenas y alisadas no requieren ningún tratamiento superficial posterior. Si por motivos formales o como protección contra el ensuciamiento se desea aplicar una capa de pintura, es posible por diferentes procedimientos hacerlo en forma de impregnación incolora o de pintura de cubrición.

Ladrillos ligeros de cal y arena

Los ladrillos ligeros de cal y arena, especialmente aislantes de calor, con densidades aparentes < 1,00 kg/dm³ y resistencia a la compresión de 25 o 50 kg/cm², son análogos en su composición y fabricación al material llamado hormigón ligero de cal (véase página 168).

Aglomerados de hormigón ligero

Están hechos con unos tipos de hormigón que, por adición de áridos ligeros o por agregación de materias expansivas o de sustancias generadoras de espuma tienen un peso específico muy ligero (por debajo de 1,9 kg/dm³). Se encuentran en el mercado en forma de ladrillos macizos o de bloques huecos.

Ladrillos macizos de hormigón ligero

Los ladrillos macizos de hormigón ligero según DIN 18152 son ladrillos de albañilería preparados con áridos minerales porosos y aglomerantes hidráulicos. Como áridos se emplean: pómez natural, pómez siderúrgica (escorias espumosas de altos hornos), escorias de hulla (escoria de calderas), desecho de ladrillo triturado, pómez clinkerizada, toba, fragmentos de lava porosa y cerámica esponjosa. El empleo de otros áridos porosos requiere una autorización especial (de la Policía de obras).

Según los áridos que en cada caso se empleen, variará la denominación de los ladrillos.

Bloques huecos de hormigón ligero

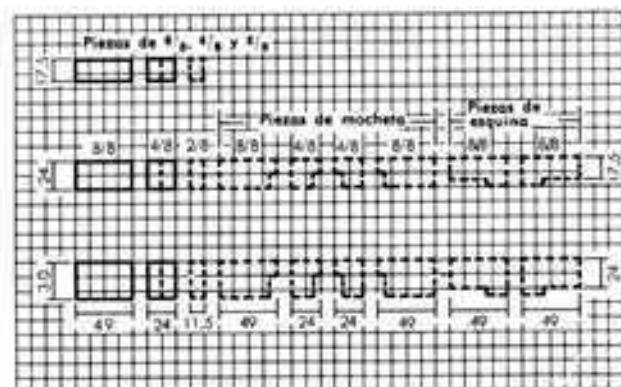
Normalizados con la DIN 18151 (septiembre 1952). Se fabrican con los mismos materiales que los ladrillos macizos de hormigón ligero.

Gracias a la existencia de los huecos se logra un peso moderado de los aglomerados, se economizan primeras materias y se impide o dificulta el paso de la humedad en los aglomerados. Los poros reducen en escasa medida el aislamiento térmico.

Piezas complementarias

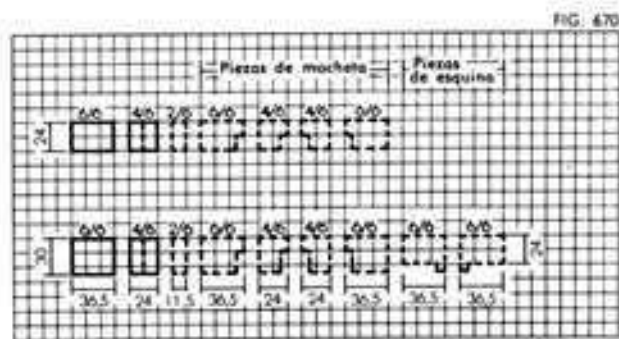
Como el corte y adaptación de los grandes bloques huecos resulta difícil y laborioso y produce mucho desperdicio de material, en la construcción de obras con dichos bloques se emplean "piezas complementarias". Están normalizadas en DIN 18151.

Las dimensiones de las piezas complementarias corresponden a las de los bloques huecos enteros, a excepción de los espesores de la cubierta exterior y de los tabiques interiores que en las piezas complementarias subdivisibles pueden ser de 30 mm.



Piezas complementarias de los bloques huecos de 49 cm de longitud para paredes de 17,5, 24 y 30 cm de espesor.

En las figuras siguientes se indican las piezas complementarias que se encuentran en el mercado. Las piezas dibujadas con líneas de trazos deben evitarse para disminuir el número de las piezas complementarias a emplear y conseguir una construcción racional.



Piezas complementarias de los bloques huecos de 36,5 cm de longitud para paredes de 24 y 30 cm de espesor.

LADRILLOS MACIZOS DE HORMIGÓN LIGERO										DIN 18152							
Calidad			V 25				V 50				V 75		V 150				
Marcas distintivas			Ninguna				 1 ranura en uno de los cantos longitudinales				2 ranuras		3 ranuras				
Dimensiones			Longitud:		cm		24		24		36,5		49		49		
			Anchura:		cm		11,5		11,5		24		24		30		
			Altura:		cm		11,5		17,5		11,5		11,5		11,5		
Peso esp. aparente 1)			kg/dm³		0,8	1,0	1,2	1,4	1,0	1,2	1,4	1,6	1,4	1,4	1,6		
Peso máximo del ladrillo			24x11,5x11,5		kg	2,5	3,2	3,8	4,4	3,2	3,8	4,4	5,1	4,4	5,1	5,1	
			24x11,5x17,5		kg	3,9	4,8	5,8	6,8	4,8	5,8	6,8	7,7	6,8	7,7	7,7	
			36,5x24x11,5		kg	8,1	10,1	12,1	14,1	10,1	12,1	14,1	16,1	14,1	16,1	16,1	
			49x24x11,5		kg	10,8	13,5	16,2	18,9	13,5	16,2	18,9	21,6	18,9	21,6	21,6	
			49x30x11,5		kg	13,5	16,9	20,3	23,7	16,9	20,3	23,7	27,0	23,7	27,0	27,0	
Resistencia a la compresión			Promedio		kg/cm²		25		50				75		150		
			Valor individual mínimo		kg/cm²		20		40				60		120		
Solicitación admisible a la compresión	En paredes de un espesor ≥ 24 cm	Grupos de morteros según DIN 1053	I	kg/cm²		3		4				6		8			
			II	kg/cm²		5		7				9		12			
			III	kg/cm²		6		10				12		16			
	En paredes de un espesor < 24 cm	Grupos de morteros según DIN 1053	I	kg/cm²		—		—				4		6			
			II	kg/cm²		3		5				6		8			
			III	kg/cm²		4		7				8		11			
Resistencia a las heladas			No se exige														
Coeficiente de conductividad térmica de la obra			kcal/mh°		0,35	0,40	0,45	0,55	0,40	0,45	0,55	0,68	0,55	0,68	0,68		
Peso de la unidad de obra para el cálculo			kg/m²		1400 para ladrillos macizos de hormigón de escorias o de ladrillo triturado 1100 para ladrillos de hormigón de pómez natural o de pómez siderúrgico												

1) Véase nota al pie de la página 137.

2) Adiciones para compensar pérdidas: Ladrillos = 2-5%; mortero = 30-35%.

Materiales necesarios ²⁾				24x11,5x11,5	24x11,5x17,5	36,5x24x11,5	49x24x11,5	49x30x11,5
Para 1 m²	Pared de 11,5 cm de espesor	Ladrillos	Piezas	32	22	11	8	6,5
		Mortero	Litros	15	12	8	8	7
	Pared de 17,5 cm de espesor	Ladrillos	Piezas		32			
		Mortero	Litros		23			
	Pared de 24 cm de espesor	Ladrillos	Piezas	64		22	16	
		Mortero	Litros	40		19	24	
Para 1 m²	Pared de 30 cm de espesor	Ladrillos	Piezas					16
		Mortero	Litros					29
	Pared de 36,5 cm de espesor	Ladrillos	Piezas	96				
		Mortero	Litros	65				
Para 1 m²	Obra de fábrica	Ladrillos	Piezas	256	172	88	64	52
		Mortero	Litros	201	164	117	134	133

Observación: Las cantidades de materiales que da la tabla están determinadas por cálculo. No están incluidos en ellas ni el inevitable desperdicio de ladrillos ocasionado por roturas, ni las pérdidas de mortero debidas al transporte y a la preparación del mismo.

BLOQUES HUECOS DE HORMIGÓN LIGERO DIN 18151

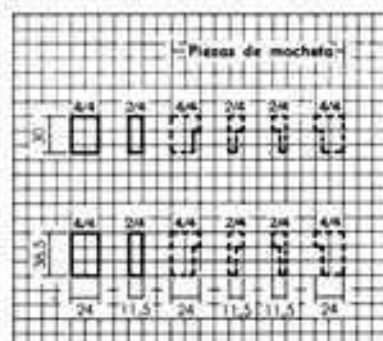
[illegible]

1) Véase nota al pie de la página 137

11) Grupos de morteros según DIN 1053.

Observación: Las cantidades de materias que fig. la tabla están determinadas por cálculo. No están incluidas en ellas ni el invisible desperdicio de bloques ocasionado por roturas ni las pérdidas de material debidas al transporte y a la preparación del mismo.

MATERIALES NECESARIOS Adiciones para compensar pérdidas:											
Bloques = 2 — 5 % Mortero = 30 — 35 %											
Para 1 m ³	Pared de 17,5 cm de espesor	Bloques	Piezas	49 × 30 × 23,8 De dos celdas	49 × 24 × 17,5 De dos y tres celdas	36,5 × 24 × 23,8 De dos y tres celdas	36,5 × 30 × 23,8 De dos y tres celdas	24 × 36,5 × 23,8 De tres celdas	24 × 36,5 × 17,5 De tres celdas	49 × 17,5 × 23,8 De dos celdas	49 × 17,5 × 17,5 De dos celdas
		Mortero	Litros							8	11
	Pared de 24 cm de espesor	Bloques	Piezas	8	31	11				12	15
		Mortero	Litros	16	20	18					
	Pared de 30 cm de espesor	Bloques	Piezas				11				
		Mortero	Litros	20	25		20				
Para 1 m ³	Pared de 36,5 cm de espesor	Bloques	Piezas					16	22		
		Mortero	Litros					32	37		
	Obra de fábrica	Bloques	Piezas	32	43	43	35	43	58	44	58
		Mortero	Litros	104	120	110	104	111	126	118	133



Piezas complementarias de los bloques huecos de 24 cm de longitud para paredes de 30 y 36,5 cm de espesor.

Ejecución de la obra de fábrica con aglomerados de hormigón ligero

Las paredes de aglomerados macizos de hormigón ligero se aparejan a soga. La anchura de las piezas tiene que corresponder en tal caso al espesor de la pared. Las paredes de bloques huecos de esa clase de hormigones se llegan a hacer hasta de 30 cm de espesor si están aparejadas a soga, pues corresponden, en tal caso, a la máxima anchura de los bloques, y hasta de 36,5 cm (por ejemplo, en paredes de sótanos) cuando se aparejan a tizón. Los bloques huecos se colocan en obra poniendo hacia abajo las bocas abiertas de las celdas, con lo cual se asegura la eficacia térmica de los huecos; si éstos tuviesen su boca hacia arriba, aunque sería más fácil su puesta en obra, en cambio sería inevitable que parte del mortero cayera dentro de los huecos y se perdiese. Podría aumentarse el aislamiento térmico de los bloques llenando sus celdas con materiales porosos. En los apoyos de piezas como los dinteles puede aumentarse la resistencia de los bloques a la compresión rellenando sus huecos con hormigón pesado (hormigón ordinario). Resulta difícil en los bloques macizos lograr llenar bien con mortero las altas juntas verticales. Para facilitar esta operación, los bloques llevan en sus cabezas unos rebajos, con el fin de que por esa parte más ancha de la junta se pueda hacer mejor el relleno con el mortero. Todas las paredes exteriores de aglomerados de hormigón ligero tienen que revocarse, según prescribe la norma DIN 1053, con una capa de material hidrófugo.

Los aglomerados de hormigón ligero de tamaño grande son difíciles de partir. Un aparejo perfecto requiere el empleo en el mayor grado posible de piezas enteras o de piezas parciales confeccionadas a propósito. La construcción sólo resulta económica cuando en el proyecto de la planta y en el alzado de las paredes se parte de un módulo de 12,5 cm (medida patrón según la DIN 4172). Todas las juntas verticales tienen que coincidir con una línea de la cuadrícula formada con tal módulo. Sólo son admisibles tolerancias en las esquinas y en los encuentros de paredes de 17,5 y de 30 cm, porque estos espesores no se acomodan a la cuadrícula del módulo de 12,5 cm. Manteniéndose en las líneas de la cuadrícula se evita el difícil corte de las piezas de grandes dimensiones. Si las piezas casan bien en cada hilada, el albañil no tiene necesidad de remendar o completar la obra con ladrillos macizos. Los remiendos de esta clase siempre dan mal resultado. El exceso de juntas siempre representa una debilitación, tanto de la resistencia a la compresión como del aislamiento térmico. Aparte de que los diferentes materiales de construcción crean diferencias en el soporte del revoco.

Con los aglomerados de 49 cm de longitud (módulo: 50 cm) para paredes de 17,5, 24 y 30 cm de espesor se emplea el aparejo centrado de modo que cada junta vertical caiga en el centro de la pieza inferior. El recubrimiento es así, en hiladas sucesivas, de 25 cm, cosa muy favorable para la aptitud portante de la obra, para la claridad del aparejo y también para el rendimiento del trabajo del albañil. Manteniéndose dentro de la guía de la cuadrícula, en las paredes de 24 y de 30 cm de espesor se necesita emplear piezas enteras ($\frac{1}{2}$), medias piezas ($\frac{1}{4}$) y cuartos de pieza ($\frac{1}{8}$).

En jambas de ventanas, esquinas, encuentros de paredes, etc., es admisible un recubrimiento que no exceda de 12,5 cm. Con paredes de 30 cm, en las esquinas y encuentros de paredes se

necesitan, además de las piezas enteras, medias piezas y cuartos de pieza, aparte de dos piezas especiales de esquina (de $\frac{3}{8}$), si bien sólo para el caso de hormigones de pómez; o también piezas de $\frac{7}{8}$. Estas últimas pueden prepararse recortando la parte de la ceja en las piezas de jamba o batiente de $\frac{1}{2}$ provistas de entalladura.

La renuncia al empleo de las piezas de tres cuartos ($\frac{3}{4}$), tanto si son de tipo normal como si son especiales para jambas o batientes, obliga a emplear en los pilares o machones y paredes que con ellos se unen o encuentran piezas de $\frac{2}{8}$ y de $\frac{1}{8}$ unas al lado de otras.

Los cuartos ($\frac{1}{4}$) de pieza, en los aglomerados huecos de hormigón de escorias, pueden obtenerse de los $\frac{1}{2}$ de pieza, divisibles. La industria de los aglomerados de pómez no fabrica medias piezas. En lugar de piezas de $\frac{2}{8}$ se usan, en tal caso, piezas macizas de hormigón ligero.

Las piezas de 36,5 cm de longitud (módulo 37,5 cm) se emplean para espesores de pared de 24 y de 30 cm aparejadas de manera que las juntas de las piezas de hiladas superpuestas correspondan, no con el punto medio de la pieza inferior, sino con el tercio de la misma; esto significa un recubrimiento de 12,5 cm o de 25 cm (según el lado). En jambas de ventanas, esquinas y encuentros de paredes, etc., no debe bajarse de un recubrimiento de 12,5 cm. Este aparejo al tercio es claro, de fácil comprensión y reduce a un mínimo los modelos especiales de piezas. Una pieza divisible de $\frac{1}{2}$ que en sus dimensiones corresponde a la pieza de $\frac{1}{2}$ es suficiente como pieza especial. Las piezas de aglomerado de 24 cm de longitud (módulo de 25 cm) en paredes de 30 y de 36,5 cm, se disponen según aparejo centrado. Las piezas de las sucesivas hiladas superpuestas se recubren en 12,5 cm. En las esquinas de paredes de 30 cm y en los encuentros de paredes de 17,5 cm con paredes de 30 cm de espesor, ese recubrimiento puede reducirse a 6,25 cm, excepcionalmente, caso de que no se disponga de piezas de esquina.

Ventajas e inconvenientes de la obra de albañilería con aglomerados de hormigón ligero

Los aglomerados de hormigón ligero son el material más barato para la construcción de paredes. Poseen una excelente capacidad de aislamiento térmico; los coeficientes de conductividad térmica están comprendidos entre 0,35 y 0,68 kcal/mh ° dando incluso valores inferiores a los que da la obra de fábrica de ladrillo hueco, que son de ~ 0,45 kcal/mh °.

Su gran capacidad de aislamiento térmico se debe a las burbujas de aire finamente divididas, encerradas en los poros de los granos de piedra pómez o de escorias, o en los intersticios entre tales granos. El aire refinado e inmóvil proporciona una protección térmica mucho más eficaz que las masas de aire encerradas en la obra de fábrica de ladrillo hueco, pero tiene una capacidad de almacenamiento de calor más pequeña.

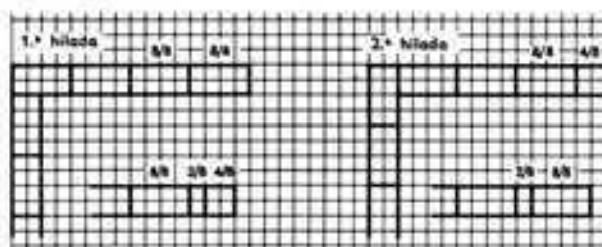
Las piezas macizas de gran tamaño y los bloques huecos reducen el número de juntas en la obra. Rebasan el peso de 10 kg por pieza y, por consiguiente, deben ser clasificados como piezas de dos manos. Para estas piezas, la altura de trabajo alcanza su límite superior hacia 1,00 m (altura de los codos). Con el fin de evitar una reconstrucción demasiado frecuente de los andamios resulta conveniente el empleo de andamios móviles. A pesar de todas estas medidas, resulta mucho más fatigoso para los albañiles que el construir con ladrillos ligeros de una mano. Los aglomerados de hormigón ligero son buenos soportes para el revoco, admiten la clavazón y son resistentes al fuego. Estas ventajas tienen como contrapartida ciertos inconvenientes, como su escasa resistencia a la compresión, su menor capacidad de aislamiento acústico, su defectuosa resistencia a los agentes atmosféricos y la facilidad con que se rompen las piezas.

En cuanto al comportamiento frente a la humedad, el hormigón ligero, de poros gruesos, se distingue considerablemente del ladrillo de poros finos. Absorbe la humedad con menos rapidez, pero en cambio devuelve la humedad penetrada con mucha lentitud.

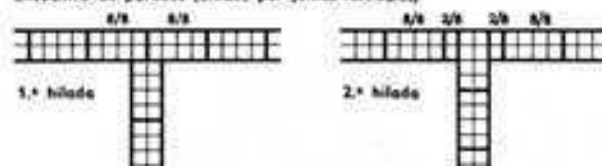
Para no reducir de forma importante el aislamiento térmico en el interior, a causa de la gran cantidad de humedad que absorben, las paredes exteriores hechas con materiales a base de hormigón ligero deben tener una correcta composición constructiva y una protección eficaz contra la humedad.

**PIEZAS DE 49 CM DE LONGITUD
CON APAREJO CENTRADO**

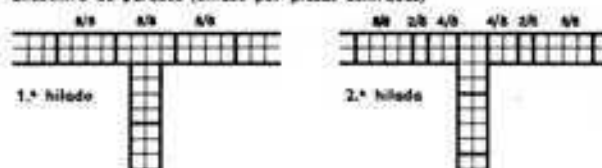
Paredes de 24 cm
Esquina y jamba



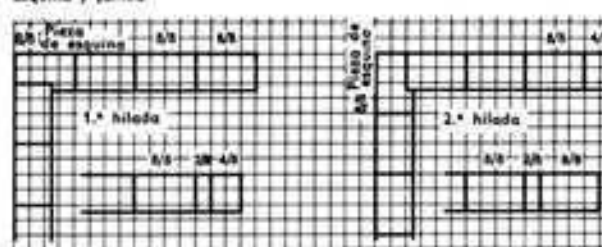
Encuentro de paredes (Enlace por juntas verticales)



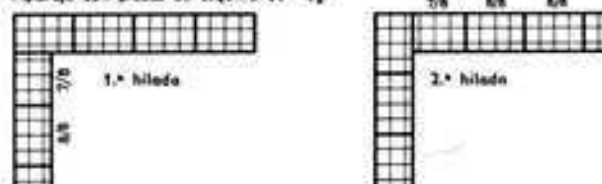
Encuentro de paredes (Enlace por piezas centradas)



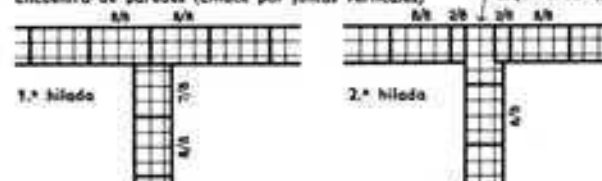
Paredes de 30 cm
Esquina y jamba



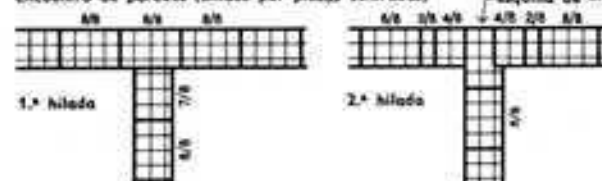
Aparejo con pieza de esquina de 1/2



Encuentro de paredes (Enlace por juntas verticales)

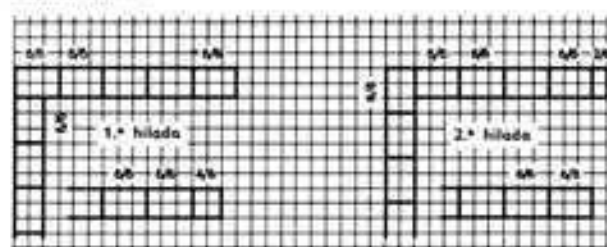


Encuentro de paredes (Enlace por piezas centradas)

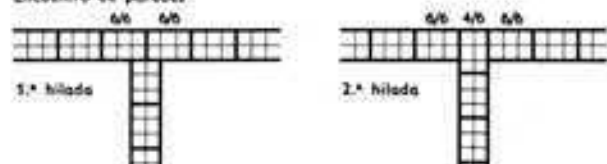


**PIEZAS DE 36,5 CM DE LONGITUD
CON APAREJO AL TÉRCIO**

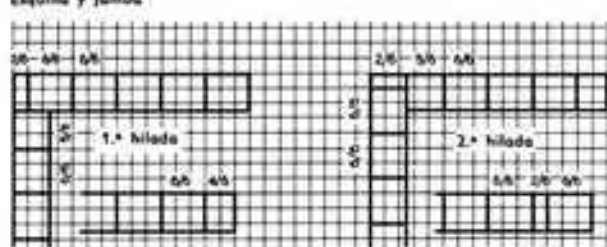
Paredes de 24 cm
Esquina y jamba



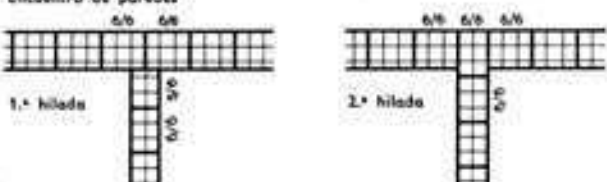
Encuentro de paredes



Paredes de 30 cm
Esquina y jamba



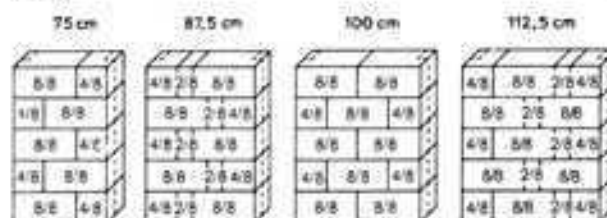
Encuentro de paredes



Pilares o machones entre ventanas

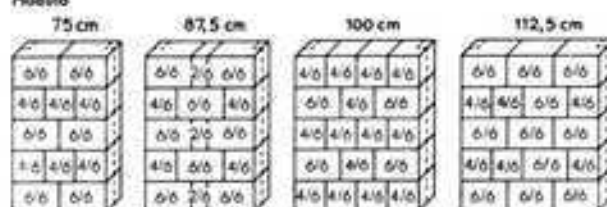
Piezas de 49 cm de longitud

Módulo



Piezas de 36,5 cm de longitud

Módulo



Aglomerados de hormigón gaseosos o espumosos fraguados al vapor

Además de los ya mencionados aglomerados de hormigón ligero de pómez natural, de pómez siderúrgica, de escorias y de ladrillo triturado se conocen otras clases de aglomerados de parecidas características, en los que se forman poros mediante adición de sustancias químicas. Estas sustancias dan origen a la formación de gases o de espuma.

Como generadores de gases sirven principalmente: el polvo de aluminio que desprende hidrógeno al mezclarlo con la masa pastosa de cemento, peróxido de hidrógeno que al disociarse desprende oxígeno, por lo cual conviene acelerar el proceso añadiendo cloruro cálcico como catalizador, y finalmente el polvo de carburo cálcico que desprende acetileno al mezclarlo con el mortero acuoso.

El gas que se forma, hincha la masa en estado pastoso antes de su fraguado. Puede provocarse, pues, en ella el grado de porosidad que se desee, al cual corresponderá una determinada resistencia a compresión y una determinada capacidad aislante. En el hormigón esponjoso los poros se consiguen con generadores de espuma que se mezclan con la masa fluida antes de su vertido en los encofrados o moldes y que provocan burbujas de aire en su seno. Como generadores de espuma se utilizan disoluciones jabonosas y espumantes a base de resinas de urea. Los áridos deben ser de grano fino, como arena, ceniza volátil o escoria de altos hornos. En general se utilizan los hormigones gaseosos y esponjosos fraguados bajo vapor a presión para formar bloques de obra y piezas prefabricadas, a fin de que, gracias al reducido tamaño de las piezas, el coeficiente de contracción pueda mantenerse bajo y se consigan las resistencias normales.

Para bloques de pared de hormigón gaseoso o espumoso fraguado al vapor se aplica la DIN 4165.

Calidad	Resistencia mínima a compresión		Máxima densidad aparente admisible del hormigón (secado a 105°C) kg/dm ³	Color de identificación
	Resistencia del bloque kg/cm ²	Valor mínimo kg/dm ³		
GSB 25	25	20	0,60	Amarillo
GSB 50	50	40	0,70	Azul
GSB 75	75	60	0,80	Rojo

El hormigón gaseoso de estos bloques puede ser hecho tanto con cemento como con cal o con los dos aglomerantes a la vez, lo que hace distinguir entre los fabricados de los bloques (por ejemplo Siporex, Hebel, Ytong), pero sin que se presente gran diferencia entre sus características.

Para construcción de paredes, uno de cada 10 bloques de aglomerados estará pintado con el color que se señala en la tabla o marcado con un distintivo de su resistencia a la compresión, bien visible, que consista en uno de los números 25, 50 o 75 (kg/cm²).

Según la ordenación de dimensiones DIN 4172 se fabrican bloques para obra de fábrica con juntas de mortero de 1,00 cm y piezas con una superficie especialmente lisa para obra casi sin juntas.

Los bloques tienen unas tolerancias de fabricación de ± 3 mm, mientras que para las piezas de superficie lisa se permiten solamente de $\pm 1,5$ mm para la longitud y el ancho y de $\pm 1,00$ mm para la altura.

En la obra de fábrica hecha con bloques, con juntas de mortero normales de 1,00 cm se calcula, debido a la proporción de juntas, con coeficientes de conductibilidad térmica comprendidos sólo entre $\lambda = 0,25$ kcal/mh° para GS 25 y $\lambda = 0,35$ kcal/mh° para GS 75 según la densidad aparente: para las paredes prácticamente sin juntas hechas con piezas lisas y elementos grandes se adoptan valores más favorables para el hormigón gaseoso, entre $\lambda = 0,15$ kcal/mh° y $\lambda = 0,25$ kcal/mh°.

Tanto las piezas lisas como los bloques con juntas de mortero pueden aplicarse para la obra de fábrica exterior, con carga o sin ella, y además para paredes de aislamiento. Las tensiones de compresión admisibles para la obra de fábrica hecha con piezas lisas son iguales a las de la obra de fábrica hecha con bloques, con mortero del grupo III según DIN 1053, es decir, 12 kg/cm² como máximo.

Las dimensiones de los bloques son:

Longitud: 49/61,5 cm

Altura: 24 cm

Espesor: 5-30 cm (véase tabla)

Las dimensiones de las piezas lisas y de las losas de pared sin armadura son:

Longitud: 49,9/62,4/74,9 cm

Altura: 24,9/62,4 cm

Espesor: 5-30 cm (véase tabla)

Aparte de estos, para la construcción de montaje se fabrican losas de pared de mayores tamaños, de hormigón gaseoso GSB 35 o GSB 50 con las siguientes dimensiones:

Longitud o altura: 300 a 600 cm

Ancho o altura: 62,5 a 1,50 cm

Espesor: 7,5 a 25 cm

DIMENSIONES Y PESOS DE BLOQUES MACIZOS DE HORMIGÓN GASEOSO¹ DIN 4165

Longitud mm	Ancho mm	Altura mm	Máximo peso admisible en kg para densidades aparentes de	
			0,60 kg/dm ³	0,80 kg/dm ³
490	115	240	8,2	10,9
615			10,2	13,6
490	175	240	12,4	16,6
615			15,5	20,7
490	240	240	17,0	22,7
615			21,3	28,3
490	300	240	21,3	28,3
615			26,5	(35,4)

PAREDES DE OBRA DE FÁBRICA HECHA CON BLOQUES

Espesor pared cm	Peso de la obra de fábrica kg/m ²			Resistencia térmica 1/λ (m ² h°/kcal)			Coeficiente de transición térmica K (kcal/m ² h°)		
	GS 25	GS 50	GS 75	GS 25	GS 50	GS 75	GS 25	GS 50	GS 75
5,0	33	30	40	0,28	0,24	0,20	2,13	2,33	2,56
7,5	50	56	68	0,42	0,36	0,30	1,64	1,82	2,04
10,0	66	75	91	0,56	0,40	0,48	1,33	1,49	1,69
11,5	76	86	105	0,64	0,55	0,46	1,20	1,35	1,54
12,5	83	94	114	0,69	0,60	0,50	1,14	1,27	1,45
15,0	99	113	137	0,83	0,71	0,60	0,98	1,11	1,27
17,5	110	131	159	0,97	0,83	0,70	0,86	0,98	1,12
20,0	132	150	182	1,11	0,95	0,80	0,77	0,88	1,01
24,0	158	180	218	1,33	1,14	0,96	0,66	0,75	0,87
25,0	165	188	228	1,39	1,19	1,00	0,63	0,72	0,84
30,0	198	225	273	1,67	1,43	1,20	0,54	0,62	0,72

PAREDES DE PIEZAS LISAS Y LOSAS DE PARED SIN ARMADURA

Espesor pared cm	Peso de la obra de fábrica kg/m ²			Resistencia térmica 1/λ (m ² h°/kcal)			Coeficiente de transición térmica K (kcal/m ² h°)		
	GS 25	GS 50	GS 75	GS 25	GS 50	GS 75	GS 25	GS 50	GS 75
5,0	38	42	50	0,17	0,16	0,14	2,77	2,86	3,03
7,5	56	63	75	0,26	0,24	0,21	2,22	2,33	2,50
10,0	75	84	100	0,34	0,32	0,29	1,89	1,96	2,03
11,5	86	97	115	0,40	0,37	0,33	1,65	1,79	1,92
12,5	94	105	125	0,43	0,40	0,36	1,61	1,69	1,82
15,0	101	126	150	0,56	0,48	0,43	1,33	1,49	1,61
17,5	117	147	175	0,65	0,56	0,50	1,19	1,33	1,45
20,0	134	168	200	0,74	0,65	0,57	1,08	1,19	1,32
24,0	161	202	240	0,69	0,77	0,69	0,93	1,04	1,14
25,0	168	210	250	0,92	0,80	0,71	0,80	1,01	1,11
30,0	201	252	300	1,11	0,97	0,86	0,77	0,86	0,95

DIMENSIONES DE DIENTES HECHOS DE HORMIGÓN GASEOSO²

Longitud cm	Ancho cm	Altura cm	Luz máx. cm
124	7,5	24	100
124	10,0	24	100
124	12,0	24	100
143 ¹⁾	24/30	24	109
174 ¹⁾	24/30	24	134
193 ¹⁾	24/30	24	159

¹⁾ Las longitudes y alturas de piezas lisas siempre aprox. 9 mm mayores que las correspondientes de los bloques

²⁾ Con armadura para paredes sustentantes de obra de fábrica

Las ventajas generales de este material son el buen aislamiento térmico, el poco peso de transporte y su fácil puesta en obra. Menos ventajosas son la sensibilidad de la superficie sin protección, la baja resistencia a la compresión y la poca densidad, a la que corresponde un aislamiento acústico más desfavorable. El hormigón gaseoso puede ser aserrado, fresado, hendido, perforado, roscado y clavado. Utilizando estas propiedades pueden lograrse notables economías y grandes ventajas técnicas. De acuerdo con la norma DIN 1053 pueden practicarse en el hormigón poroso ranuras verticales y horizontales para empotrar en ellas las instalaciones. Para fusibles, interruptores y cajas de distribución y empalme, los orificios se hacen con herramientas especiales que pueden montarse sucesivamente en un número reducido de empuñaduras y mangos. Para abrir las ranuras se han creado también herramientas adecuadas (cinceles y gubias). Para cortar bloques y placas se emplea una cizalla especial para materiales "Ytong". Consiste en una cuchilla móvil, guiada lateralmente por unos tubos de acero. El bloque va colocado debajo, apoyado en otro filo cortante y con un martillazo aplicado a la primera cuchilla queda partido en dos. El hormigón gaseoso es según las normas alemanas pertinentes "muy resistente al fuego". Si se tienen en cuenta las instrucciones para la puesta en obra y que figuran en la norma DIN 1953, sobre todo el número 4.22 (revoque exterior), el fabricante asume plena garantía acerca de la resistencia del material contra las heladas. Las paredes medianeras y cajas de escalera de Ytong GS 50 cumplen lo prescrito por la norma de protección acústica DIN 4109 cuando son, por lo menos de 17,5 cm de espesor y van revestidas con una capa antepuesta. Véase "Construcciones teniendo en cuenta la protección acústica" en el capítulo correspondiente.

Ejecución de la obra de fábrica hecha con bloques

Las paredes de bloques se construyen según aparejo. Las paredes exteriores y las transversales de refuerzo deben adentrarse entre sí de acuerdo con la norma DIN 1053. Los morteros empleados tienen que corresponder también a lo prescrito en esa misma norma. Deben ser plásticos, fáciles de trabajar y bien adhesivos. Antes de ser puestos en obra, los bloques "Ytong" deben mojarse abundantemente para evitar que las celdas exteriores de los mismos sustraigan al mortero el agua que éste necesita para su fraguado.

Es recomendable preparar un plan exacto de modo como deben ser distribuidos los bloques en la hilada y tenerlo marcado sobre un listón al construir. De esta manera se facilita mucho el trabajo en la obra, evitándose también juntas demasiado anchas. En ese listón se marca también la altura de la hilada correspondiente además de las hiladas de adaptación o compensación en las repisas de las ventanas y debajo de los apoyos de los techos. También se marca en él la posición de los dinteles de las ventanas.

Antes de revocar las paredes de Ytong deben limpiarse bien y mojarlas copiosamente, con lo cual sustraerán al mortero el agua que éste necesita para su fraguado. Ninguna capa de revoque o enlucido debe darse hasta que la anterior esté ya endurecida. El mortero no debe ser estirado con la llana, sino simplemente lanzado contra la pared.

Según datos de las fábricas productoras "Ytongwerke", se logran buenos resultados con los siguientes revocos y enlucidos:

- Para interiores:
- 1 parte en volumen de cal en pasta + 5 partes en volumen de arena;
 - 1 parte en volumen de cal apagada + 4 o 4 1/2 partes en volumen de arena.
 - 1 parte, en volumen, de cemento + 1 parte en volumen de cal blanca en pasta o cal apagada + 3 partes, en volumen, de arena;
 - Revoque: capa superior o externa de mortero de cal y cemento;
 - 1 parte en volumen de cemento + 2 partes en volumen de cal en pasta o cal apagada + 15 partes, en volumen, de arena.

Sobre este revoque externo aun puede aplicarse un enlucido, como por ej., el "Salith".

Para exteriores: Enfoscado, como capa delgada de preparación con mortero fluido de cemento adicionado con cal.

Los paramentos de Ytong apomazados y pulidos son también apropiados para recibir enlucidos finos aplicados con la llana o para ser revestidos con cartón-fieltro. Estos tipos de enlucidos "secos" (como p. ej., el "perkalor") acortan el período de desecación de la obra.

Ejecución de la obra de fábrica hecha con piezas lisas

Debido a la superficie especialmente lisa y a la mayor exactitud de las medidas de los bloques lisos para un trabazón, basta la aplicación de una junta de mortero de cemento adhesivo plastificado de 1 a 2 mm cada hilada. Incluso en paredes exteriores con espesores menores de 30 cm, esta junta no produce ningún tipo de puente térmico; tampoco se marcan las juntas. Incluso teniendo hiladas de hasta -15°C puede ejecutarse la obra de fábrica de bloques lisos, en contraposición a la obra de fábrica normal.

El mortero para los bloques lisos se suministra en forma de mezcla ya preparada, en polvo. Después de añadirle el agua de amasado, el mortero puede emplearse durante toda la jornada. Como no hay que mojar las piezas planas se trata prácticamente de una construcción en "seco". Mientras, habrá que revocar en húmedo las paredes exteriores, igual que en la obra de fábrica hecha con bloques; para las paredes interiores, en general basta un delgado revoque a espátula de hasta 5 mm de espesor, siempre y cuando la obra de fábrica esté bien ejecutada.

Obra de fábrica armada

(Extracto de la DIN 1053)

5.4.1. Aplicaciones

Si las tensiones de tracción de algún elemento de pared sometido a flexión (por ejemplo en pequeños silos o cuando han de resistir empujes de tierra o fuerzas del viento) son mayores que lo admisible según los artículos 7.4.3. y 7.5.3., conviene disponer allí de una armadura formada por barras de acero según DIN 488, hoja 1, edición de abril de 1972, tabla 1. Esta armadura no debe obstaculizar el aparejo de la pared.

5.4.2. Condiciones generales

El grueso de las paredes no debe ser menor que 11,5 cm; la clase de resistencia de los ladrillos no debe ser menor que la de 150 kg/cm² (15 MN/m²).

Las juntas verticales y horizontales deben ser llenas y deben estar ejecutadas con el máximo cuidado. Las juntas verticales parcialmente amortecidas no son admisibles en la obra de fábrica armada. Las juntas que llevan armadura no deben tener más de 2 cm de grueso.

Las barras lisas y perfiladas¹ deben tener siempre ganchos en los extremos. Las armaduras deben quedar embebidas en un lecho de mortero de cemento (mortero del grupo III).

Esto debe cumplirse también especialmente en la zona de los ganchos que llevan las armaduras en sus extremos.

En las juntas sólo deben ponerse barras de hasta 8 mm de diámetro. La distancia entre las barras y los ladrillos debe ser por lo menos de 5 mm. Para el recubrimiento de mortero de dirección perpendicular a la superficie de la pared se aplica lo dicho en los

¹ Para la definición de los conceptos "barras perfiladas" o "barras nervadas o corrugadas", véase la DIN 488, hoja 1, edición de abril de 1972, artículos 3.2.2. y 3.2.3.

artículos 13.2 y 13.3 de la DIN 1045, edición de enero de 1972 sin embargo, este recubrimiento de mortero debe ser de 15 mm como mínimo.

Además pueden ser necesarias medidas especiales de protección contra la corrosión (por ejemplo, en los casos citados en la DIN 1045, edición de enero de 1972, tabla 10, filas 3 y 4, o en las paredes sin revocar con armadura en la parte exterior expuestas a la lluvia incidental).

Cuando las armaduras se cruzan dentro de una junta sólo pueden estar constituidas por barras de hasta 5 mm de diámetro, a no ser que en los puntos de cruce se tomen precauciones especiales (por ejemplo, el empleo de ladrillos especiales.)

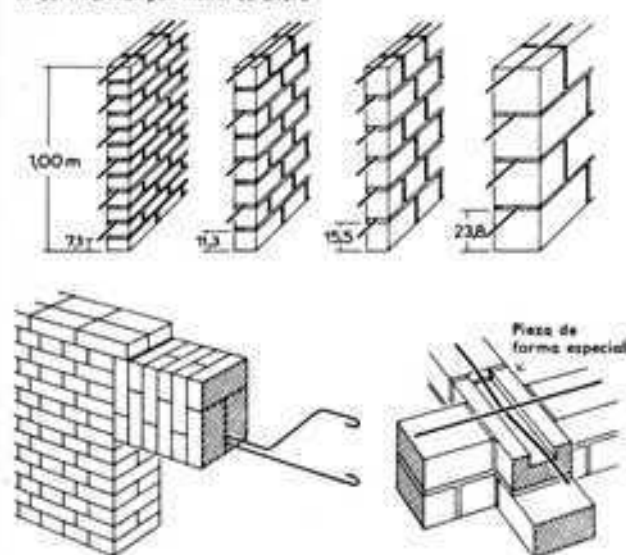
En las paredes que llevan armadura horizontal deben ponerse por lo menos 4 barras de armadura por metro de altura de la pared, pero por lo menos hay que armar una junta de cada dos. En las paredes armadas verticalmente, la distancia entre las barras de la armadura no debe ser mayor del doble del grueso de la pared, pero con un máximo de 25 cm.

En las uniones de las barras de la armadura, la longitud de solapado debe ser por lo menos de:

- a) en las barras lisas 100 cm
- b) en las barras perfiladas 80 cm
- c) en las barras corrugadas 60 cm

Para evitar que en los ganchos de los extremos de las barras las armaduras se crucen, a ser posible sólo se emplearán uniones con solape con barras corrugadas de extremos rectos. Sobre el empleo de aditivos, véase el artículo 4.1.4.2.

Armadura: no menos de 1 varilla cada dos juntas ni de 4 varillas por metro de altura



Paredes de hormigón

Con la palabra hormigón se designa una piedra artificial que se obtiene con una mezcla de aglomerantes, áridos minerales y agua, por medio de una reacción química, es decir, por el fraguado de la pasta de cemento. El aglomerante recubre los granos de los áridos y los une unos con otros al endurecerse. En este aspecto el hormigón se distingue del mortero sólo por la granulometría de sus áridos (63 mm máx. en vez de 4 mm máx.). Los esfuerzos para construir obras de piedra, de modo más fácil que labrándolas con gran exactitud, o colocándolas sobre un lecho de mortero, vienen ya desde los tiempos de los romanos. Ellos sabían convertir su mortero de cal en mortero hidráulico mediante la adición de tierra de Pozzuoli (provincia de Nápoles) o polvo de ladrillo, lo que permitía también el fraguado bajo agua y el fraguado de muros gruesos sin penetración de aire. Y construyeron las paredes de sus altos edificios vertiendo una mezcla de cascotes de piedra y mortero entre sus dos hojas exteriores, hechas con una obra de fábrica de piedra de ladrillo bien trabajada.

La tecnología del hormigón de la época industrial comienza en Inglaterra con la producción fabril y la composición normalizada del cemento (en latín, caementum = piedra machacada), que se denominó cemento Portland, por la procedencia de la piedra de cal empleada. Como proporción de mezcla más favorable se fijó $\frac{2}{3}$ de cal y $\frac{1}{3}$ de arcilla.

La verdadera consagración del hormigón comenzó cuando se empleó junto con el acero. Algunas combinaciones con barras de hierro o bronce y materiales vertidos ya existían en la época romana.

Pero el desarrollo técnico-científico del hormigón armado fue iniciado a mediados del siglo XIX por los ingleses y franceses. El inglés Hyatt fue el primero que descubrió que el acero y el hormigón prácticamente tienen los mismos coeficientes de dilatación y halló la correcta posición de la armadura, y de este modo reconoció el principio que el hormigón principalmente debe absorber las fuerzas de compresión y el acero las de tracción; además, se fijó en la resistencia al fuego del hormigón. La patente decisiva para el hormigón armado fue conseguida por el jardinero parisiense Joseph Monier en el año 1867. Sus patentes se refieren a depósitos, techos, vigas, tubos y traviesas de ferrocarril.

El trabajaba aún sin conocimientos y teorías acerca de las estructuras, que sólo más tarde fueron establecidas, empíricamente y mediante cálculo por los ingenieros.

Propiedades del hormigón

Hoy día el hormigón es un material de la mayor variabilidad, que puede adaptarse, eligiendo el tipo y la composición de la mezcla, a las más distintas exigencias. Como el hormigón vierte sin grandes pérdidas de material y con poco empleo de mano de obra en moldes preparados, puede considerarse como el prototipo del material moderno de construcción, lo que justifica su posición dominante. El hormigón, y principalmente el hormigón armado, es muy adecuado para los elementos de construcción con cargas muy altas, las construcciones de entramado, las paredes, los techos, las estructuras laminares, etc.

En primer lugar, los tipos de hormigón se distinguen por sus densidades:

- Hormigón ligero, con una densidad de 2 t/m^3 o kg/cm^3 como máximo. Además de áridos ligeros como la piedra pómez, las arcillas expandidas y las escorias, también se emplean granulados productores de poros o materiales espumantes.
- Hormigón normal con una densidad de $> 2 \text{ t/m}^3$ a $2,8 \text{ t/m}^3$ como máximo con arena y grava como áridos. En todos los casos que no son posibles confusiones con el hormigón ligero o el hormigón pasado se hablará sólo de hormigón.
- Hormigón pesado, con una densidad bruta de $2,8 \text{ t/m}^3$. Los áridos se componen en espato pesado, magnetita o fragmentos de chatarra (un hormigón que se emplea principalmente en la construcción de reactores).

Las resistencias a la compresión están comprendidas entre 50 kg/cm^2 y más de 600 kg/cm^2 , según la proporción de cemento y el tipo de los áridos. Según la resistencia se distinguen:

- Hormigón B I, como designación general de los hormigones con clases de la resistencia desde Bn 50 hasta Bn 250
- Hormigón B II como designación general de los hormigones de las clases de resistencia a partir de Bn 350 y mayores, así como para hormigones de características especiales.

Finalmente habrá que recordar las propiedades estáticas y constructivas del hormigón y en especial de las paredes de hormigón:

1. Capacidad de carga, resistencia a la compresión
La alta resistencia a la compresión que puede elegirse en cada caso según las necesidades, permite unos espesores de paredes considerables menores que en la obra de fábrica, por ejemplo 15 cm en vez de 24 cm.
Resulta por lo tanto un aumento de la superficie útil que depende del número de paredes o bien la distancia entre ellas.

2. Aislamiento térmico

Debido a su alto peso, la acumulación térmica del hormigón es muy buena y, especialmente en el caso de paredes interiores, proporciona un clima en el local muy agradable. Pero por el mismo motivo, el aislamiento térmico es pequeño, lo que hace que todas las paredes exteriores de hormigón necesiten una capa suplementaria de aislamiento térmico. La existencia de calefacción central y con ello de un nivel de temperatura casi uniforme en los locales vecinos, es condición necesaria para el empleo de paredes de hormigón en el interior de viviendas y construcciones parecidas con poca acumulación térmica.

3. Aislamiento acústico

Debido a su compacidad y a su alto peso específico, el hormigón ofrece una protección muy buena contra los sonidos transmitidos por el aire, pero el aislamiento contra los sonidos propagados por los sólidos es muy deficiente. Debido a las uniones entre las paredes y techos, todos los pisos de hormigón precisan un aislamiento suplementario contra el ruido de las pisadas, que hoy día generalmente se realiza mediante unas blandas esteras aislantes y un pavimento flotante.

Clima ambiental

En comparación con las paredes de obra de fábrica revocadas, un inconveniente de las paredes de hormigón en cuanto al clima ambiental de construcciones no climatizadas, es su poca capacidad de absorción e intercambio de la humedad del aire. Para compensar esta desventaja, la mejor solución es empapelar las paredes y los techos con papeles de fibra basta, absorbentes. Además, facilitan el intercambio de humedad las cortinas, alfombras y muebles tapizados. En las cocinas y los baños se precisa una ventilación adicional, por gravedad o forzada.

Materiales

La tecnología del material hormigón, sus componentes, su composición, su elaboración y el comportamiento de los elementos del hormigón están tratados previamente en la DIN 1045 "Construcciones de hormigón y hormigón armado". El objeto de esta norma es el dimensionado y la ejecución de elementos de carga y de rigidización de hormigón y hormigón armado. La norma se dirige tanto a las empresas que elaboran el hormigón y a las que se ocupan de su fabricación, elaboración y control, como al calculista que determina los elementos, dimensiona sus secciones o proporciona los dibujos del encofrado y de las armaduras para el empleo en la obra.

En cuanto sea necesario para el conocimiento del arquitecto, se reproducirán aquí, a continuación y de forma extractada, los párrafos más importantes de la norma que tratan de la composición, fabricación y puesta en obra del hormigón. En cambio los párrafos que explican las características del hormigón armado serán tratados luego en los capítulos "Techos de hormigón armado" y "Estructuras a base de paredes" o "Construcción de entramado". Respecto al tema "Paredes de hormigón", la DIN 1045 además hace referencia a las siguientes normas:

DIN 1048, hoja 1. Procedimiento de ensayo para hormigón, hormigón fresco, hormigón fraguado, en probetas confeccionadas especialmente para el ensayo. Hoja 2. Hormigón fraguado, en construcciones y elementos ya realizados.

DIN 1164, hoja 1. Cemento portland, cemento portland siderúrgico, cemento de alto horno y cemento puzolánico; definiciones, componentes, solicitudes, suministro.

Hoja 2. Control de calidad

Hoja 3. Determinación de la composición

Hoja 4. Determinación de la finura del molido

Hoja 5. Determinación de los tiempos de fraguado mediante la aguja de Vicat

Hoja 6. Determinación de la constancia de volumen mediante el ensayo de cochrera

Hoja 7. Determinación de la resistencia

Hoja 8. Determinación del calor de hidratación mediante un calorímetro

DIN 4030 Aguas, suelos y grasas que atacan al hormigón.

DIN 4031 Impermeabilizaciones bituminosas contra el agua a presión en las construcciones; directrices para su dimensionado y ejecución.

DIN 4117 Impermeabilización de las construcciones frente a la humedad del terreno; directrices para su ejecución.

DIN 4184 Hoja 2. Chapas perforadas para ensayos de tamizado; agujeros cuadrados

DIN 4188 Hoja 1. Fondos de tamiz; fondos de tamiz de alambre para ensayo; dimensiones

DIN 4207 Aglomerantes mixtos

DIN 4226 Hoja 1. Áridos para hormigón
Áridos de textura compacta; conceptos, denominaciones, exigencias y control.

Hoja 2. Áridos con textura porosa (áridos ligeros); conceptos, denominaciones, exigencias y control

Hoja 3. Ensayo de áridos de textura compacta o porosa

DIN 4233 Paredes de carga de hormigón ligero y de textura con porosidad intersticial; ejecución y dimensionado.

DIN 4235 Vibradores para compactar el hormigón; directrices para su utilización

Directrices provisionales para el ensayo de los aditivos del hormigón para la concesión de marcas de calidad.

Hormigones en seco; directrices para la fabricación y empleo.

Agglomerantes

(DIN 1045/6. 1)

Para el hormigón en masa de las clases de resistencia Bn 100 y mayores y para el hormigón armado habrá que emplear cemento según DIN 1164/hoja 1-8. Para el hormigón en masa de la clase de resistencia Bn 50 pueden emplearse también aglomerantes mixtos según DIN 4207.

Detalles de la fabricación, de las clases de resistencia y la denominación véase en el párrafo "Mortero" página 119. Los cementos con un fraguado más rápido (350 F, 450 L, 450 F y 550) llegan en menos tiempo a determinadas resistencias. Mediante su empleo pueden conseguirse en menos tiempos mayores resistencias del hormigón, lo que significa a la vez menores tiempos de desencofrado, según el párrafo 12.3 de la DIN. Además, en la fase inicial del fraguado producen un mayor calor de hidratación, por lo que son muy apropiados para el hormigonado en tiempos fríos.

Durante el transporte y el almacenamiento de los aglomerantes habrá que protegerlos contra la humedad. En los recipientes de transportes y en los silos de aglomerantes no deben existir restos de aglomerantes o cementos de otro tipo o de resistencia menor ni restos de otros materiales. En casos dudosos habrá que comprobarlo cuidadosamente antes de llenarlos.

Áridos

(DIN 1045/6. 2)

Los áridos del hormigón están compuestos de fragmentos de rocas naturales o artificiales, macizas o porosas; en el caso del hormigón pesado se emplea también para unas funciones especiales, el metal como árido. Los tamaños de los granos y el tipo de árido depende en cada caso de las exigencias del hormigón. Las características del material, la forma y naturaleza de las superficies de los granos de árido y también la composición granulométrica de éste influyen en alto grado en la resistencia y en las demás propiedades del hormigón. No han de contener materias perjudiciales como serían, por ejemplo, el barro, la arcilla, mantillo o materias orgánicas del tipo del humus o componentes con azufre, como por ejemplo de carbón y las escorias y cenizas. Los granos del árido conviene que tengan formas redondeadas o cúbicas.

Los áridos deben cumplir con la DIN 4226, hojas 1-3.

La mezcla de áridos debería ser de granos lo más gruesos que sea posible y con poco volumen de huecos entre los granos. El tamaño máximo de grano habrá de determinarse de modo

que permita la mezcla, el transporte, la puesta en obra del hormigón; su tamaño nominal no debe exceder a un tercio de la mínima dimensión del elemento que se construye. En el caso de una armadura con poca distancia entre las barras o con poco recubrimiento de hormigón, la mayor parte del árido debería ser de grano menor que la distancia entre las varillas de la armadura y que la distancia entre la armadura y encofrado.

Composición granulométrica de los áridos para hormigón. La composición granulométrica de los áridos para el hormigón se determina mediante los diagramas de cribado (véanse figuras) y, si es necesario, mediante un distintor característico para la distribución granulométrica o para la cantidad necesaria de agua.^{1,2}

Los diagramas de cribado de los áridos compuestos de grupos granulométricos de densidades aparentes considerablemente distintos, no se refieren a los porcentajes en peso de la mezcla de áridos sino a los porcentajes en volumen.³

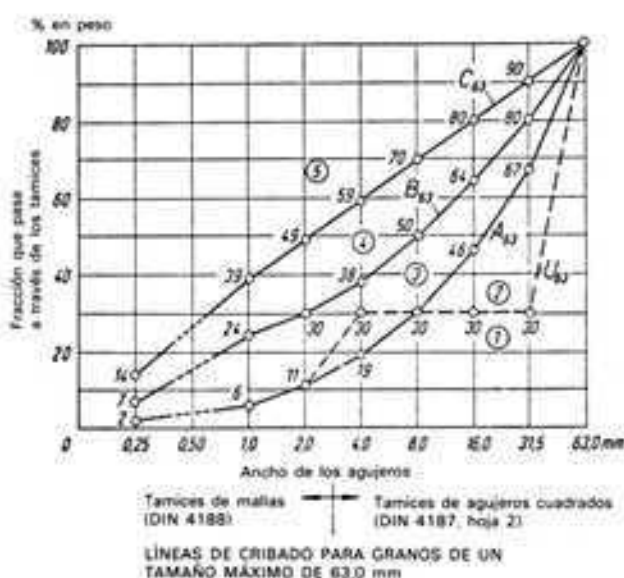
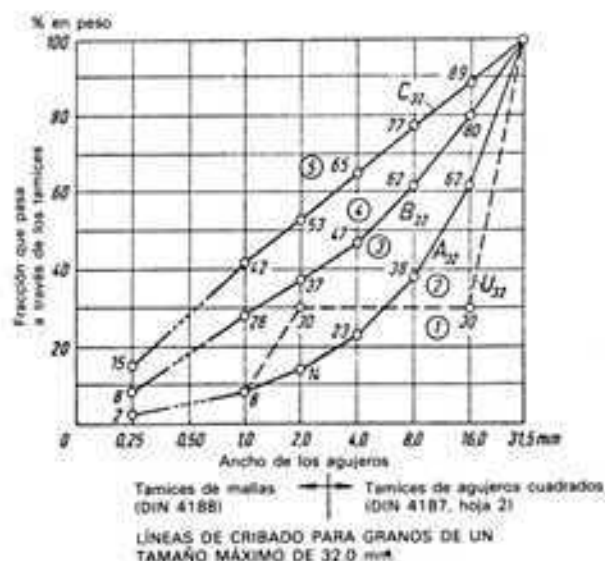
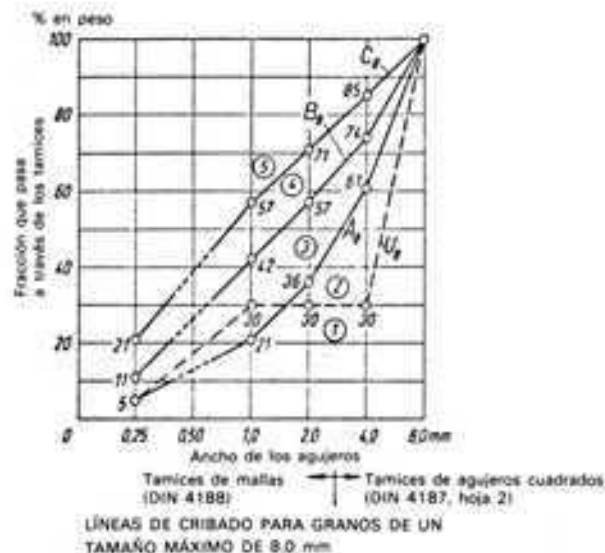
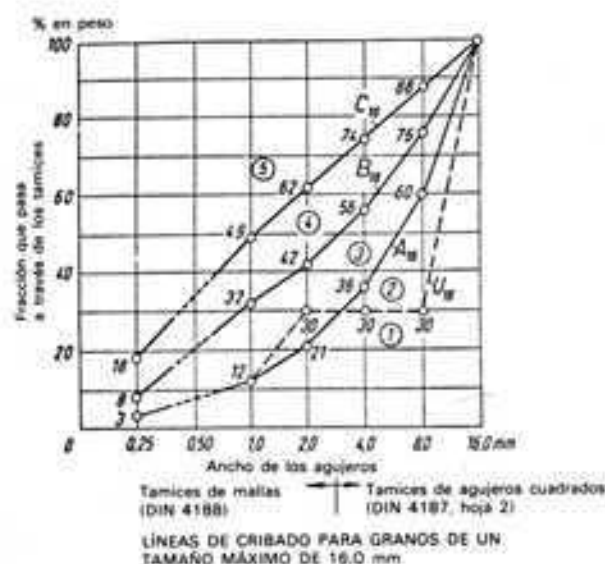
La composición de los distintos grupos granulométricos y del árido del hormigón se determinan mediante pruebas de tamizado con tamices de ensayo (tamices de malla o tamices de agujeros cuadrados) de 0.25; 0.5; 1, 2, 4, 8, 16, 31, 5* y 63, según DIN 4188, hoja 1 o DIN 4187, hoja 2.

Líneas de cribado continuas

Las líneas de cribado de las mezclas granulométricas deberían situarse entre las líneas A y C, es decir, en las zonas ③ y ④ de las figuras adjuntas.

La zona ③, entre las líneas de cribado A y B, corresponde a las mezclas granulométricas favorables; en la zona ④ entre B y C, las mezclas aún son aprovechables.

Las desviaciones de la línea de cribado en la zona situada más allá de los 8 mm, sólo son de poco efecto sobre las características del hormigón.



1. Por ejemplo el coeficiente granulométrico, de cribado, el coeficiente de la cantidad de agua necesaria.
2. Para obtener los valores característicos de la distribución granulométrica o de la cantidad de agua necesaria, así como cantidad de granos hasta tamaño de 5 mm, debe tomarse en general la cantidad real. Sólo al comparar dichos valores característicos con los dados por los diagramas de cribado normalizados, en ambos casos debe tomarse como valor la cantidad de granos de tamaño inferior a 5 mm, el valor correspondiente a 0.5 mm en la línea recta que une los puntos correspondientes a los tamices de 0.25 mm y 1.00 mm.
3. La distribución volumétrica se obtiene al dividir la distribución en peso por la densidad aparente del grano. En el eje de ordenadas se indicarán entonces los porcentajes en volumen en vez de los porcentajes en peso.
4. El tamaño límite del grano de 32 mm se ensaya con el tamiz de agujeros cuadrados de 31.5 mm según DIN 4187, hoja 2.

Líneas de cribado discontinuas

Las líneas de cribado discontinuas (granulometría discontinua), es decir, de las mezclas de áridos que carecen de algunos grupos granulométricos, deberían pasar entre la línea del límite interior U y la línea de cribado C de las figuras.

Suministro y almacenamiento de los áridos

Los áridos destinados a la preparación de hormigón no deben ensuciarse con otras materias durante el transporte y el almacenamiento a pie de obra. Los áridos de distintos grupos que se reciben por separado deben almacenarse de manera que no se mezclen en ningún punto. Los áridos mezclados en fábrica deben descargarse y almacenarse en la obra de manera que no se desmezclen.

Aditivos del hormigón

DIN 1045/6.3

Distinguimos entre aditivos de acción física o química y aditivos de masa.

Aditivos de acción física o química.

Estos aditivos influyen sobre el hormigón mediante reacciones químicas o físicas, o de ambas clases, modificando sus características, por ejemplo, las propiedades de elaboración, los tiempos de fraguado y de endurecimiento, sin tener importancia como partes en volumen del hormigón.

Para el hormigón y el mortero de cemento —también para la colocación de tacos— sólo pueden emplearse aditivos con una marca de calidad vigente y según las condiciones definidas en el certificado de ensayo.

Los cloruros, los materiales que contienen cloruros, y otros materiales que favorecen la corrosión del acero no deben añadirse al hormigón armado ni al hormigón que luego tendrá contacto con hormigón armado. Se emplean los aditivos del hormigón para influir favorablemente sobre ciertas propiedades del hormigón. Pero como también pueden modificarse otras propiedades importantes en forma desventajosa, siempre es condición para su aplicación una prueba de aptitud del hormigón hecho con ellos.

Aditivos de masa

Son sustancias finamente divididas, que también influyen en ciertas propiedades del hormigón, pero a los que hay que tener en cuenta en la composición volumétrica del hormigón.

Los aditivos de masa pueden añadirse al hormigón siempre que no perjudiquen el fraguado del cemento, la resistencia y estabilidad del hormigón ni la protección anticorrosiva de la armadura. Los aditivos del hormigón que no cumplan con la DIN 4226 o con una norma prevista para ellos, como por ejemplo la DIN 51043, sólo pueden emplearse si existe un permiso general de los órganos competentes o bien una marca de calidad.* Un aditivo de hidráulidad latente o puzolánico sólo puede incluirse en el porcentaje del cemento cuando está reglamentado de forma oportuna.

5. El Instituto de la Técnica de Construcción, en Berlín, concede las marcas de calidad para fluidificadores de hormigón, agentes airesantes, agentes de estanqueidad, retardadores de fraguado, aceleradores de fraguado (también anticongelantes) y sustancias para facilitar la inyección y para determinados aditivos de masa.

Agua de amasado

(DIN 1045/6.4)

El agua que se añade a los componentes del hormigón durante el proceso de elaboración y fraguado se llama agua de amasado. Para el amasado suelen ser utilizables, en general, todas las aguas naturales, siempre que no contengan sustancias que influyan desfavorablemente sobre el fraguado u otras propiedades del hormigón, o que reduzcan la protección contra la corrosión de las armaduras, como por ejemplo determinadas aguas industriales de deshecho. En casos dudosos será necesario comprobar su aptitud para la fabricación de hormigón.

Aceros para hormigón armado

(DIN 1045/6.6)

Para el hormigón armado habrá que emplear aceros que, por su diámetro, forma, propiedades de resistencia y demás características, cumplan con la DIN 488. Los tipos incluidos en ella y sus características, se dan en la tabla de la página 225.

Exigencias en la composición de los hormigones

(DIN 1045/6.5)

El porcentaje de los distintos elementos, su composición y su distribución en la estructura interior del hormigón determinan la resistencia y las demás propiedades de este material. Esto supone que el hormigón

- está compuesto, fabricado y transportado de forma apropiada
- no se desmezcla
- está por completo compactado y cuidadosamente curado.

Clases de resistencia

Mediante las resistencias halladas en ensayos de calidad a los 28 días con probetas cúbicas de 20 cm de lado se clasifica el hormigón en clases de resistencia desde Bn 50 hasta Bn 550 (véase tabla 1).

Las tres probetas de una serie deben proceder de tres distintas amasadas; en el caso de hormigón preparado —si es posible—, de distintos suministros de la misma clase de resistencia.

Una determinada resistencia a la compresión de la probeta también puede ser necesaria antes de los 28 días y con las solicitudes previstas, por ejemplo, para el transporte de elementos prefabricados.

La resistencia a la compresión también puede fijarse para una fecha posterior, en casos especiales en que parezca conveniente, por ejemplo cuando se emplea un cemento con un fraguado más lento, y siempre que lo permitan las solicitudes a que el hormigón está sometido.

El hormigón Bn 550 está principalmente reservado para la producción de cementos prefabricados en fábricas de hormigón. El

CLASES DE RESISTENCIA DEL HORMIGÓN Y SUS APLICACIONES

	1	2	3	4	5	6
	Grupo del hormigón	Denominación del hormigón según su resistencia	Resistencia nominal f_{WN} (Valor mínimo de la resistencia a la compresión W_{28} de cada probeta según el artículo 7.4.3.5.2) kg/cm ²	Resistencia de la serie f_{WS} (Valor mínimo de la resistencia media WM de cada serie de probetas) kg/cm ²	Fabricación según	Aplicaciones
1	Hormigón B I	Bn 50	50	80	Artículo 6.5.5	Sólo para hormigón sin armadura
2		Bn 100	100	150		
3		Bn 150	150	200		
4		Bn 250	250	300		
5	Hormigón B II	Bn 350	350	400	Artículo 6.5.6	Para hormigón sin y con armadura
6		Bn 450	450	500		
7		Bn 550	550	600		

	1	2	3	4	5	6
	Clase de hormigón fresco	Propiedades del mortero fino	Hormigón fresco en el momento del vertido	Coefficiente de compactación v	Coefficiente de ensanchamiento cm	Sistema de compactación
1	K 1 Hormigón seco	Un poco más húmedo que la tierra	aún incoherente	1,45 # 1,26	—	Vibradores de alta capacidad o apisonando fuertemente en capas delgadas
2	K 2 Hormigón plástico Beton	blanco	desde formando granos hasta algo cohesivo	1,25 # 1,11	≤ 40	Vibrado, hurgoneado o apisonado
3	K 3 Hormigón blando	fluido	poco fluido	1,10 # 1,04	41 # 50	Hurgoneado, etc.

hormigón in situ, que actúa en unión con elementos prefabricados de hormigón armado, como parte de una estructura portante, debe tener como mínimo la clase de resistencia Bn 150.

Consistencia

El hormigón fresco se clasifica en tres distintas clases de consistencia (véase tabla 2). Dentro de estas clases la consistencia puede determinarse con más exactitud (véase DIN 1048, hoja 1) mediante ciertas medidas de ensanchamiento y de compactación (véanse columnas 4 y 5).

Porcentaje del agregado fino

El hormigón debe contener una determinada cantidad de agregado fino, para que sea fácil de elaborar y colocar en obra y para que tenga una estructura compacta. El agregado fino se compone de cemento, de los granos de tamaño 0 a 0,25 mm del árido del hormigón y, si es necesario, de la adición de una mezcla de granos de este grupo granulométrico compuesta por minerales naturales y artificiales consistentes y sin posibilidad de reblandecimiento, y que no reduzcan la consistencia del hormigón. Un suficiente porcentaje de agregado fino tiene importancia sobre todo en el caso de hormigón que debe transportarse a grandes distancias o a través de tuberías de conducción, de hormigón, para elementos de poco espesor y armados densamente, y de hormigón impermeable.

En general conviene un porcentaje de agregado fino según la tabla 3.

VALORES NORMATIVOS DEL PORCENTAJE DE AGREGADO FINO

	1	2
	Grano máximo de la mezcla de áridos mm	Agregado fino en 1 m ³ de hormigón compactado kg
1	8	525
2	16	450
3	32	400
4	63	325

Si se emplean aditivos poco generadores, basta y conviene un menor porcentaje de agregado fino.

Este porcentaje debería limitarse a la cantidad necesaria para la elaboración, especialmente cuando un porcentaje demasiado alto de agregados finos podría perjudicar algunas propiedades del hormigón, como por ejemplo la resistencia a las heladas, al desgaste y a las reacciones químicas.

Composición de los hormigones del grupo I (Bn 50 - Bn 250)

Dosis de cemento

El hormigón debe contener la cantidad de cemento necesaria para que pueda conseguir la debida resistencia a la compresión y, en el caso del hormigón armado, ofrezca una suficiente protección de la armadura contra la corrosión.

Sin embargo, si se determina la dosis de cemento mediante un ensayo, hay que tener en cuenta que cada m³ de hormigón compacto debe contener, por lo menos,

100 kg en el caso de hormigón sin armaduras,

y en el caso de hormigón armado, por la protección anticorrosiva debe ofrecer a la armadura,

240 kg en el caso de cemento de la clase de resistencia 350 o mayor,

280 kg en el caso de cemento de la clase de resistencia 250.

Para hormigón sin aditivos no se necesita ensayo siempre que la composición del hormigón cumpla como mínimo con las condiciones de la tabla 4 y con las siguientes indicaciones:

Las dosis de cemento según la tabla 4 habrán de aumentarse en

15% si se emplea cemento de la clase de resistencia 250

10% si el grano máximo del árido es de 16 mm

20% si el grano máximo del árido es de 8 mm.

PORCENTAJE MÍNIMO DE CEMENTO PARA EL HORMIGÓN B I CON ÁRIDOS DE UN GRANO MÁXIMO DE 32 mm Y CEMENTO DE LA CLASE DE RESISTENCIA 350 SEGÚN DIN 1164

	1	2	3	4	5
	Clase de resistencia del hormigón	Zona del diagrama de las líneas cribado del árido	Porcentaje mínimo de cemento en kg por m ³ de hormigón compactado para la consistencia K 1 ^a — K 1 ^a) K 2 K 3		
1	Bn 50 ¹⁾	favorable (3)	140	160	—
2		aprovechable (4)	160	180	—
3	Bn 100 ¹⁾	favorable (3)	190	210	230
4		aprovechable (4)	210	230	260
5	Bn 150	favorable (3)	240	270	300
6		aprovechable (4)	270	300	330
7	Bn 250	favorable (3)	280	310	340
8		aprovechable (4)	310	340	380

6 Sólo para hormigón sin armaduras

La dosis del cemento según la tabla 4 puede reducirse el 10% como máximo si se emplea cemento de la clase de resistencia 450, y el 10% como máximo si el grano del árido es de 63 mm. Los aumentos y las reducciones de la dosis de cemento deben y pueden sumarse respectivamente; sin embargo, la dosis de cemento para el hormigón armado no debe ser menor que el valor indicado en el tercer inciso de este párrafo.

Mezcla de áridos

En un hormigón compuesto según la tabla 4 y las indicaciones que la acompañan, la línea de cribado del árido debe ser continua y estar comprendida entre las dos líneas A y C de las figuras correspondientes. Esta línea tendrá que estar en la zona favorable del diagrama de las líneas de cribado (3), si se quiere emplear la dosis mínima de cemento indicada en la tabla 4 para la zona del diagrama de cribado más favorable.

Cuando la composición del hormigón se determina mediante un ensayo de calidad, habrá que mantener la granulometría de la mezcla del árido empleada en la fabricación del hormigón. Además de las líneas de tamizado continuas, en este caso también pueden emplearse granulometrías discontinuas.

Áridos sin clasificación, procedentes de excavaciones y dragados, sólo pueden emplearse en hormigones de las clases de resistencias Bn 50 y Bn 100, siempre que cumplan las exigencias de la DIN 4226 y cuando su composición granulométrica corresponde a esta forma.

Para el hormigón de las clases de resistencia Bn 150 y Bn 250 el árido debe suministrarse y almacenarse en dos grupos granulométricos como mínimo, de los cuales uno tiene que permanecer en la zona de 0 a 32 mm.

En la máquina mezcladora hay que combinarlas de tal forma que resulte una mezcla de la composición granulométrica exigida. En lugar de grupos granulométricos separados, pueden emplearse también, en las mezclas granulométricas con el tamaño máximo de grano hasta 32 mm, áridos mezclados en fábrica según DIN 4226, hoja 1, siempre que su composición granulométrica corresponda a las condiciones del párrafo 6. 2.

Consistencia

La consistencia del hormigón fresco habrá de determinarse antes de comenzar la obra y teniendo en consideración las condiciones de elaborarlo (por ejemplo el sistema de compactación).

Composición de los hormigones del grupo II (Bn 350 - Bn 550)

Dosis de cemento

La dosis de cemento exigida hay que determinarla mediante un ensayo. Sin embargo, teniendo en cuenta la protección anticorrosiva de la armadura, en el caso de hormigón armado debe ser como mínimo por m^3 de hormigón compactado, de 240 kg en el caso de cemento de la clase de resistencia 350 o mayor
280 kg en el caso de cemento de la clase de resistencia 250.

Mezcla de áridos

Los áridos del hormigón, su clasificación según el grupo granulométrico y la composición granulométrica de la mezcla deben estar de acuerdo, en la fabricación del hormigón, con los ensayos de calidad.

Para una composición granulométrica continua de la mezcla de áridos, de 0 a 32 mm, los áridos deben suministrarse, almacenarse y verse en la hormigonera por separado en tres grupos granulométricos como mínimo; los de composición discontinua, en dos grupos como mínimo. Uno de los grupos debe estar en la zona de 0 a 2 mm. Para las mezclas de áridos de 0 a 8 mm y de 0 a 16 mm basta la separación en un grupo de 0 a 2 mm y en un grupo mayor.

Los agregados finos no se consideran como grupo granulométrico.

Relación agua/cemento y consistencia

Por relación agua/cemento se entiende la proporción entre la cantidad de agua de amasado y la de cemento, en peso, que intervienen en el hormigón.

El hormigón no debe fabricarse con una mayor relación agua/cemento que la establecida mediante el ensayo de calidad. Si con la consistencia así obtenida el hormigón demuestra insuficiente trabajabilidad para alguna labor difícil, y hay que aumentar por lo tanto la cantidad de agua, hay que aumentar también la cantidad de cemento en la misma proporción en peso. Ambas operaciones deben realizarse en una máquina mezcladora.

Debido a la protección anticorrosiva de la armadura, la relación agua/cemento del hormigón armado no debe exceder del valor 0,65 para cementos de la clase de resistencia 250 y del valor 0,75 y para cementos de la clase 350.

Comportamiento del hormigón

La resistencia que en cada caso se desee conseguir para el hormigón fraguado puede determinarse con relativa exactitud combinando de manera apropiada la granulometría de los áridos, la dosificación del cemento y la relación agua/cemento. También puede conocerse por el cálculo la dilatación térmica y la deformación bajo las cargas de uso.

Sin embargo, las deformaciones y las tensiones no sólo se producen por las acciones de las cargas y las influencias de la temperatura. Dependen de la composición del hormigón, de las dimensiones de los elementos constructivos y de las condiciones de carga, y de humedad y temperatura del ambiente, que existen inmediatamente después del proceso de fraguado. En una fase posterior de la construcción aparecen en un grado aún mayor en forma de fluencia, retracciones e hinchamientos.

Hormigón ligero

El hormigón con peso específico aparente inferior a 2000 kg/m^3 se designa con la denominación de hormigón ligero. Posee mayor poder de aislamiento térmico que el hormigón ordinario o pesado y es apropiado, por consiguiente, para la construcción de viviendas, tanto en forma de ladrillos y bloques como de hormigón en masa. Por su poder aislante y su reducido peso, se emplea también para la fabricación de piezas constructivas de otras clases, como por ejemplo piezas huecas para el forjado de pisos, placas, etc.

Materiales

Aglomerantes

En correspondencia con los aglomerantes empleados, hay que distinguir entre hormigón ligero de cemento y hormigón ligero de cal.

Para la preparación del hormigón ligero de cemento se emplean exclusivamente cementos normales que cumplan con las normas DIN 1164 (cemento portland, cemento portland férreo, cemento de altos hornos y cemento puzolánico), porque los aglomerantes de menor eficacia requieren una elevación de su dosis, cosa que se traduce en un relleno de los huecos o poros y, como consecuencia, en una disminución de su poder aislante. Para preparar el hormigón ligero de cal, conviene emplear, en general, una cal bien pura, finamente pulverizada y con poca magnesia.

Áridos

Como áridos para el hormigón ligero son adecuados: la piedra pómez natural o artificial, el ladrillo triturado, las escorias porosas de altos hornos, de lava y de hogares de calderas, cascotes de cerámica porosa, "sintoporita", etc.

La capacidad de aislamiento térmico del hormigón ligero depende de la porosidad propia y de la composición granulométrica del árido. Cuanto más pequeños y numerosos son los poros en el hormigón y cuanto mayor sea la uniformidad con que estén

repartidos, tanto mayor será su poder aislante. Los poros muy numerosos reducen al mismo tiempo el peso específico aparente, si bien rebajan también las resistencias a la compresión. Según el profesor A. Hummel, hay que distinguir cuatro clases de porosidad:

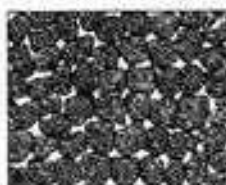
1. Porosidad intersticial. Los poros están situados entre los granos de los áridos que, por su parte, carecen de porosidad, como por ejemplo sucede con el hormigón de grano homogéneo con áridos de piedra natural compacta (estructura abierta).



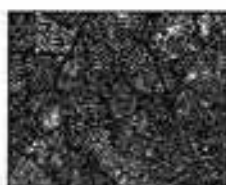
2. Porosidad propia de los granos: Los áridos son porosos y los intersticios están rellenos con un mortero relativamente compacto (estructura compacta o cerrada).



3. Porosidad propia en los granos y porosidad intersticial: Poros en la masa de cada grano y poros entre los mismos granos, como sucede, por ejemplo, en el hormigón de piedra pómez (estructura abierta).



4. Estructura uniforme de poros finos: Los poros están uniformemente repartidos por todo el hormigón, como por ejemplo el hormigón gaseoso, el "Ytong", etc.



La porosidad intersticial requerida para lograr una buena capacidad de aislamiento térmico se consigue ya en parte suprimiendo del árido la fracción granulométrica de 0 a 3 mm. Se obtiene mayor porosidad cuando se emplea una sola fracción granulométrica (de 3 a 7 mm, de 7 a 15 o de 15 a 30 mm). La porosidad es tanto mejor cuanto menos difiere el grano pequeño del grano grande. Las fracciones granulométricas con pequeñas diferencias de tamaño en los granos, como por ejemplo entre 10 y 15 mm, entre 15 y 20 mm o entre 20 y 25 mm son, por consiguiente, las más adecuadas.

Los áridos para la preparación de hormigón ligero tienen que estar exentos de impurezas nocivas. Los materiales pesados como el hormigón, el mortero de cemento, la piedra natural, la cerámica y el vidrio perjudican el hormigón ligero cuando se hallan mezclados con los áridos en fuerte proporción (más del 25%). También son perjudiciales todas las materias desleibles si

están en una proporción de más del 3%, las sustancias combustibles si su porcentaje rebasa el 20% en peso de los áridos desecados (a 105° C) y una dosis total de azufre de más del 1,5% en peso. El azufre que en forma de sulfuro cálcico contiene la pómez siderúrgica, al estar combinado con el calcio resulta inocuo.

En el hormigón gaseoso o esponjoso los áridos deben ser especialmente finos. Deben pasar la criba 0,09 tipo DIN 4188 por lo menos en un 30% del peso total sometido a la misma. En general se utiliza arena fina, cuarzo molido u otros áridos de grano pequeño, como cenizas volantes, cenizas de pizarras oleaginosas, arena de piedra pómez molida, escorias de altos hornos, etc.

Materiales de adición

Para obtener una estructura porosa lo más uniforme posible, pueden agregarse al hormigón materias capaces de producir desprendimiento de gases o de formar espuma. Como materias de adición capaces de producir desprendimiento de gases pueden citarse: el polvo de aluminio, el polvo de carburo cálcico, el agua oxigenada con cloruro de cal como acelerador y algunas más.

Como materias para formar hormigón espumoso se utilizan soluciones jabonosas, sulfo-ácidos, productos de condensación del fenolaldehído o emulsiones. La espuma que forma burbujas y poros de aire nace en la mezcla antes de verterla en los moldes o escofrados y debe durar hasta que ha fraguado aquella por completo.

Para la formación, puesta en obra y pruebas del hormigón gaseoso y esponjoso debe seguirse la norma DIN 4164, según la cual el "hormigón poroso" se divide en:

- a) Hormigón fraguado bajo vapor a presión.
- b) Hormigón fraguado mediante elevación de temperaturas sin aumento de presión del vapor.
- c) Hormigón fraguado al aire.

Para elementos portantes de una estructura el hormigón gaseoso y el esponjoso sólo se utilizan en forma de bloques de albañilería o paneles prefabricados fraguados al vapor.

Amasado

Para el amasado del hormigón, las hormigoneras más apropiadas son las de eje vertical.

El tiempo de amasado debe ser por lo menos de un minuto; en el caso del hormigón de ladrillo triturado, de dos minutos. El material amasado debe ser puesto en obra rápidamente y no debe sufrir disgregación alguna durante el transporte. La dosificación de la mezcla se rige por la calidad del aglomerante, el tipo de áridos y la calidad del hormigón que se desea obtener.

La cantidad de cemento varía entre límites considerables y deben llevarse a cabo ensayos para determinarla. Si se desea obtener cierta porosidad intersticial, hay que limitar la dosis de cemento a la cantidad estrictamente indispensable. La cantidad de agua se regula por la capacidad de absorción de los áridos empleados. Debe graduarse de tal manera que los granos del árido del hormigón recién amasado queden recubiertos por una papilla de cemento adherente que no desaparezca ni se desprenda al poner el hormigón en obra ni pase a rellenar los poros intersticiales. La cantidad correcta de agua debe determinarse mediante ensayos. Los áridos absorbentes deben remojarlos de manera suficiente antes de proceder a la mezcla, con lo cual no sustraerán luego al mortero de cemento el agua que éste necesita para su fraguado. La cantidad de cemento debe dosificarse en peso.

Puesta en obra

El hormigón ligero se suele colocar en obra simplemente vertiéndolo sin apisonarlo (hormigón vertido). Se hacen con él, además, ladrillos y bloques, piezas para forjado de pisos y techos, vigas, placas, etc.

Para el hormigón ligero vertido (véase página

Para más detalles acerca de los ladrillos y bloques de hormigón ligero, véase: "Obra de fábrica de ladrillos aglomerados", p. 155. El empleo de unas u otras calidades depende de las condiciones estáticas y termotécnicas que se exijan. Los hormigones ligeros de la calidad B 20 son más aislantes del calor que los de las calidades B 50 y B 80. Los hormigones ligeros B 50 y B 80 exigen, por consiguiente, mayores espesores de las paredes que dan al exterior.

Las paredes como elementos constructivos

Fundándonos en nuestros conocimientos de las estructuras y construcciones y en nuestro sentido de la rentabilidad, hoy día, para construir con el menor trabajo posible y material invertido procuramos determinar y diferenciar exactamente las funciones de las paredes dentro de una estructura, y elegir luego el material apropiado y el tipo de construcción adecuado.

En edificios para la estancia permanente de personas, como por ejemplo edificios de viviendas y de administración, hoteles, etc., se trata principalmente de los siguientes tipos de paredes:

- Paredes exteriores
- Paredes de carga
- Paredes de separación entre edificios y paredes de cajas de escalera
- Paredes de separación entre locales
- Paredes con conductos de instalaciones, por ejemplo para cocinas y baños.

Paredes exteriores

Deben tener las siguientes propiedades, en la mayor medida posible:

- Resistencia a la compresión; estabilidad y seguridad contra el pandeo
- Resistencia a vibraciones y trepidaciones
- Seguridad contra el fuego
- Resistencia a la intemperie y protección contra la humedad; resistencia a los gases de escape industriales
- Aislamiento térmico
- Aislamiento acústico

Paredes de carga

Soportan mayores cargas que las paredes exteriores, deben tener buen aislamiento acústico y gran acumulación térmica, mientras que el aislamiento térmico tiene en ellas menos importancia. También deben tener propiedades a prueba de fuego.

Paredes de cajas de escalera y de separación entre viviendas

Cuando no están solicitadas como paredes de carga, sobre todo deben ofrecer un buen aislamiento acústico (48 dB), suficiente aislamiento térmico (las cajas de escalera no suelen tener calefacción y es posible una vivienda vecina sin calefacción) y seguridad contra el fuego.

Paredes de separación entre locales

Normalmente sólo en estructuras con paredes de carga longitudinales tienen una función estática, que es la de rigidización de las paredes exteriores y las de carga. En los otros casos pueden emplearse todo tipo de tabiques ligeros. Pero deberían proporcionar una suficiente protección acústica (aprox. 30 dB) en el caso en que los locales adyacentes estén destinados a oficinas, cuartos de baño, etc.

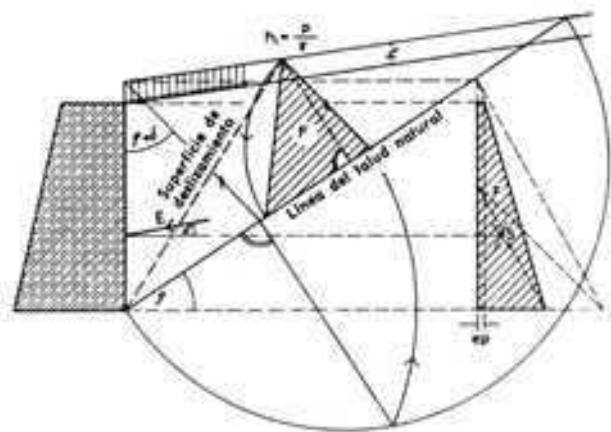
Paredes con conductos de instalaciones

En las paredes con instalaciones de conductos (cuartos de baño, cocinas, retretes), las ranuras verticales casi no perjudican a la resistencia estática, siempre y cuando no aparezcan en serie, con poca distancia entre ellas, y con grandes secciones. En cambio deberían evitarse por principio ranuras horizontales e inclinadas. Con especial cuidado habrá que estudiar la situación en planta de las paredes con instalaciones y su protección acústica.

Muros de sostenimiento

La misión de los muros de sostenimiento estriba en la contención de las masas de tierra en el caso de desmontes cuyos taludes son más inclinados que lo que corresponde al talud natural de la tierra en reposo. Tienen que soportar, por lo tanto, esfuerzos que tienden a volcarlos y a hacerlos deslizar, porque la presión de las tierras actúa principalmente como una fuerza horizontal. La presión de las tierras depende de las dimensiones y del peso de la masa de tierra que tiende a correrse. A su vez, dichas dimensiones y peso dependen de la naturaleza del terreno, de su clase, peso específico y contenido de agua. Para la determinación de la presión de las tierras existe actualmente una completa serie de teoría y métodos que tratan de tener en cuenta las circunstancias reales, difíciles muchas veces, que presentan las diversas clases de terrenos.

Generalmente se hace uso de hipótesis de simplificación y de fórmulas, que por lo regular se basan en la antigua teoría de la presión de las tierras, de Coulomb (1773). Se indica a continuación una manera generalmente aplicable de determinación de la presión de las tierras por medio del cálculo.



En la norma DIN 1055, hoja núm. 1, se encuentran los oportunos datos acerca del peso para el cálculo de los diferentes tipos de terrenos y materiales de relleno, usados a modo de terraplén, así como acerca de los ángulos correspondientes de razonamiento interno. Contiene, además, dicha norma las siguientes reglas para el cálculo:

1. Se tomará siempre como base, para el ángulo de pendiente de la superficie de las diferentes clases de terreno o de los materiales empleados en el terraplenado, respecto de la horizontal, el ángulo que resulte, en la realidad, más desfavorable de todos.
2. En ángulo de rozamiento entre el relleno o terraplenado posterior y el muro de sostenimiento debe fijarse de acuerdo con el grado de humedad de dicho material de relleno posterior y la rugosidad de la pared de sostenimiento. En los casos más desfavorables, como por ejemplo en el caso de un terraplenado posterior fuertemente empapado de agua y de una pared de sostenimiento muy lisa, se tomará en los cálculos un ángulo de rozamiento igual a 0°. En casos muy favorables puede tomarse como máximo los $\frac{2}{3}$ del ángulo de rozamiento interno que dan las normas. (Es el caso, por ejemplo, en que el relleno o terraplén posterior esté protegido de modo permanente contra la impregnación de agua, o en que la superficie posterior del muro sea muy áspera y rugosa.)

3. En elementos constructivos estrechos, expuestos a la presión de las tierras, como p. ej. los pilares (o pies derechos) situados en taludes, no es suficiente, para determinar la presión de las tierras, hacer intervenir en los cálculos la anchura sencilla de los pilares. En general, se cuenta con el triple de la anchura de los pilares. La contrapresión de las masas de tierra situadas delante de los correspondientes elementos de obra no debe ser tenida en cuenta.

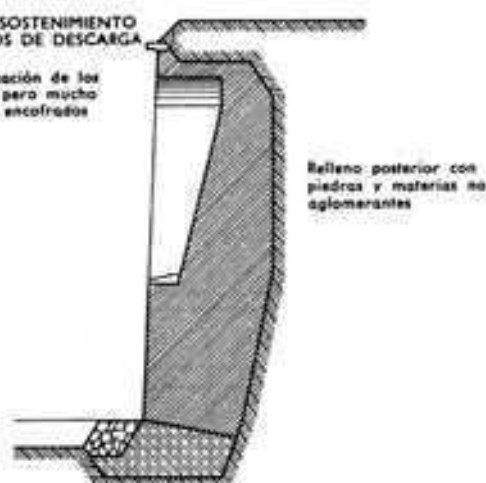
4. En la construcción total y para diversas partes de la misma hay que comprobar el grado de seguridad contra el vuelco y contra el deslizamiento. Las cargas accidentales, fijas o móviles, que actúen favorablemente, no deben tenerse en cuenta. La resistencia de las tierras (presión pasiva de las mismas) tampoco debe ser tenida en cuenta cuando las partes de la obra en cuestión estén calculadas partiendo de la hipótesis de que no se producen desplazamientos horizontales, o cuando haya que contar con la posibilidad de que las tierras sean separadas de modo permanente o temporal.

MUROS DE GRAVEDAD



MURO DE SOSTENIMIENTO CON ARCOS DE DESCARGA

Buena utilización de los materiales, pero mucho trabajo de encofrados



La seguridad contra el vuelco y contra el desplazamiento tiene que ser por lo menos de 1,5 veces. Las paredes de sostenimiento pueden construirse como simples muros de gravedad o como paredes con refuerzos.

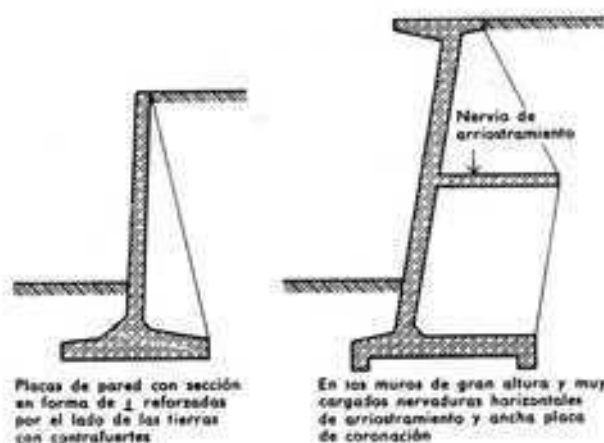
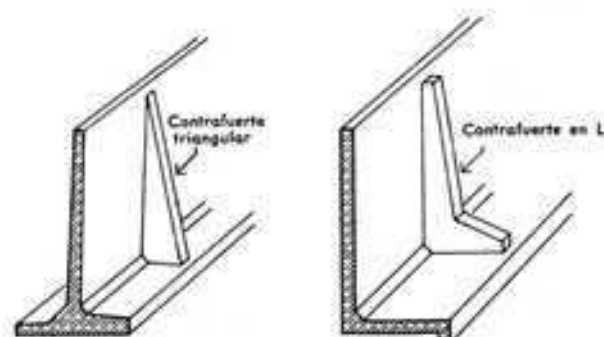
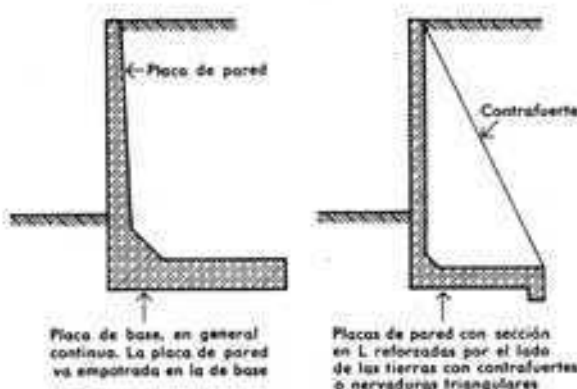
Los muros de gravedad actúan precisamente por su peso propio para contrarrestar el efecto de la presión que sobre ellos ejercen las tierras. Para tratar de oponer a la presión de las tierras, de la manera más favorable posible, las dimensiones de los muros de gravedad, se han proyectado numerosos tipos de secciones apropiadas. La más sencilla, que puede aplicarse en casi todos los casos, es la recomendada por Petersen. Con formas más complicadas, se suele compensar la economía en la masa de los materiales con un mayor gasto de mano de obra.

Cuando los muros de gravedad resultan antieconómicos, se pueden emplear paredes de sostenimiento reforzadas, hechas de albañilería o de hormigón armado o sin armar.

Un punto de gran importancia para la estabilidad de los muros de sostenimiento es el desagüe y drenaje de su cara posterior.

MUROS DE SOSTENIMIENTO DE HORMIGÓN ARMADO

Poco consumo de material



La acumulación de agua detrás de un muro de sostenimiento aumenta la presión de las tierras y el peligro de deslizamiento y da origen a desperfectos por congelación. Las medidas a tomar dependen de la naturaleza del terreno circundante. En terrenos consistentes (por ejemplo arcilla, barro, margas, etc.) se forman, en sentido perpendicular a la dirección por donde penetra el frío, lentes y fajas de hielo que ocasionan un levantamiento y un desplazamiento del terreno. En suelos poco coherentes como los de arena, de gravilla, grava y cantos rodados, los granos sueltos se rodean y recubren de cristales de hielo, con lo cual no se levanta el terreno, aunque esté empapado de agua. En consecuencia, los muros de sostenimiento se rellenan por detrás con escollera de piedra y materiales no aglomerantes, estableciendo en la parte baja el correspondiente drenaje por medio de tubos perpendiculares a la pared o conductos de obra de fábrica en sentido transversal a ella. Las paredes de sostenimiento muy largas deben dividirse por medio de juntas de dilatación a unos 15 m de distancia unas de otras.

Los muros de sostenimiento pueden influir en gran manera en el aspecto del paisaje. Lo mejor es hacerlos a base de piedra natural, recogida en yacimientos o canteras locales. Si se construyen en forma de muros en seco, con el curso del tiempo crecen en ellos plantas de las que abundan en los alrededores y que arraigan en la tierra que rellena las juntas. Los muros de sostenimiento hechos de hormigón sencillo o armado pueden ser revestidos con piedra natural. Sin embargo, tales revestimientos sólo son de duración si los hacen operarios expertos y hábiles (véase DIN 1053 núm. 6.2 y "Obra de fábrica de piedra natural", página 126). Las obras de refuerzo de hormigón visto, armado o sin armar, plantean severas exigencias en su forma de sostenimiento a base de áridos de tamaño granulométrico hasta 100 mm (cantos rodados) y de colores vivos, que, una vez fraguado y endurecido el aglomerante, se ponen de manifiesto labrando con el pico los paramentos, con lo cual su estructura y colorido pueden formar una bella decoración.

También la combinación de las dimensiones de los muros de sostenimiento desempeña un importante papel. Los muros de sostenimiento de poca altura siempre dan mejor resultado que los muy altos. Cuando hay que sostener una masa de tierras de gran altura, siempre que se pueda vale más recurrir a varios muros pequeños, escalonados, que a uno solo muy alto.

Paredes de sótanos

Para la conservación de géneros agrícolas y para poder alojar bajo el nivel del suelo los locales y dependencias auxiliares o de servicios como cocinas, fregaderos, instalaciones de calefacción, lavaderos, etc., normalmente se construyen, en los edificios destinados a viviendas, locales de sótanos. También suelen ser convenientes o necesarios tales locales en edificios de otras clases.

Generalidades

Las paredes de los sótanos implican requisitos diferentes y en parte más severos que las paredes ordinarias de los edificios. Las paredes exteriores de los sótanos forman el perímetro del edificio que separa a éste del terreno circundante y se apoyan contra él. Deben, pues, poder contrarrestar la presión de las tierras y también la del hielo en los meses invernales. Según la estructuración del edificio soportan grandes cargas verticales y las transmiten a la masa de los cimientos.

Las paredes de los sótanos pueden, por lo tanto, sufrir empujes que tiendan a volcarlas o a hacerlas resbalar y son solicitadas por compresión y por flexión. Están sometidas a una constante acción de la humedad del terreno, y, en muchos casos, incluso a la del agua subterránea. Con frecuencia, el subsuelo contiene también sustancias químicas que atacan a los materiales con que está construida la pared. La humedad del terreno y el agua infiltrada humedecen el zócalo y en invierno si se hielan pueden ir destruyendo progresivamente esa parte de la pared de los sótanos. Tanto en la faja cercana al suelo como en las partes próximas al techo (en la zona sujeta a las salpicaduras procedentes del terreno exterior), es necesario colocar unas capas de barrera horizontales. Para las paredes interiores de los sótanos (también para las de chimenea) basta una sola capa sobre el piso de los sótanos. Para impermeabilizarlas contra la penetración de la humedad lateral se dan a las paredes de recinto de los sótanos unas capas de pintura impermeable de protección. Los detalles acerca de las medidas de impermeabilización contra la humedad ascendente y la que penetra lateralmente, se describen más minuciosamente en el capítulo "Protección contra la humedad". Al cumplimentar su misión estática, las paredes exteriores de los sótanos actúan como muros de contención y como paredes de carga. En la primera forma, donde se ve más claramente es en los edificios de entramado con pisos en voladizo.

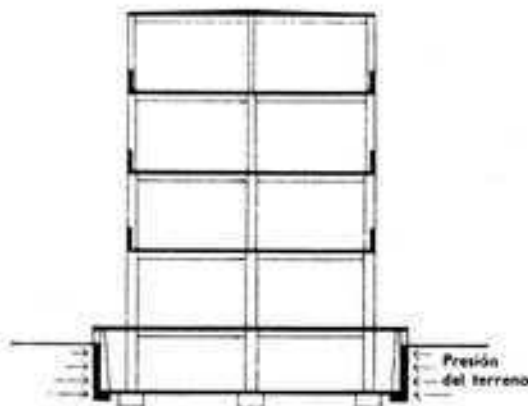
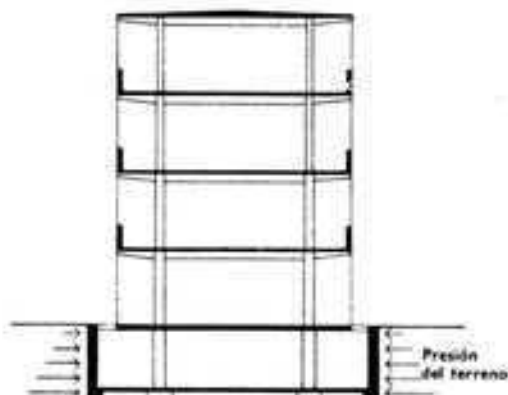
En este caso, las paredes de sótanos soportan el empuje de las tierras exactamente como muros de sostenimiento aislados, y no deben, por consiguiente, ni volcarse ni deslizarse. Pueden construirse como paredes de hormigón o de obra de fábrica resistentes por su solo peso (muros de gravedad), dándoles una sección transversal adecuada, o como paredes de sostenimiento

reforzadas con contrafuertes de ladrillo u hormigón armado o sin armar.

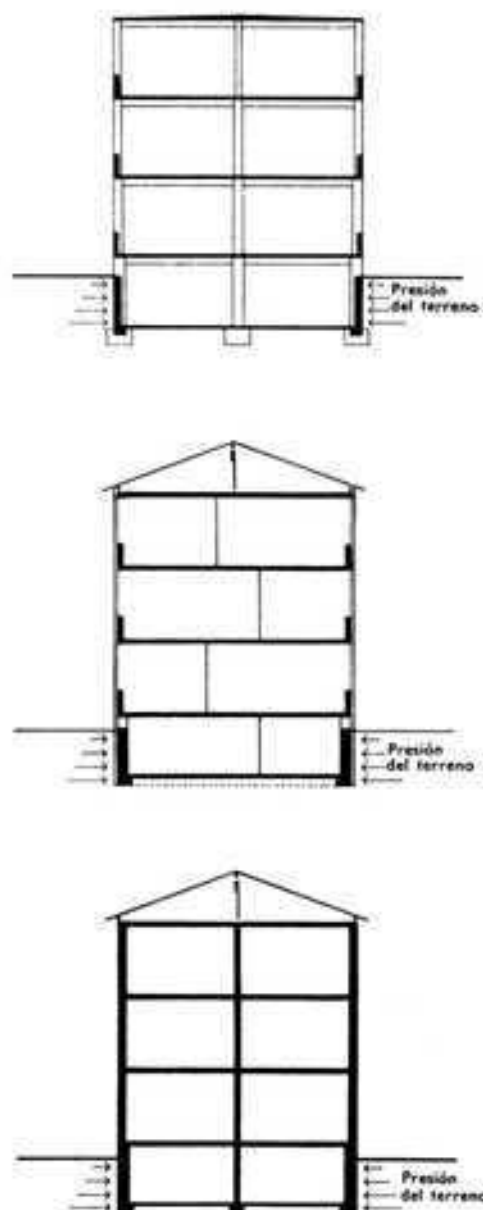
Mediante la solera o piso de los sótanos debe impedirse el corrimiento o deslizamiento, para lo cual hay que dimensionar debidamente dicha solera.

En la mayor parte de los casos, las paredes exteriores de los sótanos quedan reforzadas y consolidadas por la misma estructura de la construcción.

Si la pared exterior de sótanos se apoya lateralmente por arriba en el techo y por abajo en el pavimento o solera, actúa a la manera de una placa apoyada sobre otras dos. Para sótanos de gran altura suelen armarse las paredes exteriores con el fin de poder reducir su espesor. La armadura principal se coloca en la cara interna de las paredes y se dispone verticalmente. Si el piso que sirve de techo a los sótanos tiene algunas aberturas destinadas a dar paso a la luz, como ocurre en algunos locales comerciales, se impone la aplicación de un marco horizontal en la parte superior.



Si la pared de sótanos está muy debilitada por aberturas, existe el peligro de que en los muros o machones entre ventanas se produzcan grietas por efecto de la presión de las tierras, y aun el de que se derrumba toda la pared. Para evitar esos daños puede organizarse la parte de la pared existente debajo de las aberturas como una pared independiente de sostenimiento. Si no se quiere renunciar a apoyar las paredes en el techo de los sótanos, es preciso reforzarlas verticalmente, sea adosándoles pilares de fábrica, sea mediante pilares armados.



En edificios de entramado en que los pies derechos o pilares se encuentren en la fachada, éstos tienen que soportar también la presión de las tierras, que es transmitida por las paredes exteriores. Para grandes distancias entre pies derechos, puede ser necesaria una armadura en dichas paredes. En determinadas circunstancias resulta más económico establecer nervaduras verticales de refuerzo.

Análogas son las circunstancias en las construcciones macizas con paredes de carga transversales. Según lo que requiera el trazado de la planta, los planos de las paredes transversales, en la mayoría de los casos, están situados a menores distancias que los pies derechos o montantes de las construcciones de entramado, por lo que constituyen un mejor refuerzo para las paredes exteriores de los sótanos. Además, las cargas verticales de las paredes ligeras del perímetro de los pisos superiores aumentan la seguridad de las paredes exteriores de los sótanos contra el derrumbamiento o vuelco.

Las paredes exteriores de los sótanos de construcciones macizas con paredes portantes longitudinales soportan tanto las cargas de las paredes como las de los pisos, techos y cubiertas. Si bien esas cargas verticales aumentan el grado de seguridad de las paredes exteriores de los sótanos, también resulta en este caso indispensable un refuerzo transversal suficiente para prevenir el pandeo. A este fin se prolongan, en cuanto sea posible, muchos tabiques y paredes divisorias hasta los sótanos, donde se les da un espesor de 1 asta. Si este tipo de construcción corresponde a las condiciones fijadas por la DIN 4106, los espesores de pared necesarios en cada caso pueden tomarse directamente de las tablas contenidas en dicha norma, para los diferentes materiales empleados.

Ejecución de la construcción

Paredes de sótanos de obra de fábrica

Si las paredes exteriores de los sótanos deben hacerse de obra de fábrica, hasta llegar a 50 cm por encima del nivel del terreno, deberá utilizarse en ellas el ladrillo macizo o el hueco con resistencias no menores de 100 kg/cm² (ladrillos cerámicos, ladrillos de cal y arena, ladrillos de escorias, ladrillos o bloques de hormigón pesado, mampuestos de piedra natural inalterable por los agentes atmosféricos), o también ladrillos o bloques de hormigón ligero según las normas DIN 18151 y DIN 18152, con resistencias a la compresión no inferiores a 50 kg/cm². El material más adecuado es la piedra natural que no sea heladiza. Las paredes exteriores de sótanos hechas de albañilería requieren como protección contra la humedad un enlucido exterior impermeable con una pintura hidrófuga. Los aglomerantes empleados en la obra de fábrica con que se construyen las paredes exteriores de los sótanos tienen que ser hidráulicos. Lo mismo que para las cimentaciones de albañilería conviene únicamente los morteros de los grupos IIa, y III, como p. ej. el mortero de cal hidráulica, el de cal y cemento o el mortero de cemento. En el capítulo "Paredes de obra de fábrica" se dan más detalles acerca de la ejecución de los diferentes tipos de obra de fábrica.

En las paredes de los sótanos puede prescindirse del examen de los efectos del empuje de tierras cuando:

- la altura libre del sótano es $\leq 2,60$ m
- el techo del sótano actúa como losa,
- las paredes están rigidizadas de acuerdo con el artículo 3.3 de la DIN 1053 (pág. 293/5),
- los gruesos y las distancias de las paredes que actúan como contrafuertes cumplen con la tabla 3,
- en la zona de repercusión del empuje de tierras sobre la pared del sótano las sobrecargas no exceden de 500 kg/m² (5 kg/m²) y la superficie del terreno no tiene pendiente hacia arriba,
- los gruesos mínimos de las paredes en relación con la altura del terreno sobre el pavimento del sótano cumplen con lo expuesto en la tabla 1 de la DIN 1053.

Tabla 1. DIN 1053. GRUESOS MÍNIMOS DE LAS PAREDES DE LOS SÓTANOS

	1	2	3
Grueso de la pared del sótano <i>d</i> cm		Altura <i>h</i> del terreno sobre el pavimento del sótano para una carga vertical sobre la pared (carga permanente) de $\geq 5 \text{ Mp/m (50 KN/m)}$	$< 5 \text{ Mp/m (50 KN/m)}$
1	36,5	2,50	2,00
2	30	1,75	1,40
3	24	1,35	1,00

Paredes de sótanos de hormigón

Las paredes de sótanos, de hormigón apisonado, se hacen generalmente con hormigones de las calidades Bn 100 y Bn 150. Según la DIN 1047, esas calidades de hormigón únicamente son apropiadas para aquellas paredes de sótanos que cuando

están húmedas no se hallan expuestas al peligro de las heladas (compacidad suficiente); de lo contrario, hay que emplear hormigón de los tipos Bn 150 o Bn 250.

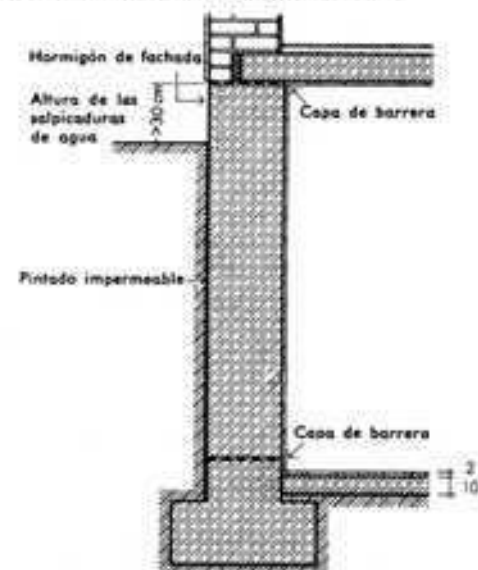
El hormigón empleado en las paredes de los sótanos se amasa con consistencia de tierra húmeda; los encofrados suelen ser de dos caras y el hormigonado se hace por capas de 30 cm, como máximo, que se apisonan bien. En terrenos muy coherentes que pueden ser cortados según paramentos verticales, sin desmoronarse, es posible operar con encofrados de una cara. Sin embargo, el hormigonado en contacto directo con el terreno exige una impermeabilización vertical de la pared por medio de pintados o enlucidos hidrófugos y requiere, por consiguiente, el empleo de un hormigón compacto e impermeable (elevada dosificación de cemento, adición de impermeabilizantes).

Paredes de sótanos de hormigón armado

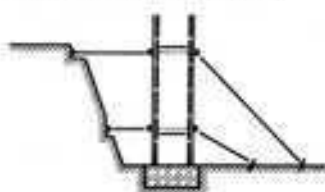
El empleo del hormigón armado para paredes de sótanos depende principalmente de las exigencias estáticas. En primer lugar estas paredes deben transmitir las cargas verticales a los cimientos. En este caso las paredes pueden estar solicitadas a pandeo. Además, las paredes exteriores de sótanos están sometidas a flexión debido a la presión de la tierra, lo que en el dimensionado aún es más importante que las cargas verticales.

PARED DE SÓTANO DE HORMIGÓN APISONADO

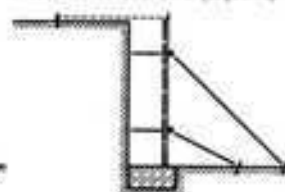
Compresión: 20 kg/cm², 8 80; 30 kg/cm², 8 120



Encofrado de dos caras (esquema)



Encofrado de una cara (esquema)

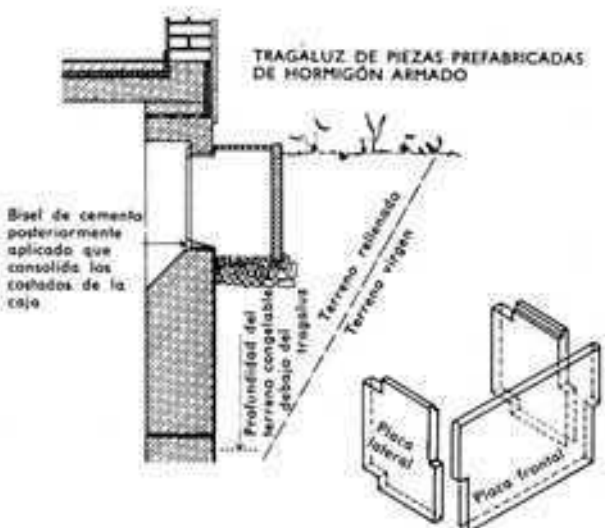
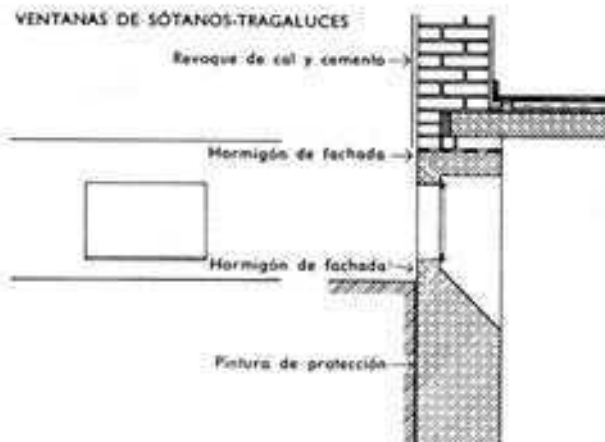


La clase de resistencia del hormigón que se debe emplear no depende sólo de las solicitaciones estáticas. Especialmente en las paredes exteriores de sótanos habrá que tener en cuenta las influencias químicas y físicas. Las aguas agresivas de la tierra atacan al hormigón y a la armadura, por lo cual la DIN 1045 exige para este caso un mayor recubrimiento mínimo de ésta.

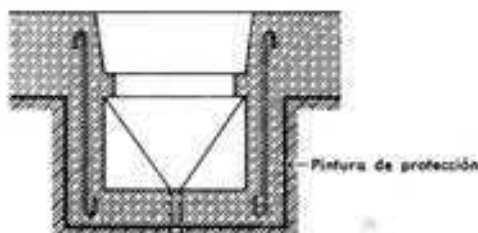
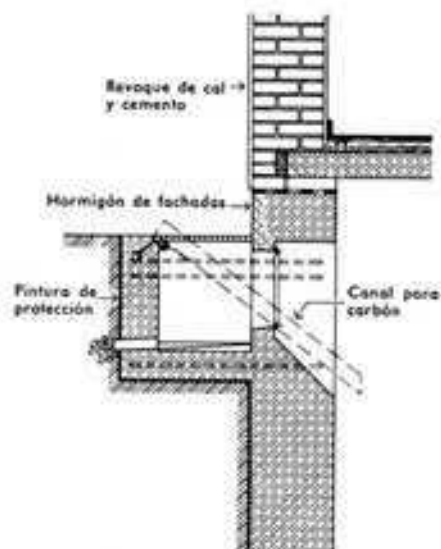
Ventanas para sótanos y cajas para tragaluz

El tamaño de las ventanas para sótanos viene determinado por la finalidad a que estén destinados los locales de los sótanos en cuestión. La altura mínima de una ventana de madera para sótanos es de unos 30 cm; la de una ventana de acero, de unos

VENTANAS DE SÓTANOS-TRAGALUCES



Tomada de la revista «Bauwelt»
núm. 11/1956



20 cm. Como derrames lateral y superior bastan unos 5 cm. En los sótanos o bodegas para productos agrícolas es conveniente que las ventanas sean pequeñas, con el fin de que los productos naturales allí almacenados no se hallen expuestos a variaciones de temperatura demasiado grandes. Por las mismas razones hay que evitar también que pasen por tales locales tubos de calefacción.

Si el zócalo es suficientemente alto, la ventana del sótano queda por encima del nivel del suelo y contribuye al aspecto exterior del edificio. Ofrecen un satisfactorio aspecto aquellas ventanas de sótanos sobre las cuales queda todavía visible un dintel suficientemente alto, o también aquellas que están enlazadas y combinadas con el borde superior del zócalo. Las de la segunda clase ofrecen ventajas, sobre todo, en el caso de techos de hormigón armado, pues el dintel de la ventana se coloca precisamente en los mismos techos, si bien entonces no conviene que éstos se prolonguen hacia el exterior (aislamiento térmico). Un arco revestido de ladrillo por la parte exterior puede también utilizarse a modo de dintel de la ventana.

En los hechos de vigas de hierro puede también darse el caso de que los cantos inferiores de vigas y dintel queden suficientemente altos para poder alojar la ventana del sótano en el interior de un intervalo entre dos vigas.

Es, sin embargo, ventajoso que el borde inferior del dintel de la ventana se halle suficientemente por debajo del techo de los sótanos para que detrás de dicho dintel quede sitio donde poder hacer pasar tuberías horizontales (tuberías de recinto).

Si el zócalo es demasiado bajo, se disponen las ventanas bajo el nivel del terreno y delante de cada una se construye una arca o caja como tragaluz. Las ventanas situadas parcialmente bajo el nivel del suelo no dan buen resultado. El arca o caja para tragaluz tiene que ir sólidamente fija a la pared de los sótanos; de manera que no sea arrancada si la obra hace asiento. Las cajas para tragaluces hechas de albañilería han de descansar sobre ménsulas empotradas en la pared; las de hormigón van suspendidas de hierros redondos que se dejan salientes al hormigonar la pared para enlazarlos luego con la armadura de los costados de la caja.

El voladizo o saliente de la caja se suele hacer aproximadamente de la misma dimensión que la altura de la ventana o tragaluz. Las cajas para tragaluces deben impermeabilizarse de la misma manera que las paredes exteriores de los sótanos. Deben tener un desagüe hacia un pozo absorbente situado más abajo para que tenga salida el agua que puedan recoger, procedente de las paredes exteriores de los sótanos. Para evitar que puedan meter inadvertidamente en ellos los pies las personas que por allí pasan, las cajas para tragaluces tienen que ir cubiertas con rejillas de hierro que no sean fáciles de levantar. En las cajas para tragaluces correspondientes a carboneras se coloca empotrada en el hormigón una barra de hierro redondo, que sirve para colgar de ella una tolva.

Las ventanas grandes sólo son necesarias en los locales de sótanos en que se necesite mayor cantidad de luz y ventilación, como p. ej. en cocinas y fregaderos, centrales de calefacción, almacenes, etc. En tal caso, las cajas correspondientes deben tener paredes más resistentes, de acuerdo con sus mayores dimensiones.

Cuando en los sótanos conviene alojar locales que necesiten mucha luz, como p. ej. talleres en edificios escolares, se disponen zanjas de iluminación con taludes inclinados. Por convenientes que sean para la aportación de luz, esas disposiciones siempre son en detrimento del buen aspecto exterior del edificio, al que dan una línea mal definida de su verdadera situación en altura sobre el terreno circundante.

Paredes exteriores

En la elección del tipo de pared que se adoptará para las paredes exteriores, se mezclan más que en la de otros elementos constructivos las consideraciones constructivas y las económicas. En este caso no se trata sólo de más reducidos costes de material y mano de obra, de tamaño, peso y número de los elementos que las componen, de la organización del trabajo, de la ejecución y montaje en fábrica o en la obra, sino principalmente también de

los costes para la calefacción y para el mantenimiento del edificio. En contraposición a una inversión en costes de construcción hecha una sola vez, se trata en este caso de gastos continuos de servicio que se presentan durante toda la existencia de una construcción. Por lo tanto, en un análisis de costes, una rentabilidad a largo plazo justifica mayores inversiones para la construcción de las paredes exteriores.

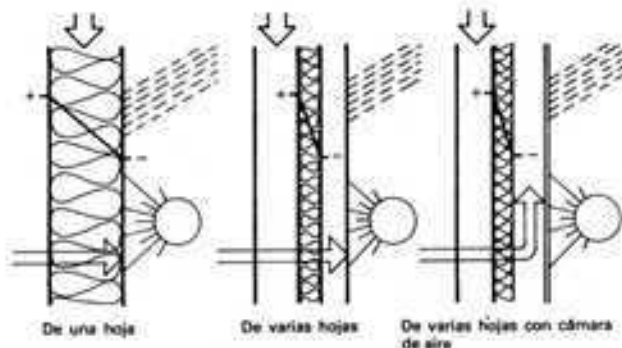
Todas las exigencias a que están sometidas las paredes exteriores las cumplan la mampostería tradicional y la construcción en madera maciza con sus secciones homogéneas de los espesores adecuados.

Hoy día, la pared exterior, en su mayoría, es una construcción parecida a la de las cubiertas formada por varias capas en hojas de diferentes materiales, que tienen las cualidades óptimas para cumplir las distintas funciones a que están destinadas —soportar, aislar, impermeabilizar—, y que se disponen exactamente dimensionadas en un orden determinado.

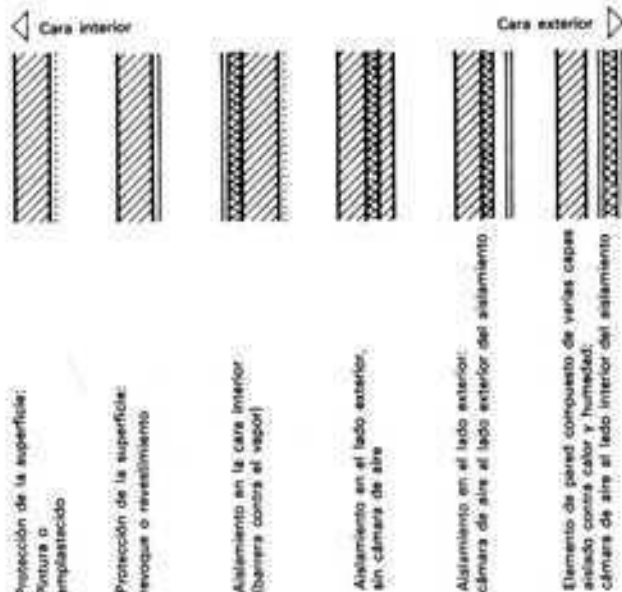
Los distintos tipos de paredes exteriores y las funciones de las diferentes capas pueden clasificarse según su composición en tres tipos fundamentales:

- Paredes de una sola hoja
- Paredes de varias hojas sin cámara de aire
- Paredes de varias hojas con cámara de aire

DESCOMPOSICIÓN DE LAS FUNCIONES DE UNA PARED EXTERIOR EN SOPORTAR - AISLAR - IMPERMEABILIZAR



SISTEMAS DE PAREDES EXTERIORES



Obra de fábrica vista

La obra de fábrica de ladrillo vista se nos ha conservado desde los tiempos de los romanos y desde de la Alta Edad Media. Pero en aquellos tiempos los costes de material, transporte y mano de obra aún no determinaban el tipo de pared, sino que éste se fijaba únicamente por la experiencia de los artesanos transmitida por tradición, que permitía obtener una protección duradera contra los agentes atmosféricos y suficiente seguridad estática.

El espesor de las paredes y el material, es decir, tanto el ladrillo macizo, que no estaba sinterizado debido a que el fuego de carbón vegetal no permitía obtener altas temperaturas, como los morteros hidráulicos que se empleaban, daban lugar a unos muros que, teniendo cierta capacidad de absorción y aislamiento, incluso con una sola hoja, eran impermeables a los aguaceros y ofrecía una buena protección contra la humedad, el frío y el calor. Antiguamente un espesor total de pared mayor de 40 cm era muy normal.

Fue la fábrica de ladrillo vista, aparejada en una hoja (incluso en zonas climáticas favorables) o que desacreditó el revestimiento de ladrillos vitrificados. Ejecutada en una hoja y con 24 o 30 cm de espesor, y finalmente hecha con ladrillos perforados con forzosamente poca superficie de adhesión del mortero, esta fábrica de ladrillos sin revoque tiene muy poca masa que ofrecer: a parte de suficiente protección térmica y contra la humedad, también el suficiente equilibrio térmico y de humedad entre el interior y el exterior.

La poca capacidad de acumulación de los ladrillos muy perforados, su forzosamente poca superficie de adhesión de mortero, la compacta estructura del material, sinterizado en alto grado, son inconvenientes que se presentan en la moderna tecnología de los materiales a consecuencia de los esfuerzos para conseguir menor necesidad de materias primas, un secado más rápido, un procedimiento de cochura más rápido y menos empleo de mano de obra.

Las paredes exteriores deben ejecutarse, en el caso de no revoque, sólo con ladrillos de fachada resistentes a las heladas. La industria los fabrica y suministra en forma de ladrillos corrientes o de ladrillos de cal y arena.

Todos los demás ladrillos macizos, huecos y bloques de hormigón ligero no son resistentes a las heladas según la interpretación de los Ensayos Oficiales de Heladicidad y requieren una protección adicional contra la humedad de acuerdo con la clase y cantidad de las precipitaciones de la comarca en que se hallan, y que puede ser, por ejemplo, un enlucido exterior hidrófugo o un revestimiento de tablas, placas, pizarras, planchas de piedra natural o artificial o de materiales equivalentes, como son, por ejemplo, las placas de fibrocemento.

Los medios químicos de protección, es decir, la impregnación de las superficies con sustancias hidrófugas —en ningún caso deben impedir la difusión del vapor— no son suficientemente seguros para la obra de fábrica vista; acaso una medida adicional (también para saneamiento), que habrá que renovar continuamente.

Más ventajosos son los aditivos de mortero, los cuales retienen el agua que presiona para penetrar en los poros (de lluvia incidente), pero que sin embargo no perjudican la "respiración" de la pared.

Los aditivos hidrófugos no deben emplearse para los mismos materiales que constituyen el mortero o el ladrillo, ya que impiden la adhesión entre ladrillo y mortero y disminuyen la capacidad de acumulación de la obra de fábrica, lo que, en el caso de lluvias fuertes, debido a las fisuras capilares inevitables, puede provocar unos efectos de verdadero bombeo.

Respecto al mortero para una obra de fábrica impermeable, aparte de las propiedades requeridas en la DIN 1053, 4.1 a 4.12, existen unas exigencias suplementarias. La arena a emplear, en lo posible de granulometría mixta y con una mínima porosidad intersticial, debe corresponder aproximadamente a la siguiente composición granulométrica:

Grupo granulométrico	porcentaje
0 - 0,2 mm	10 - 20 %
0,2 - 1 mm	30 - 40 %
1 - 3 mm	40 - 60 %

El porcentaje de la arena fina que pudiera faltar debe sustituirse por polvo de cuarzo, polvo de trass, etc. La arena de escorias no es apropiada.

Para obtener un mortero especialmente plástico, con gran elasticidad y cohesión, mejor capacidad de adhesión y de retención de agua, y con una mejor ductilidad y tenacidad, incluso en estado compactado, se recomiendan las siguientes porcentajes de mezcla:

Mortero de cal y cemento del grupo II (DIN 1053)

1 parte en volumen de cemento portland

2 partes en volumen de cal en polvo

8 partes en volumen de arena

Mortero de cal puzolánica

1 parte en volumen de cal puzolánica eminentemente hidráulica (de fábrica)

3,5 partes en volumen de arena de 0 - 3 mm

Mortero de cemento y puzolana

0,5 partes en volumen de cemento portland

1 parte en volumen de cal en polvo

1 parte en volumen de polvo puzolánico

7 partes en volumen de arena de 0 - 3 mm

Los morteros de cemento del grupo III, demasiado rígidos, demasiado pobres, pero también los morteros demasiado grasos, no pueden emplearse para la obra de fábrica expuesta a las lluvias oblicuas.

Sólo una dosificación exacta de los componentes, del mortero y una mezcla a máquina garantizan la composición y la homogeneidad necesarias.

Según el clima y la capacidad absorbente de los ladrillos habrá que humedecerlos previamente y emplear un mortero más o menos plástico. Deberá evitarse que durante el proceso de fraguado se produzcan grietas de contracción por haber sustraído demasiado antes de tiempo la humedad necesaria para la pasta de mortero y la adherencia. En cambio, los ladrillos vitrificados requieren un mortero más rígido, ya que en caso contrario estos ladrillos comenzarían a "flotar".

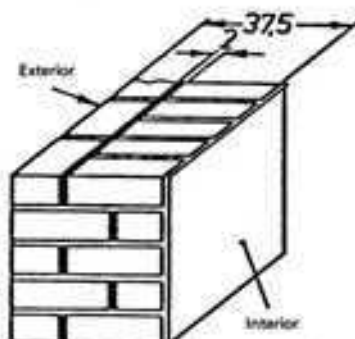
Para que las paredes exteriores de fábrica de ladrillos sean duraderas y resistentes a la intemperie son precisas estas condiciones: una ejecución concienzuda dejando las juntas llenas en toda la altura y profundidad de la obra, un recubrimiento completo de las perforaciones y sobre todo completa adhesión del mortero.

Esto se refiere principalmente a las juntas exteriores. El mortero que sobresale de las juntas debería quitarse sólo hasta dejarlo al ras del paramento mediante una viruta de madera o un trapo humedecido. El empleo de una llana no es aconsejable por provocar en la superficie planchada de mortero unas concentraciones de los materiales aglomerantes, que tienen la tendencia de producir grietas capilares. Por esto tampoco conviene raspar las juntas y llenarlas posteriormente, porque ya no se puede rehacer la original adhesión entre mortero y ladrillo.

5.1. Obra de fábrica vista en paredes exteriores (paredes con paramento de ladrillo visto de una hoja) Extracto de la DIN 1053

Para seguridad contra la lluvia oblicua, especialmente en edificios destinados a estancia permanente de personas, cuando las paredes exteriores son de obra vista debe haber en cada hilada por lo menos dos filas de ladrillo entre las cuales se haya dispuesto una junta longitudinal continua, alternada en las sucesivas hiladas, amorterada sin huecos, de 2 cm de espesor (entonces las paredes de asta y media, por ejemplo, tendrán un grueso de 37,5 cm en lugar de 36,5 cm, véase figura 2).

Fig. 2. SECCION DE UNA PARED EXTERIOR SUSTENTANTE DE UNA HOJA, DE 37,5 CM DE GRUESO DE OBRA DE FÁBRICA VISTA



En la cara vista, las juntas —cuando no se ha efectuado un alisado de las mismas— se rehundirán por lo menos 1,5 cm, raspándolas hasta dejar los flancos bien limpios, y rejuntándolas después convenientemente.

a) En el cálculo de las tensiones y en la determinación de las distancias entre las paredes transversales que sirven de contrafuerte, según la DIN 1053, tabla 3, página 10, hay que tomar como grueso de la pared sólo el grueso de la hoja exterior.

La masa impermeabilizante, dentro de la cámara de aire, debe dejarse con pendiente hacia fuera. También sobre los cargaderos de puertas y ventanas hay que poner una capa de impermeabilización con pendiente hacia fuera.

Dimensiones en cm

Ladrillo de ventilación

Impermeabilización según DIN 4117

Base de mortero

25

10

10

b) El grueso mínimo de la hoja interior se determinará según la tabla 8.

	1	2	3
	Número de plantas completas admisibles, incluido un desván utilizable	Con forjados que sólo carguen sobre paredes transversales de una hoja y con forjados macizos que repartan suficientemente las cargas en sentido transversal, por ejemplo, según DIN 1045	En todos los demás casos
1	2	11,5 ⁷⁾	24
2	≥ 3	17,5	24

7) Máxima sobrecarga vertical admisible incluido el recargo para tabiques ligeros, $p = 275 \text{ kg/m}^2$ (2,75 kN/m²)

g) La cámara de aire puede empezar a 10 cm sobre el nivel del terreno y desde allí, o desde el nivel superior de la estructura de estribación (véase apartado 1) debe extenderse hacia arriba sin interrupción hasta la cubierta o hasta el nivel inferior de la estructura de estribación.

h) Las hojas exteriores de las paredes deben llevar aberturas de ventilación, arriba y abajo, en todas sus secciones. Lo mismo deben cumplir las zonas de antepecho de las hojas exteriores. Las aberturas de ventilación deben tener una superficie de 150 cm², tanto arriba como abajo, por cada 20 m² de superficie de pared (puertas y ventanas comprendidas).

i) En la hoja exterior deben disponerse juntas de dilatación verticales. Sus distancias se determinan por las condiciones climáticas (temperatura, humedad, etc.), por la clase de los materiales y por el calor de la superficie exterior. Además también debe ser posible la libre movilidad de la hoja exterior en sentido vertical. Las juntas de dilatación deben rellenarse con un material adecuado que cierre bien y conserve sus propiedades durante largo tiempo.

Hay que tener en cuenta las diferencias de deformación entre las hojas interior y exterior de una misma pared, principalmente en edificios en que la hoja exterior abarca sin interrupción varios pisos, por los efectos que tiene en la disposición de las puertas y ventanas. En los puntos de contacto entre las dos hojas de la pared (por ejemplo en los marcos de puertas y ventanas) hay que poner entre ellas un material que actúe de barrera impermeable al agua.

5.2.2. Paredes de fábrica de ladrillo de dos hojas, sin cámara de aire (paredes de una hoja, con paramento de ladrillo visto).

En las paredes de obra de fábrica de dos hojas sin cámara de aire hay que tener en cuenta las siguientes observaciones:

a) En el cálculo de las tensiones, como grueso de la pared se tomará sólo el grueso de la hoja interior (trasdosado). Al determinar la distancia entre las paredes transversales que sirven de contrafuerte, según la tabla 3 de la DIN 1063 pág. 293/3, y en el cálculo de la esbeltez, se tomará como grueso de la pared el grueso de la hoja interior aumentado en la mitad del grueso de la hoja exterior, redondeando a un número entero de centímetros.

b) El grueso mínimo de la hoja interior se tomará según la tabla 8. La hoja exterior debe tener por lo menos un grueso de 11,5 centímetros.

c) En las paredes de fábrica de dos hojas, los forjados sólo se cargarán sobre la hoja interior.

d) Para el anclaje de las hojas de la pared se aplica lo dicho en el artículo 5.2.1. e) párrafos 1 a 3, pero bastan, independientemente de la altura de la pared, anclajes de alambre de un mínimo de 3 mm de diámetro.

e) Para el apoyo de la hoja exterior vale lo dicho en el artículo 5.2.1. f).

f) La hoja exterior y la junta entre las dos hojas se ejecutarán en morteros de los grupos II o IIIa.

Fig. 5. SECCIÓN HORIZONTAL POR LA JAMBA DE UNA VENTANA EN UNA PARED DE DOS HOJAS SIN CÁMARA DE AIRE, CON EL PARAMENTO DE LADRILLO VISTO. EN LA HOJA EXTERIOR SIRVE PARA FORMAR EL ANCLAJE DONDE SE COLOCA EL CERCO DE LA PIEZA QUE CIERRA LA VENTANA.

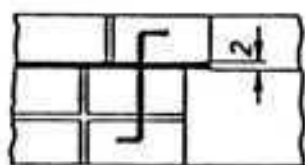
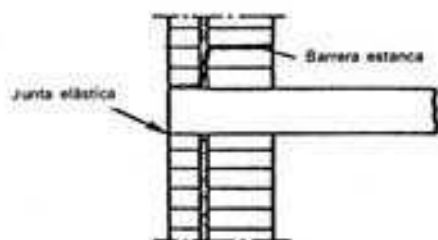


Fig. 6. CAPA ESTANCA SOBRE UNA ESTRUCTURA QUE ACTÚA PARA TRABAZÓN DE LA HOJA EXTERIOR EN UNA PARED DE DOS HOJAS, SIN CÁMARA DE AIRE, CON PARAMENTO DE LADRILLO VISTO. HAY QUE TENER EN CUENTA EL AISLAMIENTO TÉRMICO DEL FORJADO (POR EJEMPLO, HORMIGÓN LIGERO).



La hoja exterior se levantará con juntas totalmente amortecidas, de modo que se asegure la adherencia entre las sucesivas hileras. La junta entre las dos hojas de la pared debe tener, por lo menos, 2 cm de grueso y se irá rellenando por hileras al levantar la pared. La lámina de mortero que se forma en esta junta no debe quedar interrumpida en ningún lugar; no deben ponerse piezas a tizón que la atraviesan.

En los bordes libres de las hojas exteriores (en las esquinas del edificio, en las aberturas, a lo largo de las juntas de dilatación y en los extremos superiores de las hojas exteriores) hay que poner especial cuidado en que el relleno de mortero quede continuo y sin fallos. Hay que impedir por los medios convenientes que el mortero de relleno se escape por los lados. Cuando la hoja exterior sirve para formar resaltes en los huecos de la pared donde encajan los cercos de las piezas que los cierran, para evitar el humedecimiento por la parte de atrás de las piezas que sobresalen se prolongará hasta allí la lámina de mortero antes colada en forma de revoque hecho con la misma clase de mortero (fig. 5).

Para la ejecución de las juntas en la cara vista, véase lo dicho en el artículo 5.1.

La hoja interior y los forjados de los pisos deben protegerse contra la humedad que se infiltra y se remansa en los arranques de la hoja exterior y sobre los cargaderos de las puertas y ventanas (véase fig. 6.)

Hormigón visto

Las secciones de hormigón estáticamente suficientes raras veces cumplen por sí solas las condiciones que se exigen a una pared exterior. Sólo la aplicación de unos agentes químicos de impermeabilización y una capa de pintura para proteger el hormigón contra la humedad de las precipitaciones, y los conocimientos acerca de las relaciones entre la protección térmica y la difusión del vapor hicieron posible la construcción de paredes exteriores de hormigón visto. No obstante, en las latitudes geográficas de la Europa central sólo pueden emplearse estas paredes con restricciones, esto es, tomando precauciones físico-constructivas especiales.

Las paredes de hormigón visto con un aislamiento térmico en la cara interior están expuestas completamente a las oscilaciones de la temperatura exterior y de la irradiación solar. Como al mismo tiempo la compensación de temperaturas por el lado posterior está dificultada por el aislamiento —lo que conviene en tiempos fríos— las juntas para la compensación de las tensiones térmicas o bien las juntas de movimiento, en las paredes de hormigón visto tienen una importancia particular. El aislamiento térmico en la cara interior no está de acuerdo con la correcta composición de una pared de varias hojas, en la que la resistencia a la difusión de vapor de las distintas hojas debería reducirse hacia el exterior, para evitar una condensación antes de tiempo y una inhibición progresiva en la zona interior de la pared. Sólo mediante materiales aislantes de alto grado de impermeabilidad al vapor (por ejemplo vidrio esponjoso) o mediante una barrera contra el vapor situada en la cara de la capa de aislamiento que da al interior pueden impedirse dichos efectos. Por otro lado, esta composición de pared muchas veces ya no cumple con las exigencias dadas por el clima en un local. La barrera contra el vapor y la capa de aislamiento térmico impiden la compensación de humedades y la acumulación térmica en la masa de materiales de las paredes sustentantes.

Sólo las paredes de hormigón con aislamiento térmico en la cara exterior, con una hoja suspendida delante que sirva como pared de defensa contra la lluvia y deje entre ellas una cámara de aire, pueden satisfacer estas condiciones. Este es el motivo por el que en la práctica el hormigón visto sólo tiene una aplicación lógica y consecuente en el empleo de elementos prefabricados, compuestos de varias hojas.

Capas de pintura

En las fachadas se aplican muchas veces capas de pintura. Podemos clasificarlas en dos grupos principales:

Las capas de pintura que sirven sobre todo de protección de la fachada; y las capas de pintura que se emplean antes que nada por motivos de estética.

En ambos casos habrá que tener mucho cuidado al elegir la pintura.

Como hoy día en el mercado existen muchos materiales para pintar, inorgánicos y orgánicos, naturales y sintéticos, será necesario profundizar minuciosamente en los criterios exigidos para una capa de pintura. Tanto el material y las características de la fachada a pintar como las solicitaciones físico-constructivas procedentes del interior (calor, vapor) pueden tener mayor importancia que la resistencia a la intemperie.

En las materiales que por su aspecto natural participan en la composición de la fachada, como por ejemplo la obra de fábrica vista, el hormigón visto, la madera, etc., hoy día se aplica muchas veces una pintura de protección.

Esta pintura debe impedir la penetración de agua y descartar de este modo el peligro de daños causados por heladas y el de eflorescencias, y proteger contra los componentes agresivos del aire.

Las pinturas de protección y las impregnaciones deben resistir a los rayos ultravioleta y a las influencias atmosféricas. Pero en ningún caso deben influir en la "respiración" del material sobre el que están aplicadas.

Las pinturas que participan en la composición colorística de una fachada deben examinarse no sólo en lo que respecta a su compatibilidad con el fondo a que se aplican y su resistencia a la intemperie, sino además a su solidez a la luz y su poder de cubrición.

Al trabajar con las distintas pinturas deber seguirse exactamente las instrucciones de los fabricantes.

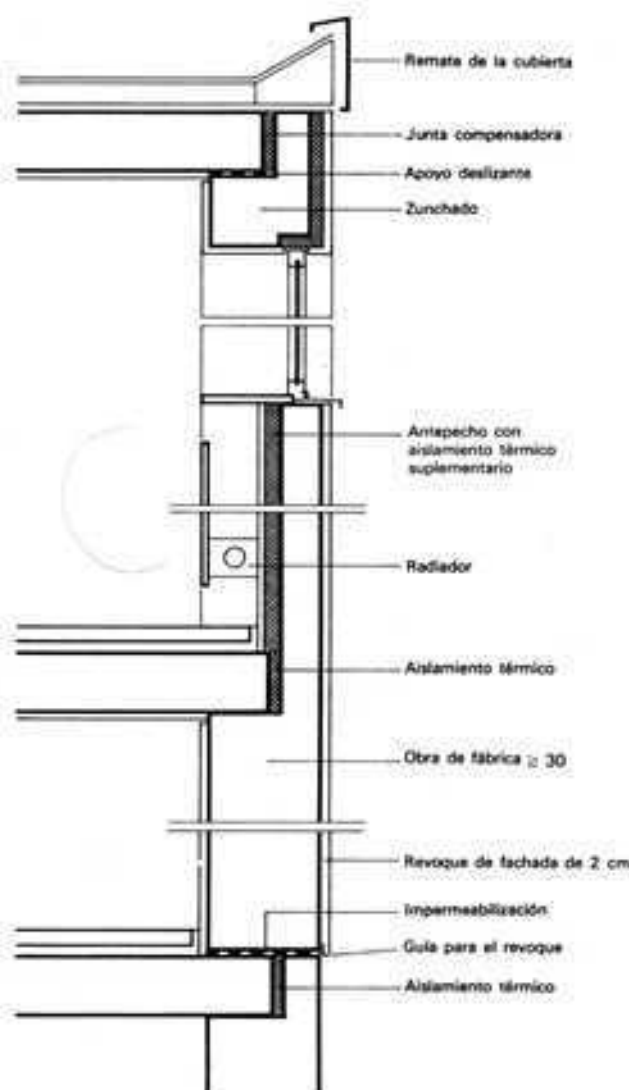
Revoque de exteriores

Según la DIN 1053 (obras de fábrica) y la DIN 18550 (revoques), el revoque de exteriores aplicado a paredes hechas con materiales que no son resistentes a las heladas debe ejecutarse como una piel resistente a la intemperie, en dos capas con un espesor total de 2 cm. Para conseguir una mejor unión entre este revoque y el fondo —especialmente cuando la obra de fábrica es lisa y poco absorbente— habrá que efectuar primero un enfoscado previo de cemento aplicado por proyección. Pero este revoque sólo tiene objeto si está proyectado de tal forma que cubre por completo la superficie de fondo, y cuando el fraguado y la retracción posterior pueden realizarse suficientemente antes de aplicar la capa interior de revoque, lo que según el tiempo requiere de unas 3 a 6 semanas. El revoque interior, o sea la capa interior del revoque es una capa de enfoscado que elimina las irregularidades del paramento y que debe resistir las tensiones debidas a las influencias atmosféricas y a los movimientos de la obra de fábrica.

Este revoque debe ser elástico y, con una suficiente resistencia, debe tener las suficientes elasticidad y porosidad para que no se produzcan grietas en el revoque, pero no obstante que pueda realizarse una compensación de aire y humedad a través de la pared. Para ello se emplean los morteros del grupo I (cemento de cal y arena) y del grupo II (mortero de cal y cemento). Las proporciones de mezcla se indican en las líneas 3-6 de la tabla de la DIN 1053 (véase pág. 124).

Como norma está el principio de que la capa inferior debe tener la misma resistencia, como mínimo, que la capa de revoque superior. Por lo siguiente se emplean aglomerantes hidráulicos que posibilitan el fraguado, incluso cuando está impedida la afluencia de ácido carbónico desde el exterior. La capa superior del revoque, que forma la superficie, se ejecuta cuando la capa inferior está suficientemente fraguada para que pueda soportar la nueva capa. La superficie debe dejarse rugosa o tiene que rasarse previamente.

Además, mediante los aditivos adecuados al revoque inferior, o aplicando capas de pintura sobre el revoque superior, puede aumentarse la resistencia a la penetración de humedades cuando existen fuertes influencias atmosféricas. La especial adecuación de estos materiales es importante ya que no deben impedir la capacidad de "respiración" de la pared; de lo contrario se pro-



ducirán daños por la humedad debida al vapor de agua introducido desde el interior.

Esto también se puede aplicar a los revoques de calidad, y capas protectoras a base de materiales sintéticos, que deberían ofrecer una especial resistencia a la intemperie, una particular estructura superficial y resistencia a la abrasión.

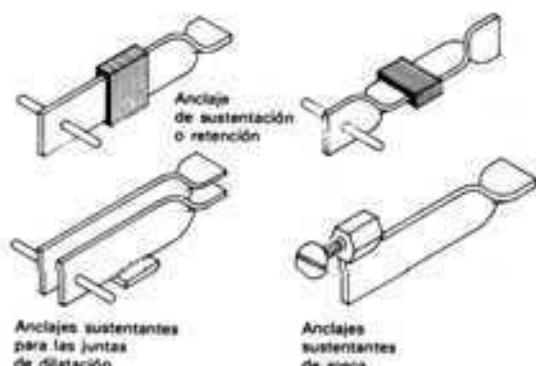
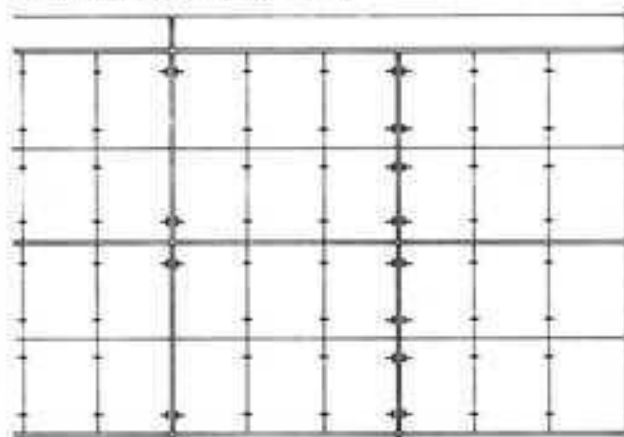
Las pinturas con lechadas que dejan transparentar el reticulado de las juntas no se consideran como revoques. Requieren, igual como la obra de fábrica vista y sin revocar, el empleo de ladrillos resistentes a las heladas. El revoque de zócalos y paredes exteriores de sótanos hechos con obra de fábrica se ejecuta mediante un enlosado de cemento del grupo III, hasta 50 cm encima del nivel de terreno. Debido a las grietas de retracción inevitables, se les aplica en toda la altura del terreno una pintura bituminosa de estanquidad en dos o, aún mejor, tres capas.

Revestimiento de paredes con placas de piedra natural y artificial, cerámica vitrificada y gres

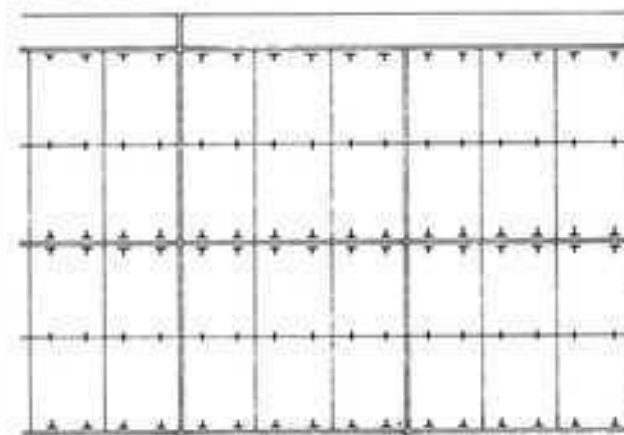
Las placas de piedra natural y artificial resistentes a la acción de los agentes atmosféricos ofrecen una ventajosa y duradera protección para las paredes exteriores. Valorizan, además, el edificio mejorando su aspecto exterior y por tal razón se emplean bastante a pesar de su coste relativamente elevado.

Un revestimiento de placas no debe imitar ni tratar de simular nunca un muro de soporte de cargas de mampostería o sillería. Se desplazan para ello las placas, sea cruzando las juntas, sea enlazando tamaños y formas de modo que siempre se vea que el revestimiento no corresponde a un soporte de cargas. Las juntas deben tener de 3 a 6 mm de anchura.

ANCLAJES EN LAS JUNTAS VERTICALES



ANCLAJES DE SUSTENTACIÓN EN LAS JUNTAS HORIZONTALES



Las placas de piedra natural, según la resistencia que tenga este material se hacen de 2 a 4 cm si son de piedra caliza y de 6 a 10 cm si son de piedra arenisca.

Las placas de piedra artificial se hacen de hormigón con la cara principal hecha de polvo y arenilla de piedra aglomerados con cemento y pueden ser fabricadas en varios gruesos y tamaños. Las placas de tamaños grandes requieren la incorporación de una armadura para evitar su rotura durante el transporte. El tamaño máximo de las placas depende del peligro de rotura a que se hallen expuestas y de su peso. Las placas deben poder ser transportadas y manejadas por dos hombres sin tener que recurrir al empleo de aparejos.

Después de la segunda guerra mundial, como manifestación del aumento del nivel de vida se revistieron cada vez más las fachadas con losetas de gres, de piedra artificial y de piedra natural. Lo que se encuentra con más frecuencia son los revestimientos con losetas de gres y de cerámica vitrificada de diferentes tamaños. Según la experiencia de que en la actualidad disponemos, el que ha dado mejor resultado en cuanto a la adherencia es el tamaño de 5 x 5 cm, con juntas de 5 mm de grueso. No es recomendable hacer las juntas demasiado estrechas a fin de que en ellas se introduzca un filete de mortero, con lo que aumenta la sujeción de las losetas a la pared. Contra el ataque de los agentes atmosféricos los materiales más resistentes son los barnizados y los vidriados. Estas losetas también son resistentes a las heladas.

Las baldosas vitrificadas, además, no se agrietan, resisten bien los golpes y son inalterables por la acción de ácidos y álcalis. Las superficies de paredes revestidas con estas baldosas no exigen ningún cuidado de entretenimiento o conservación y no se ensucian tan pronto como las fachadas enlucidas, en las ciudades fabriles donde el aire está cargado de partículas de hollín. La variedad cromática de las baldosas permite, además, dar a las grandes superficies de pared mucha vida y un especial encanto decorativo.

Las baldosas se fabrican con diferentes tamaños y proporciones y se colocan directamente sobre la obra de fábrica con un mortero de cemento 1 : 4. Las juntas se hacen de 5 a 8 mm de anchura. Las ranuras a cola de milano del reverso de las baldosas proporcionan a éstas una buena adherencia con la capa de mortero.

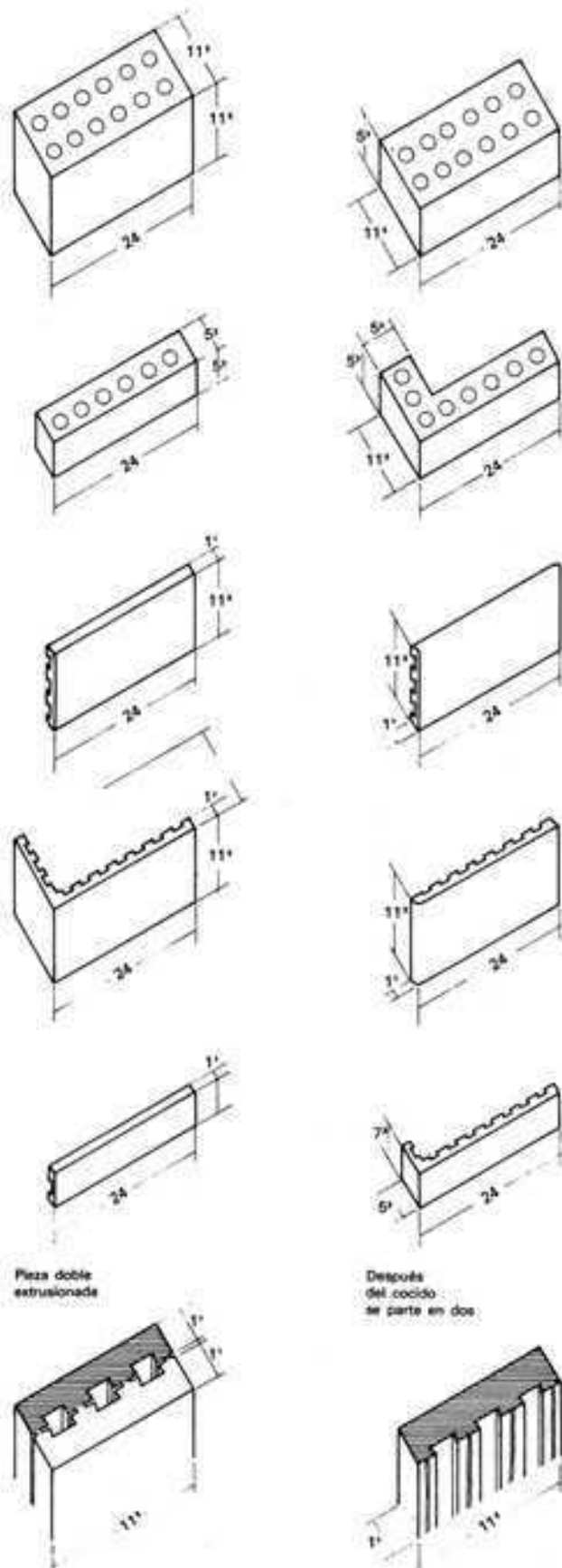
Muchas veces, al cabo de uno o dos años de verificada la construcción se han producido algunos defectos importantes, como el haberse desprendido parte del revestimiento de losetas o el presentarse humedades en el paramento interior de las paredes exteriores revestidas con losetas. Las causas de estos desperfectos

DISTINTAS CANTIDADES DE JUNTAS PARA LOS DIFERENTES TAMAÑOS DE LOS ELEMENTOS DE REVESTIMIENTO

Revestimientos cerámicos					
Piezas partidas	Piezas alargadas	Mosaico de tamaño medio	Mosaico de tamaño pequeño		
					100
					75
					50
					25
					0
24/11"	24/7" (7")	24/5"	4"/4"	2/4"	2/2"
32 U/m²	48 U/m²	64 U/m²	400 U/m²	800 U/m²	1600 U/m²
Cantidad de juntas					
12%	18%	20%	30%	33%	36%
Altura de las hiladas cm					

tos pueden ser —aparte de deficiencias en la mano de obra— muy diversas, pero siempre hay que atribuirlos en última instancia a no haber tenido en cuenta determinadas cuestiones relacionadas con la física o la estática.

TAMAÑOS DE LOS LADRILLOS RECOCIDOS PARA REVESTIMIENTOS



Generalmente el revestimiento resistente a los agentes atmosféricos de material cerámico colocado con mortero era más impermeable a vapor que las capas interiores de la pared. Esto tenía fácilmente como consecuencia, a causa de la difusión del vapor, el que estas capas interiores quedasen empapadas de vapor con lo cual disminuía el aislamiento térmico y podían producirse daños por las heladas. Esto y las adicionales tensiones térmicas entre las distintas hojas de la pared sometían a un extremado esfuerzo la unión realizada por el mortero, sobre todo cuando se trataba de placas de material oscuro, que se calienta y dilata en un grado considerablemente mayor que el material claro.

Con una barrera contra el vapor en la cara interior, una mayor cantidad de juntas en la superficie del revestimiento (por ejemplo juntas de 5 mm en placas de sólo 5 x 5 cm) y con el empleo de placas de color claro y la adopción de juntas elásticas de dilatación para compensar las tensiones térmicas, estos tipos de paredes exteriores compuestas por varias capas, pero que consisten en una sola hoja, en condiciones normales también podrían ser aceptables en el aspecto físico-constructivo.

Principalmente en el caso de emplear grandes placas de piedra natural o artificial, se impuso como mejor solución la pared de revestimiento, con cámara de aire, suspendida mediante unos anclajes metálicos. Este sistema resulta obligado para revestimientos con placas oscuras, ya que tienen mayores tensiones térmicas y transmiten en verano demasiado calor hacia el interior.

No sólo en cuanto a la protección contra la humedad y la difusión del vapor, sino también respecto al aislamiento térmico y a la compensación de las tensiones de dilatación entre la estructura y la pared protectora, se crean de este modo unas condiciones óptimas.

El desarrollo de este sistema constructivo condujo finalmente a la prefabricación de elementos de fachada compuestos por materiales cerámicos de pequeños tamaños que pueden elaborarse en fábrica en forma de ligeras placas de revestimiento, con armadura de transporte, o también en forma de placas pesadas de fachada de tres capas. Con esto se mejora la difícil composición de pared cuando se trata de revestimientos a base de placas colocadas con mortero, y por otro lado se reduce el coste de la mano de obra.

Instrucciones para el empleo de cementos de piedra natural en la construcción, publicadas por el "Deutscher Naturwerksteinverband e.V." de Würzburg, edición: enero de 1973

2.1. Base del revestimiento

La superficie sobre la que se aplica el revestimiento exterior debe ser impermeable al agua y al viento. Igualmente todos los puntos de unión (como por ejemplo ventanas y puertas) deben quedar impermeables al agua y al viento.

2.1.1. La superficie sobre la que se aplica el revestimiento debe examinarse con anterioridad para ver si es perfectamente plana y está alineada con exactitud en sentido horizontal y vertical.

2.1.2. Según sea mayor o menor el saliente de las anclas (a) deberá utilizarse el tipo de anclaje adecuado. Pueden ser necesarios anclajes especiales.

2.1.3. La superficie sobre la que se aplica el revestimiento debe haber fraguado antes de colocar las placas y no debe estar helada. No deben colocarse las placas sobre superficies heladas o con defectos de cualquier otro tipo. (Véase también artículo 1.3.)

2.1.4. Antes de proceder al dimensionado deben establecerse los espesores del aislamiento térmico exterior y del aislamiento contra la humedad previstos. Por consiguiente, al dimensionar la sección de los anclajes habrá que tener en cuenta estos elementos suplementarios no portantes.

Antes de comenzar las obras de revestimiento, el responsable de la obra debe estar enterado de que el fabricante de piedras naturales no puede realizar ningún tipo de comprobación responsable del aislamiento térmico y la protección contra la humedad, del material ya colocado. Hay que informar inmediatamente a la dirección de la obra cuando se producen daños visibles en la capa aislante.

Después de colocar los anclajes en sus alojamientos debe reponerse adecuadamente el material de aislamiento que previamente se había sacado de la capa aislante.

2.1.5. Al trabajar al aire libre hay que exigir de la dirección de la obra la derivación de las aguas pluviales de las cubiertas y superficies voladas.

2.2. Formas de colocación

Una condición para la colocación es el anclaje correcto. Debido a las experiencias hechas hasta hoy día, pueden recomendarse las siguientes formas de colocación:

2.2.1. Ejecución en forma de revestimientos sobre capa continua de mortero

La colocación del revestimiento sobre una capa continua de mortero en general con placas mayores de 0,1 m² cada una, debería limitarse, según indica la experiencia, a revestimientos de fachada hasta la altura de los bajos, y aun sólo a elementos de fachada y revestimientos de pies derechos expuestos a choques.

La capa de mortero debería ser de un mortero monogranular con áridos de 7 mm de diámetro máximo.

El trasdosado de mortero se debe efectuar por capas.

Si se ponen aislamientos contra la humedad en la pared exterior, deben situarse en la cara caliente de la pared, para evitar daños por condensación.

Al trasdosar revestimientos con mortero no debe perjudicarse en forma inadmisiblemente el aislamiento térmico de posibles capas aislantes situadas en la obra de fábrica (por ejemplo, un aislamiento exterior de elementos de hormigón armado mediante planchas ligeras de lana de madera empleadas como encofrado perdido). Por consiguiente, habrá que disponer previamente un tapaporos que permita el paso del vapor de agua (revoque de cemento proyectado). (Véase también DIN 18515, artículo 1.7.1.)

Es admisible la adición en pequeña cantidad de materiales plastificantes al mortero de trasdosado y al de las juntas. Al emplear aditivos deben tenerse en cuenta las características específicas del material y adoptarse las correspondientes precauciones. Los aditivos no deben perjudicar las características del mortero ni aumentar la resistencia a la permeabilidad al vapor de agua ni favorecer los esponjamientos ni provocar la corrosión de la armadura (DIN 18515, art. 4.2.2.).

El agua de lluvia que desde el exterior penetra en la capa porosa de mortero y la humedad que se difunde desde el interior de la obra y el agua de condensación, deben tener la posibilidad de evacuarse hacia abajo (drenado). Por consiguiente, la hilada inferior de placas no debería situarse bajo el nivel del terreno o de la acera.

2.2.1.1. Las placas de revestimiento para zócalos, plantas bajas y pies derechos sólo pueden colocarse sobre una capa continua de mortero cuando son de una clase de piedra natural adecuada y se siguen las debidas instrucciones de anclaje. (Véase también art. 2.5.)

2.2.1.2. Para placas gruesas, a partir de 6-8 cm, hay que disponer una capa continua de mortero, sobre todo cuando las piedras, en aparejo de soga y tirón, mantienen suficiente trabazón.

2.2.1.3. Para el relleno de mortero deberían emplearse, según el tipo de piedra, morteros de cal y cemento (grupo de morteros II según DIN 1053) o mortero de cemento puzolánico a iguales proporciones de mezcla; si se emplea piedra caligábrica se emplearán sólo morteros de cal (grupo de morteros I según DIN 1053) o mortero de cal puzolánico. (DIN 18515, art. 3.1.)

El árido a emplear debe ser puro, lavado, de granos redondos y libre de componentes perjudiciales. Las arenas grasas carboníferas o que contienen humus son nocivas para los morteros y por consiguiente su aplicación está prohibida. (Alteración del color de las piedras naturales.)

La base a que se aplica el revestimiento y la cara posterior de la piedra que se aplica habrán de mojarse suficientemente para que no se extraiga del mortero el agua necesaria para el fraguado.

2.2.1.4. Espesores de ejecución

Según ATV DIN 18332, art. 3.6. y siguientes, el espesor de la capa de mortero, incluida la nivelación de pequeñas desigualdades, es de hasta 20 mm. El espesor total alcanza por lo tanto 20 mm de capa de mortero, con las correspondientes tolerancias admitidas por la DIN, además del espesor de la placa previsto.

Si se requieren capas de mortero más gruesas, repercutirán en un mayor coste. Habrá que prever mayores secciones de anclaje en las fachadas. (Véase también art. 2.1.2.)

Al determinar el tipo de anclaje debe sumarse el peso correspondiente del mortero al peso de las placas de piedra. Mortero de cemento, y mortero de elemento puzolánico (según DIN 1055, hipótesis de carga para construcciones, materiales almacenados, materiales de construcción y elementos constructivos) = 2.100 kg/m³ = 21 kg/m² al tener 1,00 cm de espesor de mortero; y mortero de cal y cemento o cemento puzolánico = 2000 kg/m³ = 20 kg/m²/1 cm.

2.2.2. Ejecución con cámara de aire

Todos los revestimientos de fachada, excepto los elementos de fachada y pies derechos expuestos a choques, deberían ejecutarse con cámara de aire. Esta cámara de aire en la fachada debe tener un espesor de 20 mm, como mínimo (DIN 18515, art. 2.00). Para garantizar la circulación del aire en la cámara, deben disponerse, tanto en los extremos su-

perior e inferior de la fachada como debajo de los antepechos de las ventanas unas ranuras de ventilación en forma de juntas abiertas con una sección total de 10-30 cm² por metro cuadrado de superficie de fachada (1-3%). Cuando las fachadas son muy altas y cuando la base está hecha con materiales de alta permeabilidad al vapor de agua o alta capacidad de hidratación, hay que aplicar el mayor coeficiente de ventilación, o bien dejar juntas abiertas.

2.2.2.1. Hay que cubrir la pared de obra de fábrica mediante una capa impermeable de cemento proyectado. Se empleará como árido una arena de granos gruesos (mortero de cemento MV = 1:2 a 1:3; granulación, 0-7 mm).

2.2.2.2. Según DIN 18515, art. 1.7.1

Cuando la pared delante de la cual se coloca un revestimiento con cámara de aire se compone de materiales de aislamiento térmico permeables al aire, cuyos efectos de aislamiento pueden ser perjudicados por el paso del aire, habrá que equiparlos con un tapaporos permeable al vapor de agua (véase por ejemplo DIN 1102 "Planchas ligeras de lana de madera según DIN 1101 en la edificación; directrices para su empleo"; capas de mortero proyectado que cubren por completo la superficie. Véase también DIN 18515 art. 1.7.1.1.)

2.2.2.3. En comparación con otras, hay que dar preferencia a las placas aislantes de fibras minerales con poca resistencia a la difusión de vapor de agua. Deben ser resistentes a la putrefacción.

2.2.2.4. Al realizar el drenaje de los elementos de fachada por detrás del revestimiento, debe utilizarse como aislamiento térmico exterior un material especialmente protegido en su superficie.

2.2.2.5. No es admisible la colocación sobre puntos y franjas de mortero (véase 2.6, Anclaje).

2.4. Espesores mínimos y tamaños de las planchas

El espesor mínimo de las planchas de fachada de hasta 1,00 m² es de 30 mm. Cada plancha de fachada debe dimensionarse según los siguientes criterios:

- a) Esfuerzos en los orificios por donde pasan los vástagos de los anclajes.
- b) Resistencia a la flexión y a la tracción (peso propio, acción del viento).
- c) Relación de costados (ancho de plancha o altura de plancha). (Por lo demás, véase método del dimensionado de planchas, parte II.)

2.4.1. Para el revestimiento interior puede preverse por el contrario un ancho de placa de 2 cm.

2.4.2. Los revestimientos de zócalos y de planchas bajas están generalmente en la zona de fachada expuesta a choques. Por consiguiente deben aplicarse los espesores mínimos según el art. 2.4.

2.5. Material de anclaje

Por estar al aire libre, los anclajes de sustentación y de retención, los elementos de sujeción, los anclajes roscados, los vástagos de los anclajes y los armazones de anclaje soldados deben ser de acero inoxidable. Según DIN 18515, art. 2.2.1., deben emplearse para los anclajes los siguientes tipos de acero, fijados en la DIN 17440:

1.4571 x Cr/Ni Mo Ti - 1810

1.4580 x Cr/Ni No Nb - 1810 o para tornillos

1.4401 x 5 Cr Ni No - 1810.

2.5.1. En los trabajos al aire libre no deben emplearse alambres para la fijación

2.5.2. Al aplicar el revestimiento sobre una capa de mortero continua, en las zonas de las fachadas expuestas a choques deben rechazarse los anclajes galvanizados al fuego, ya que la fina capa de cinc puede dañarse con facilidad durante la colocación. Estos anclajes invisibles, solicitados a varias clases de esfuerzos, están además expuestos de manera permanente a los efectos agresivos atmosféricos que penetran libremente a través del relleno de mortero.

2.5.3. Los anclajes de sustentación, los anclajes de retención y los elementos de sujeción deben satisfacer las exigencias estáticas. Los anclajes de sustentación deberían introducirse sólo de canto en la pared a la que se aplica el revestimiento.

2.5.4. Los anclajes de retención generalmente tienen por objeto evitar que el revestimiento apoyado sobre anclajes sustentantes se separe del muro y deben resistir los esfuerzos debidos al viento. Por consiguiente, habrá que tener en cuenta la profundidad de penetración y un relleno correcto de mortero.

2.6. Anclaje

2.6.1. Cada elemento de un revestimiento de fachada o de pared debe anclarse de forma estable a la base sobre la que se aplica. El amortiguamiento no puede considerarse como portante.

Suplemento C. - Ejemplos de aplicación

2.6.6.1. Toda pieza de un revestimiento debe ser anclada por cuatro puntos. La profundidad de los huecos donde se alojarán los anclajes debe ser de 30 mm como mínimo. El diámetro de estos huecos para vástagos colocados con mortero debe ser por lo menos 3-4 mm mayor que el diámetro del vástago.

2.6.1.2. En la junta vertical sólo puede colocarse un anclaje de sustentación.

2.6.1.3. En la junta horizontal deben disponerse dos anclajes de sustentación sin unión a tracción o compresión, con la plancha interior.

2.6.1.4. Si las placas están colocadas a rompejunta y los anclajes se disponen en las juntas horizontales, las anclas sustentantes no deben tener sus vástagos encajados en las planchas interiores (se impediría el movimiento).

2.6.2. El tipo de anclaje previsto y su cálculo estático, deben indicarse en un plano de colocación que se presente al solicitar el permiso de ejecución.

2.6.3. Los anclajes previstos deben indicarse en el plano de colocación con los mismos números con que figuran en los cálculos estáticos o con la denominación del tipo del anclaje ensayado.

2.6.4. Cuando existe fuerte circulación vial, las planchas suspendidas de revestimientos colgados libremente pueden desprenderse (debido a las vibraciones continuas) de sus huecos de vástago. Este tipo de planchas no debe suspenderse mediante colocación en huecos de vástago barrenados, sino que para la suspensión se necesitan dispositivos especiales (véase suplemento C 29, art. 2.41).

2.6.5. Las franjas, como por ejemplo las molduras o marcos de piedra, pegados sobre las placas de fachada mediante un adhesivo para piedra (adhesivo plástico) necesitan además una fijación complementaria mediante vástagos inoxidables.

2.6.6. Hueco de anclaje y mortero de anclaje

El hueco de la pared donde se introduce el anclaje (taladro) debe tener la profundidad prescrita para los anclajes de sustentación y de retención. Debe ensancharse hacia el interior en forma de cola de milano.

2.6.6.1. Antes de amortear el anclaje e incluso antes de echar en el hueco el mortero que le sirve de lecho, hay que limpiar bien el hueco y humedecerlo suficientemente para que el mortero del anclaje no pierda el agua necesaria para el fraguado.

Sólo los huecos bien limpios y suficientemente humedecidos garantizan una exacta resistencia y unión del mortero del anclaje con la base a la que se aplican.

2.6.6.2. Los anclajes deben sujetarse a la pared a que se aplica el revestimiento, con suficiente profundidad y seguridad. Para la sujeción debe emplearse mortero del grupo III según DIN 1053, con cemento según DIN 1164. Se recomiendan los cementos con elevada resistencia inicial. (DIN 18515, art. 2.3.3).

2.6.6.3. No está admitido el empleo de yeso, de cemento aluminoso fundido de aditivos para el mortero y el hormigón que contengan cloruros (por ejemplo anticongelantes, aceleradores de fraguado, aditivos para aumentar la plasticidad del mortero aireantes).

2.6.6.4. Se recomienda acuar el anclaje en su hueco mediante piedras después de haber inyectado el mortero y tener en cuenta que debe disponerse una capa gruesa de mortero debajo de la placa de distribución de la presión del anclaje sustentante. Se indica especialmente la necesidad de las placas soldadas de distribución.

2.6.7. Vástagos de anclajes y huecos para ellos en las planchas

En los trabajos al aire libre los vástagos de los anclajes de sustentación o de retención deben tener un diámetro de 5 mm y ser hechos del mismo material que la misma ancla (tablas de anclajes).

2.6.7.1. El diámetro del vástago y el empotramiento del mismo también dependen de otras exigencias estáticas (tablas de anclajes—gruesos de los vástagos).

2.6.7.2. Los vástagos no deben introducirse en las planchas a golpe de martillo, pues podrían producirse tensiones perjudiciales.

2.6.7.3. Los huecos para los vástagos de anclaje en que se haya desprendido la piedra no deben ser masillados con Akemi u otros productos, sino que hay que hacerlos de nuevo en otro lugar adecuado.

2.6.7.4. El tamaño de los agujeros para vástagos en que se colocan manguitos de plástico que permiten el deslizamiento depende del diámetro del vástago y del diámetro exterior del manguito correspondiente. El diámetro exterior del manguito de plástico es de

7,4 mm para vástagos de 5 mm

8,7 mm para vástagos de 6 mm

Estos manguitos plásticos que permiten el deslizamiento requieren agujeros de vástago taladrados céntricos. El diámetro del taladro debe ser tal que pueda contener el manguito de plástico, de en general 30 mm de longitud, inclusive el adhesivo plástico.

Los manguitos deben empotrarse en los agujeros taladrados mediante un adhesivo plástico adecuado.

2.6.7.5. Los agujeros para los vástagos que van empotrados con mortero deben tener un diámetro 3-4 cm mayor que los vástagos. También deben tener 5 mm más de profundidad que la que alcance el vástago.

2.6.7.6. Las distancias entre los taladros deben tomarse siempre iguales por la superficie vista de las placas de revestimiento.

2.6.7.7. Antes de introducir los vástagos, se llenan los agujeros de anclaje con un mortero de cemento fino y otro material de relleno adecuado.

2.6.8. Cuando se emplean cuarcitas, pizarras o un material similar con hojas de exfoliación, se recomienda ejecutar los agujeros de los vástagos con barrenas huecas de diamante para evitar cualquier efecto de hendidamiento y exfoliación. Además, los diámetros de los vástagos deberían tener 5 mm como mínimo, para conseguir una baja tensión en el borde del agujero del vástago, ya que la carga vertical actúa según la cara natural de exfoliación.

2.6.9. Cuando los anclajes de sustentación y de retención se fijan a elementos metálicos de carga (vigas, pies derechos y jácenas) deben tenerse en cuenta las normas sobre las construcciones metálicas, DIN 1050.

2.7. Juntas de mortero, juntas elásticas, juntas abiertas

2.7.1. En los revestimientos de fachada se recomienda ejecutar las juntas, horizontales y verticales, de 4 mm como mínimo.

2.7.2. Hay que procurar una disposición regular de las juntas.

2.7.3. Juntas de mortero

Las juntas de mortero en revestimientos de fachadas sólo se emplean para revestimientos colocados sobre una capa continua de mortero, en elementos de fachada y pies derechos expuestos a choques.

2.7.3.1. Si no se prescriben piezas de plomo como elementos distanciadores, se colocarán unas plaquitas de pizarra, de resina artificial o de linóleo que penetren en las juntas por lo menos hasta 1,00 cm desde el canto exterior de las piedras. El espesor de estas plaquitas debe estar en relación con el de la junta.

2.7.3.2. Las juntas deben llenarse con un mortero adecuado. Debe ser elástico y bien elaborable. (Proporción de mezcla = 1:3 a 1:4.) Como mortero para las juntas tiene que emplearse un mortero no demasiado graso ni demasiado húmedo, con adición de arena cuarzosa, o bien un mortero prefabricado. El grano del árido no debe ser mayor que un tercio del espesor de la junta.

2.7.3.3. Antes del amortearado habrá que limpiar cuidadosamente las superficies de junta quitando los restos de mortero, y mojar bien la junta.

2.7.3.4. Al efectuar los trabajos de rejuntado hay que asegurarse de que la parte posterior de la junta, profunda, quede completamente llena de mortero. Nunca debe ponerse el mortero sólo en la cara exterior dejando hueca la parte posterior de la junta. En este caso, más o menos tarde, el mortero saldrá de la junta, y podría penetrar el agua.

2.7.4. Juntas cerradas con pastas especiales (juntas elásticas)

Juntas entre placas — Juntas de dilatación entre placas — Juntas de unión — Juntas de separación.

2.7.4.1. Las juntas de placas se cerrarán con una masilla adecuada, inalterable, de buena adherencia y que no produzca manchas (véase también DIN 18515, art. 2.3.1.2).

2.7.4.2. Las juntas entre placas que se cierran con masilla deben tener un grueso de 5 mm como mínimo para que sea posible introducir en ella el material.

En general, los gruesos de las juntas dependen de la dilatación prevista del material (tabla 1-9 C 13-21) y de la plasticidad permanente de la pasta empleada.

2.7.4.3. Se empieza disponiendo sobre la pared a que se aplica el revestimiento una franja de un material de relleno. Este material ha de llenar la junta hasta una profundidad mínima de 6 mm con un espesor igual al de la junta (hasta 10 mm de ancho de la junta).

2.7.4.4. Los posibles restos de mortero que se hayan producido al amortear la junta o al colocar los anclajes, deben quitarse cuidadosamente de los cantos de las placas.

Se conseguirá una impecable adherencia de la masilla siempre que los cantos de la placa no lleven nada de polvo. Se recomienda un tratamiento previo de los cantos de la piedra mediante una imprimación adherente. (Habrá que fijarse en las prescripciones del fabricante.)

2.7.5. Juntas de dilatación entre placas

Las juntas de dilatación entre placas en revestimiento de fachadas sólo se ejecutan actualmente cuando se trata de un revestimiento sobre una capa continua de mortero en partes de fachadas o de pies derechos expuestos a choques. En revestimientos de fachada con anclajes a base de manguitos se puede prescindir de las juntas de dilatación.

2.7.5.1. Teniendo en cuenta las variaciones de $\pm 50^\circ \text{C}$, indicados en la DIN 18515, art. 1.6.2; y las previstas dilataciones del material que resultan de ellas, habrá que determinar la distancia entre juntas de dilatación según la tabla 9, apéndice C-21, suponiendo una junta de dilatación de 10 mm de espesor y una capacidad de dilatación permanente de la masilla, sin producción de desperfectos de un 20%. Como se trata sólo de determinados elementos de fachada, en general de revestimientos de plantas bajas, las juntas se limitan en una horizontal al final de la planta baja.

2.7.5.2. Las juntas de dilatación deben colocarse sobre unas tiras de un material de relleno adecuado puestas en la capa de mortero continua, antes de cerrar la junta mediante unas pastas adecuadas (apéndice C-25).

2.7.5.3. Los elementos empleados como distanciadores, por ejemplo cuñas de madera y tiras o plaquitas de diversos materiales, así como

todo resto de mortero, deben quitarse cuidadosamente a fin de que no sea posible que se transmita ninguna clase de carga a través de las juntas.

2.7.5.4. Para el anclaje de placas colocadas sobre una capa continua de mortero, y sobre juntas de dilatación pueden emplearse, según apéndice C-27, anclajes especiales.

2.7.5.5. En revestimientos de fachadas compuestos de placas de pequeño tamaño o de losetas de piedra natural colocadas sobre una capa continua de mortero, las juntas de dilatación horizontales deben distribuirse según DIN 18515, art. 1.8.2, de tal forma, que en general, en cada planta debe disponerse una junta a nivel de borde inferior del forjado o bien debajo de las superficies donde cargan las vigas. También en los propios forjados, exteriores o interiores, habrá que prever juntas de dilatación.

Según el artículo 2.3.2. de la DIN 18515 las distancias en sentido vertical entre las juntas de dilatación dependen de las particularidades físico-construccionales. En lo posible no deberían exceder de 6 m. Si los materiales del revestimiento son de colores oscuros y si los materiales que hay detrás son de poca conductibilidad calorífica, estas distancias deben reducirse adecuadamente.

Si se puede estar seguro de que en los bordes de las juntas se producirán movimientos muy pequeños, puede reducirse el espesor de las juntas siempre que la distancia entre las juntas de dilatación sean pequeñas. Pero en todo caso debe tener 5 mm como mínimo.

2.7.6. Juntas de unión

2.7.6.1. Las juntas de unión con otros materiales como madera, metal, vidrio y hormigón deben ejecutarse siempre en forma de juntas elásticas, con un espesor de 5 mm como mínimo.

2.7.6.2. Las uniones con elementos ya instalados (por ejemplo los armazones para las ventanas, el alumbrado, la colocación de anuncios u otras finalidades), así como los revestimientos situados entre elementos de carga, o bien que pueden cargarse (por ejemplo forjados o cornisas en voladizo), deben ejecutarse también con juntas elásticas de 5 mm de espesor como mínimo.

2.7.7. Juntas de separación

2.7.7.1. Las juntas de separación entre dos partes del edificio deben continuarse en el revestimiento con el mismo espesor.

No deben existir puentes de mortero en estas juntas. Pueden emplearse, según el apéndice C-12, perfiles especiales adecuados de metal o de plástico. Posibilitan trabajar en la junta.

Estas juntas de separación pueden cerrarse mediante una pasta de estanquidad, como en el caso de las juntas de dilatación.

2.7.7.2. Las juntas de separación continuas (por ejemplo entre construcciones viejas y nuevas) deben disponerse de modo que permitan el desplazamiento entre las dos partes de edificación que separan (véase apéndice C-35).

2.7.7.3. La ejecución de las juntas de separación debe concretarse antes de comenzar los trabajos de revestimiento.

2.7.8. Las juntas entre placas cerradas con pastas especiales (2.7.4) —juntas de dilatación entre placas según 2.7.5, juntas de unión según 2.7.6 y juntas de separación según 2.7.7— no pertenecen básicamente a los trabajos secundarios según ATV DIN 18332, apartado 4.1.

2.7.9. Juntas abiertas

2.7.9.1. El espesor de estas juntas debe ser de 4 mm.

2.7.9.2. El espesor de la junta abierta depende del espesor del vástago del anclaje y de la tolerancia de movimiento de la placa $C = 2$ mm.

2.7.9.3. La pared en que se efectúa el anclaje y la capa de aislamiento térmico exterior que se puede llevar y los elementos que la interrumpan, como ventanas y puertas, deben ser impermeables. Véase art. 2.1 y 2.6.1.

2.8. Ventanas, armazones para alumbrado y anuncios, andamios

Los cercos de las ventanas y persianas, los brazos de las lámparas, los ganchos de los andamios, los armazones para anuncios y otras construcciones de metal, madera o plástico nunca deben fijarse en la piedra natural. Todos los elementos de este tipo deben estar fijados a los elementos estructurales del edificio (véase también apéndice C-9b).

2.8.1. Los trabajos de fijación y de estanquidad para esta clase de construcciones no pertenecen a los trabajos secundarios (ATV DIN 18332).

10. Limpieza

Las superficies de piedra natural sólo se lavan con agua limpia y cepillo. Otros agentes limpiadores pueden emplearse siempre y cuando estén probados. Los agentes limpiadores y conservadores que atacan el mortero y la piedra así como las máquinas de limpieza que perjudican la superficie de la piedra deben rechazarse.

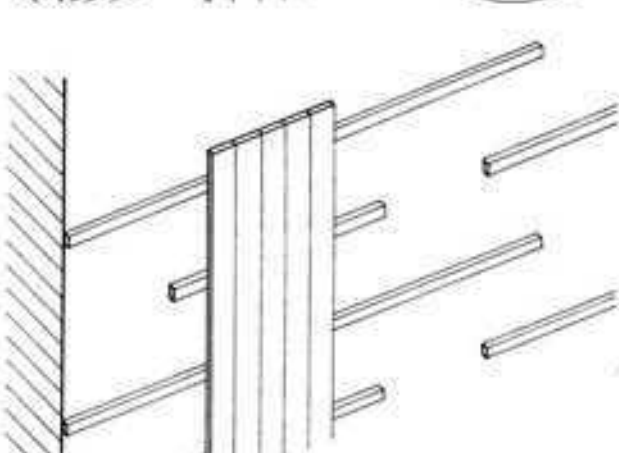
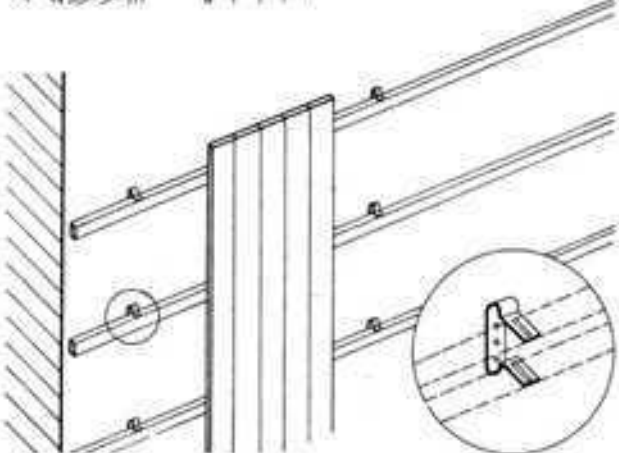
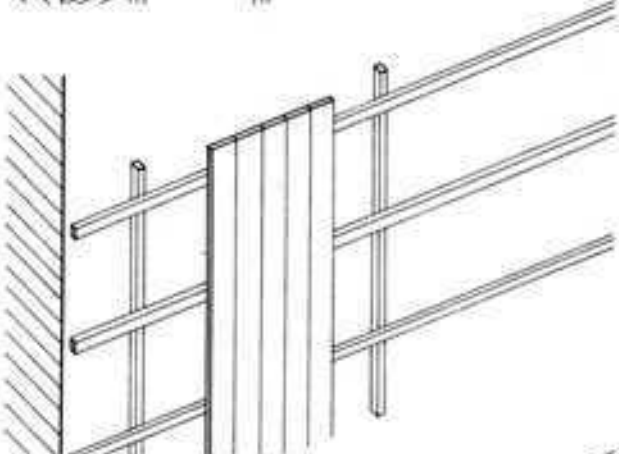
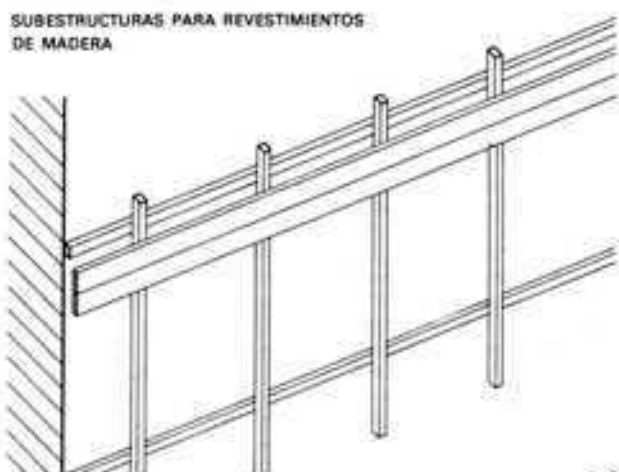
(Cuidado con los vidrios de ventanas y los elementos metálicos pintados y anodizados.)

10.2. Agentes de tratamiento complementarios sólo deberían emplearse cuando existen dictámenes aprobatorios o experiencias suficientes respecto a la finalidad prevista.

Revestimiento de paredes con madera

Antiguamente se emplearon los revestimientos de paredes con madera sólo en regiones ricas en maderas como protección a la intemperie para graneros y otras construcciones secundarias. La

SUBESTRUCTURAS PARA REVESTIMIENTOS DE MADERA



subestructura era siempre una construcción de entramado. Las tablas de revestimiento que todavía se cortaban a mano se empleaban en los anchos en que se obtenían; las tablas de menos ancho se usaban con cubrejuntas o listones. Las tablas no se canteaban, de modo que las paredes revestidas tenían un aspecto muy "vivo". La cara buena de las tablas siempre daba al exterior.

Como, según las costumbres de entonces, la madera se estibaba para dejarla secar al aire durante 2 o 3 años, y luego las paredes revestidas estaban protegidas casi siempre por un amplio alero, los revestimientos de madera podían resistir fácilmente unos cien o incluso doscientos años.

Hoy día, las condiciones han cambiado. Los revestimientos de madera no sólo se ejecutan en regiones ricas en madera sino en todas partes y precisamente por motivos estéticos, o por complacerse en el material.

En la mayoría de los casos se emplea este revestimiento en casas unifamiliares, montado sobre un enlistonado y antepuesto como "pantalla" a las paredes de carga exteriores.

Debido a las condiciones actuales de corte de las tablas, y como muchas veces ya no se ejecutan aleros que protejan, lo que se hace notar especialmente en las fachadas expuestas a la lluvia, deberían emplearse exclusivamente tablas estrechas de unos 12 a 14 cm de ancho. El espesor de las tablas, acepilladas, debería ser > 18 mm; mejor, 24 mm. En primer lugar habrá que decidir si las tablas de revestimiento se colocarán en sentido vertical u horizontal. En el caso del revestimiento vertical se necesita —prescindiendo de las aberturas para las ventanas— una sola longitud de tabla que cubra la altura de una planta.

La longitud de la pared no tiene importancia. Colocando las tablas en sentido horizontal, la distribución de las juntas en una pared produce muchas veces dificultades respecto a su estructuración formal.

Por consiguiente se prefiere el revestimiento vertical. Para fijar las tablas sobre una pared de obra de fábrica se precisa un enlistonado. Como las tablas deben fijarse en sentido longitudinal cada 60-80 cm (mejor atomilladas que clavadas), se obtiene de este modo la distancia a que deben colocarse los listones en sentido horizontal y vertical.

Para estructurar la pared de revestimiento existen varias posibilidades, lo que repercute en el perfilado de las tablas. Un gran efecto plástico puede conseguirse mediante un revestimiento con tablas colocadas en sentido vertical, aplicando tablas cubrejuntas (en caso necesario también listones cubrejuntas). La tabla cubrejuntas debe recubrir la tabla inferior en un grueso de tabla. La cara buena de las tablas siempre debe dar al exterior. Cada tabla debería llevar un solo clavo en el sentido de su anchura a fin de que las tablas puedan moverse libremente (hincharse y contraerse). Cuando se fijan las tablas mediante clavos o tornillos de hierro, muy pronto se producen en la madera natural, alrededor de los clavos o tornillos, unas estrías de color oscuro. Para evitar este inconveniente es aconsejable utilizar tornillos de metal ligero.

Si se emplean tablas anchas, por ejemplo de 18 a 24 cm, para evitar el alabeo habrá que dar dos cortes de sierra hasta la mitad del grueso de las tablas. Pero este tipo de revestimiento hoy día sólo se emplea muy raras veces. En la mayoría de los casos se emplea el revestimiento a base de tablas de anchos moderados, aproximadamente de 12 cm, ensambladas a media madera o machihembradas. El revestimiento machihembrado tiene la ventaja de que no se ven las cabezas de los tornillos o de los clavos en la superficie exterior. El revestimiento horizontal con tablas que se solapan sólo se emplea ahora, a veces, para cobertizos o construcciones de segundo orden. Este revestimiento es el de ejecución más simple por no precisar ninguna clase de preparación o perfilado de las tablas.

Revestimiento de paredes con placas de fibrocemento

Con las denominaciones Eternit, Fulgurit, etc. se fabrican placas onduladas y planas, a base de fibras de amianto de alta resistencia a la tracción y aglomerantes de cemento, que resultan muy apropiadas para la protección contra la intemperie de paredes

cubiertas. Los productos de fibrocemento se hacen de color natural, gris claro, o con la masa coloreada; o bien con una capa superficial de color. No requieren ningún tipo de cuidado de conservación. Este material, inorgánico e imputrescible, es resistente a los agentes atmosféricos y a las heladas, es incombustible e inalterable ante muchos agentes químicos. Tiene una conductividad térmica de 0,4 kcal/mh °C y un coeficiente de dilatación térmica de 0,00001/°C. Más importancia tienen la contracción y la dilatación entre los estados de saturación de agua (20% del peso) y del equilibrio de humedad (6% del peso) que

- en materiales prensados y no endurecidos al vapor es aproximadamente de 1,35 mm/m
- y en materiales prensados y además endurecidos al vapor es aproximadamente de 0,80 mm/m.

Placas planas de fibrocemento

a) Montadas sobre un enlistonado de madera

Sobre el hormigón o la obra de fábrica se fijan los listones de madera, dispuestos horizontal o verticalmente, mediante unos tornillos que las sujetan a tacos de madera o mediante fijadores metálicos clavados con pistola. Los revestimientos no deben impedir una ventilación correcta de la fachada (aprox. 25 mm de distancia); en ciertos casos se necesitará además un contraenlistonado. Al colocar horizontalmente pequeñas placas puede prescindirse del contraenlistonado siempre que los listones horizontales se dispongan de modo que entre ellos quede una cierta distancia (5 cm como mínimo) en las juntas. Las placas planas de fibrocemento se fijan directamente sobre el enlistonado con tornillos o con clavos especiales inoxidables; o bien mediante perfiles aprisionadores que sirven a la vez de cubrejuntas, que se colocan sobre las juntas de las placas.

b) Sobre tiras de fibrocemento.

Como alternativa al enlistonado vertical se emplean también tiras de fibrocemento con una sección mínima de 100/12 mm. Se fijan en la pared a distancias variables (hasta 5 cm) mediante unos tacos especiales ajustables, y soportan luego las placas de fachada mediante tornillos para madera, colocados en tacos expansibles.

c) Sobre armazón metálico

Para placas de gran tamaño con grandes tolerancias de medidas y dilatación se precisan unos sistemas de anclaje más ajustables y más móviles. Se han desarrollado varios sistemas a base de armazones metálicos en los que las placas se apoyan sobre una guía sustentante continua o, en puntos, sobre unas cartelas angulares que permiten movimiento. La distancia entre pared y placa es ajustable de modo que pueden compensarse inexactitudes y puede graduarse la profundidad de la cámara de aire. Con estos sistemas de unión a base de espigas y piezas en forma de abrazadera debe realizarse, a partir de 12 mm de grueso de placa, un anclaje por la cara posterior, completamente invisible desde el exterior.

d) Como encofrado perdido

En la construcción de paredes de hormigón las placas de fibrocemento en unión con placas de aislamiento térmico se pueden emplear como encofrado perdido, que sólo requiere un armazón que las mantenga en posición. Para poder conseguir un efecto como el de un revestimiento colocado posteriormente, dejando detrás de él una cámara de aire, se han desarrollado unas placas aislantes perfiladas, que, detrás de una capa directamente en contacto con la atmósfera, dejan el necesario espacio para ventilación. Un anclaje invisible de las placas de fibrocemento empleadas de tal forma, también es posible sólo a partir de un grueso de 12 mm de la placa.

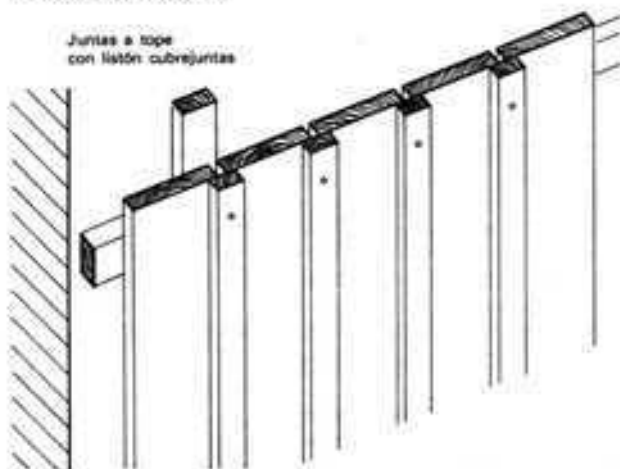
Ejecución de las juntas

Formatos pequeños con espesores ≤ 6 mm se pueden disponer con solape por dos lados, con doble superposición, o exactamente como un revestimiento de pizarra, con 3-4 cm de solape en sentido horizontal y vertical.

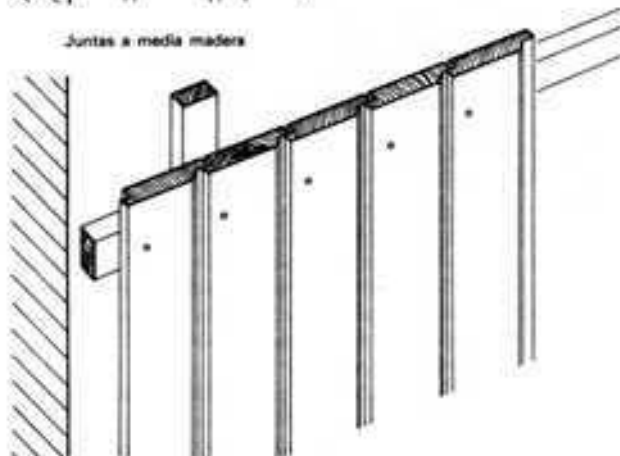
Para revestimiento en disposición horizontal son suficientes unos 3,5 cm de solape en sentido vertical, siempre que las placas se fijan en unos listones verticales (> 3/7 cm) o en unas bandas de fibrocemento y se dispongan por detrás unas franjas de junta.

REVESTIMIENTO VERTICAL

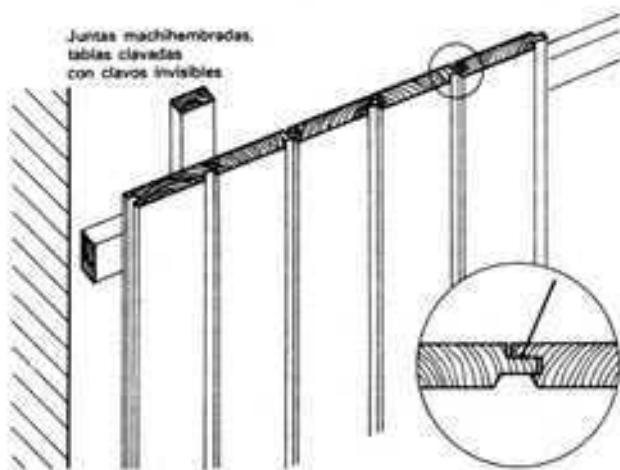
Juntas a tope con listón cubrejuntas



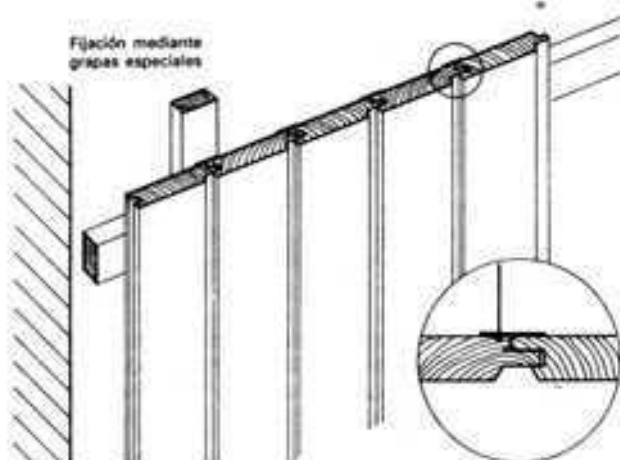
Juntas a media madera



Juntas machihembradas, tablas clavadas con clavos invisibles

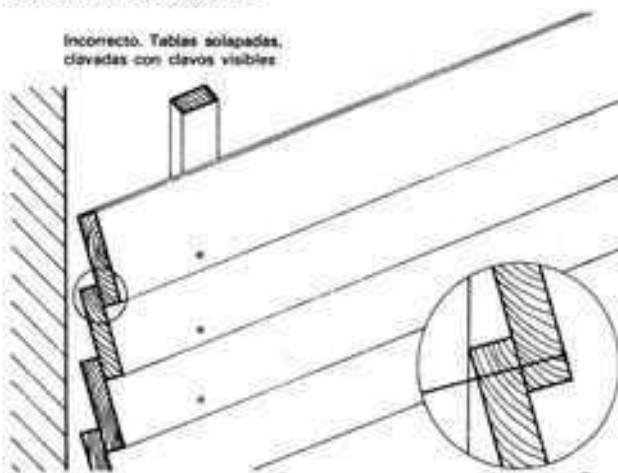


Fijación mediante grapas especiales

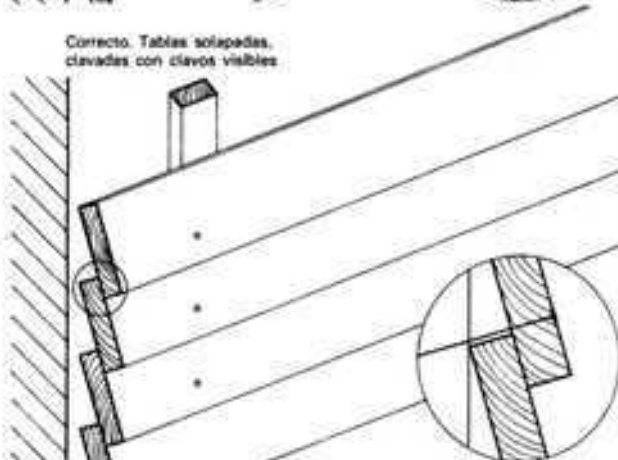


REVESTIMIENTO HORIZONTAL

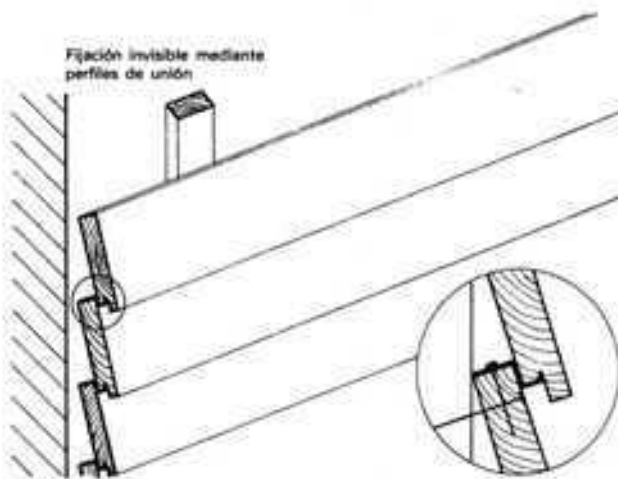
Incorrecto. Tablas solapadas, clavadas con clavos visibles



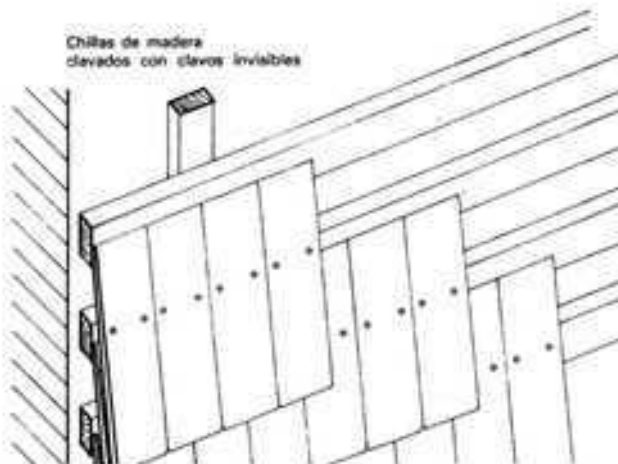
Correcto. Tablas solapadas, clavadas con clavos invisibles



Fijación invisible mediante perfiles de unión



Chillas de madera clavadas con clavos invisibles



Las placas con un espesor ≥ 6 mm no se disponen solapadas, sino a tope. Las juntas pueden dejarse abiertas, enmasilladas o con listones o perfiles tapajuntas. Para tablas de gran tamaño con rejuntado parcial o sin rejuntado no es despreciable el trabajo posterior de impermeabilización de las juntas. Finalmente, como en el caso del revestimiento con piedras naturales se optó también, en el revestimiento con placas de fibrocemento, por dejar las juntas totalmente abiertas. Por motivos ópticos y por las necesarias tolerancias, el ancho de las juntas era de 10 mm. Con una cámara de aire de 5 a 9 cm antepuesta a una pared exterior con aislamiento térmico, se cumplen con este sistema de revestimiento, incluso en zonas con fuertes lluvias, las exigencias que se requieren de una pared directamente en contacto con la atmósfera, sin que se produzcan humedades ni reducción del aislamiento térmico en la pared. Sólo en el caso de fachadas que alcancen varios pisos sin interrupción se recomienda enca-recidamente tapar por detrás las juntas verticales.

Revestimientos de placas para tablestacado y de placas onduladas de fibrocemento

Las placas onduladas de fibrocemento, con el mismo espesor de material tienen más resistencia que las placas planas, lo que les da mayor capacidad de carga y por consiguiente permite mayores distancias entre los puntos de fijación, así como subestructuras más simples. Por tanto tienen aplicación como revestimiento de paredes y cubiertas. La cámara de aire que se produce por la ondulación de las placas en combinación con otras placas de aislamiento térmico da lugar a una composición de pared exterior simple y físicamente correcta: una protección contra la intemperie con cámara de aire y aislamiento térmico, cuya cara interior puede ejecutarse además de manera que resulte antiacústica, en la construcción ligera, de entramado, de edificios industriales y agrícolas.

Subestructura

Las placas onduladas se fijan a listones de madera o a perfiles laminados que se aplican a las paredes o a los pies derechos. Hay que tener mucho cuidado al fijar esas barras de soporte para que queden situadas bien por igual, porque las menores desviaciones si están en una fachada se notan mucho y hacen feo, al resultar ondulada o quebrada la línea que trazan los bordes de las placas al recubrirse. Esos listones o reglas deben ser suficientemente fuertes para impedir que puedan flexarse. Al colocar este enlistonado o subestructura de soporte en un edificio, los bordes de una línea de recubrimiento deben estar a una misma altura alrededor de todo el edificio. Por consiguiente los listones o hierros de soporte deben también quedar colocados a igual altura en todas las fachadas de la construcción. Las distancias entre los listones o reglas dependen de la longitud de las placas onduladas. Estas placas deben rebasar el listón inferior y el superior correspondientes unos 10 cm, con lo cual el elemento de fijación todavía tienen margen de retención suficiente.

Los listones o reglas deben formar una superficie de apoyo bien lisa.

Recubrimiento

Para el recubrimiento longitudinal bastan 10 cm.

El recubrimiento lateral, lo mismo que cuando se trata de revestimientos de cubiertas, es de 1/2 onda = 47 mm (y en la "Fulgurit" 65 mm). Cuando el largo de la pared no coincide con la anchura del recubrimiento hay que recortar una placa en lo que corresponde a la diferencia; no es admisible distribuir esa diferencia entre los recubrimientos laterales de las diferentes placas.

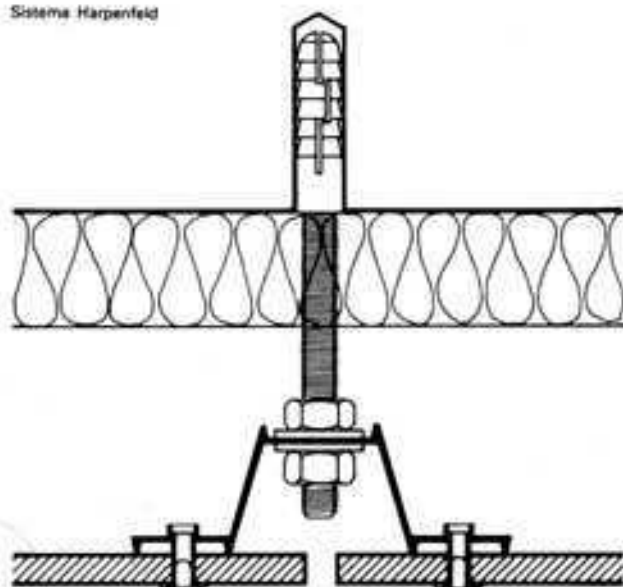
Suspensión y fijación de las placas

Las placas onduladas se suspenden con ganchos de la armazón o enlistonado y luego se fijan con tornillos.

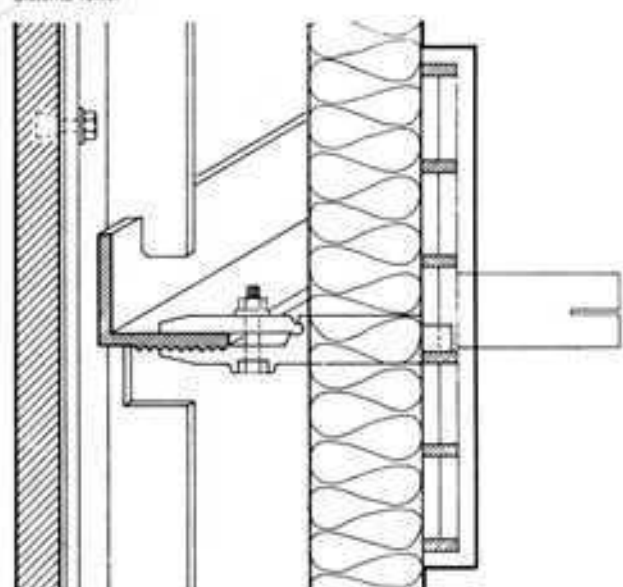
Como ganchos se emplean unos estribos de cinta o fleje de acero de 15 x 3 mm, que soportan el peso propio de las placas y lo transmiten a los listones de la armazón, simplifican la colocación y aseguran un recubrimiento longitudinal uniforme de 10 cm en todas las placas. Los ganchos de suspensión se fijan con tornillos a los listones, o bien, si la armazón es de hierros laminados, se sujetan a ellos doblándolos adecuadamente. La suspensión,

SUBESTRUCTURA PARA EL REVESTIMIENTO DE FACHADAS CON PLACAS DE FIBROCEMENTO

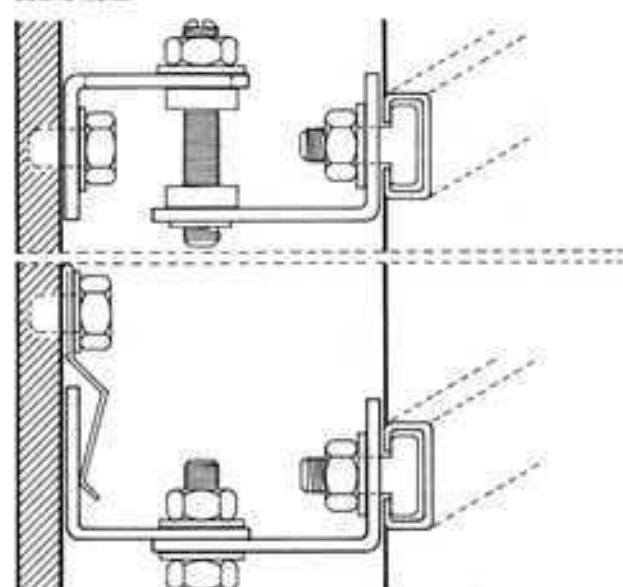
Sistema Harpenfeld

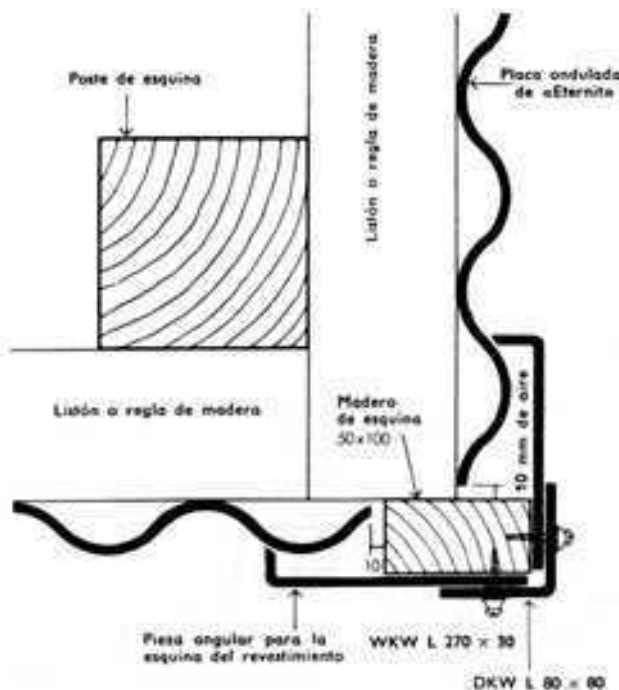


Sistema Ickler



Sistema Richter





cuando las placas onduladas tienen más de 160 cm, se hace poniendo un gancho cada tres ondas y en la parte de la concavidad. En placas de menos de 160 cm no se necesitan ganchos de suspensión. La fijación propiamente dicha de las placas onduladas se hace de la manera siguiente:

Si la armazón es de listones, se hace con tornillos de rosca de madera o con aparatos articulados.

Si la armazón es de laminados de acero, se hace con pernos de gancho o con aparatos articulados.

Para el montaje de las placas onduladas hay que tener en cuenta, además, las instrucciones especiales publicadas por las casas productoras.

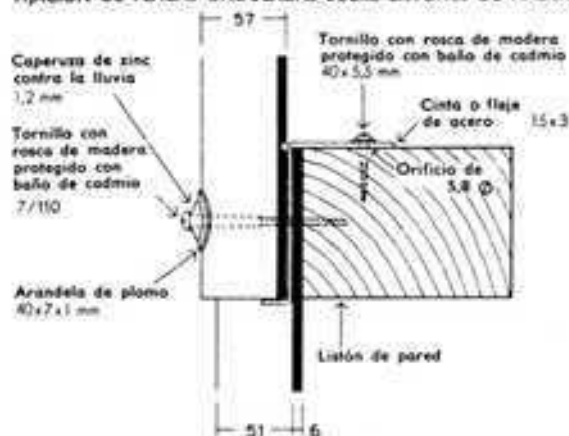
Revestimientos de pared con placas metálicas

Como material para revestimiento de paredes de gran superficie, principalmente en construcciones industriales, las chapas tienen un amplio campo de aplicación. Su superficie puede ser inoxidable y sin ningún recubrimiento, barnizada al horno, recubierta de materia plástica o esmaltada. Como la placa plana, laminada en piezas de poco espesor, tiene insuficiente resistencia a la flexión y a la torsión, normalmente se emplea este tipo de material con formas perfiladas (trapeziales, con nervios, o perfiles macizos) con bordes reforzados o doblados o bien como capa exterior de elementos de revestimientos compuestos de varias capas sobre un núcleo rígido aislante al calor. Prescindiendo de este tipo de placas de varias capas (placas sandwich) las chapas de revestimientos para fachadas deben colocarse de forma que tengan buena aireación por detrás, al objeto de que la humedad que se produce como consecuencia de la difusión del vapor de agua no disminuya la capacidad aislante de la pared situada detrás, y el agua de condensación no dañe la cara posterior de las chapas y sus anclajes. Por estas razones y por el especial problema de la corrosión electrolítica que se produce por contacto de dos metales diferentes, los elementos de anclaje deberían llevar revestimiento metálico en lo posible del mismo tipo de metal, o bien de un material resistente a las corrosiones.

FIJACIÓN DE PLACAS ONDULADAS SOBRE PERFILES DE HIERRO



FIJACIÓN DE PLACAS ONDULADAS SOBRE LISTONES DE MADERA



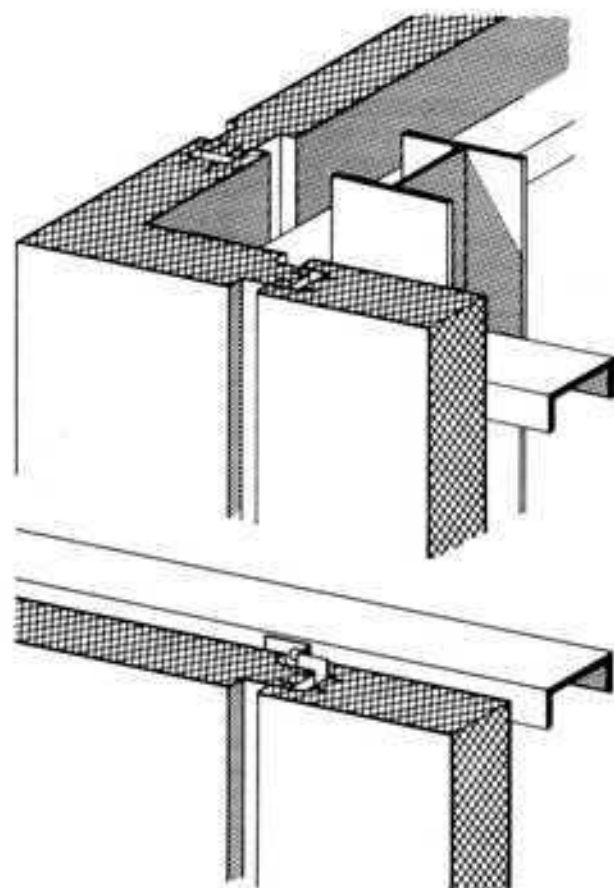
Paredes cortina — Curtainwall

La exigencia de una gran adaptabilidad, las anchuras variables de los locales, o bien las series de locales comunicados entre sí, que han sido el fundamento de las modernas estructuras de entramado, también han provocado un cambio en las funciones de las paredes exteriores. Ya no son elementos de carga, sino sólo de cierre de los locales y de protección contra la intemperie y los efectos térmicos, y deben resistir a las fuerzas del viento y deben hacer posible que en ellas atraquen un gran número los tabiques de la compartimentación interior en el mayor número posible y regularmente distribuidos.

Por su poco peso, lo que repercute favorablemente hasta en las fundaciones, se prefiere para este tipo de construcción los reticulados metálicos ligeros cuyos vanos se llenan con elementos de ventana y elementos de antepecho aislantes del calor. Pueden quedar encajados entre los forjados de cada dos pisos consecutivos, y entre cada dos pilares, o estar suspendidos inmediatamente delante del plano en que están alineados los forjados y los pilares. Aunque estas llamadas paredes cortina, que envuelven toda la construcción como una piel, han tenido mucha aceptación y se han puesto muy de moda, habrá que mencionarlas en este contexto con ciertas reservas. El problema principal de las paredes cortina consiste en el difícil aislamiento acústico de los pisos y locales vecinos entre sí, a consecuencia de la transmisión indirecta a través de puentes fónicos. Además, existen las exigencias para la protección contra fuego, que requieren que los antepechos de ventana, los pilares y las losas de balcón voladas sean resistentes al fuego, lo que obliga a construcciones macizas de dinteles y antepechos detrás de la pared cortina.

Revestimientos de pared con cristal

También el cristal, obtenido por fundición o laminación, que es resistente a la intemperie y a la corrosión, que es impermeable al



agua y al vapor, y que es ininflamable e incombustible, si se emplea correctamente es también un material apropiado para revestimientos de pared. Su superficie, libre de poros, no es atacada ni por ácidos ni por lejías (excepto el ácido fluorhídrico y las siliconas) ni por gases industriales, y es fácil de limpiar. Mediante tratamientos térmicos especiales puede pretensarse la superficie con relación al núcleo, con lo cual se obtienen mayores resistencias a la flexión, a los choques y a las tensiones térmicas. En la rotura se producen en vez de fragmentos cortantes, trozos granulares no peligrosos. En los cristales coloreados en su masa, llamados cristales opacos, hay que tener en cuenta que absorben una considerable parte del calor de las radiaciones solares. Sobre todo los de colores oscuros pueden calentarse de forma considerable.

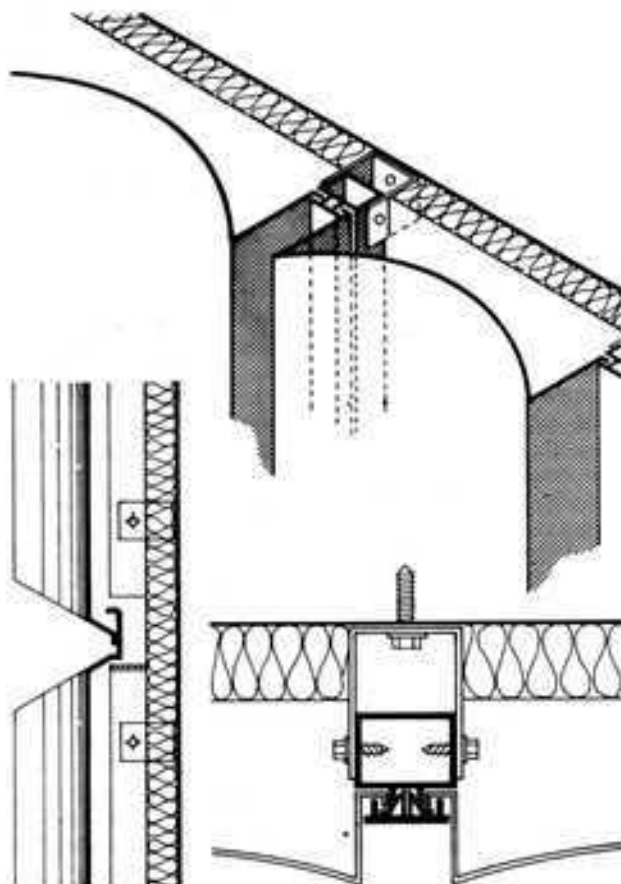
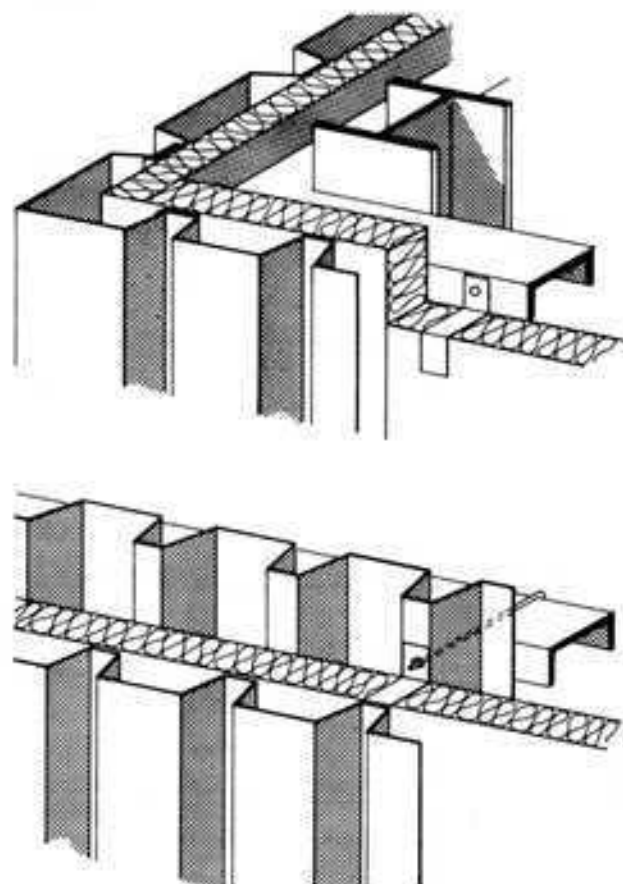
Especialmente expuestas son las disposiciones en doble lámina con una cámara de aire intermedia.

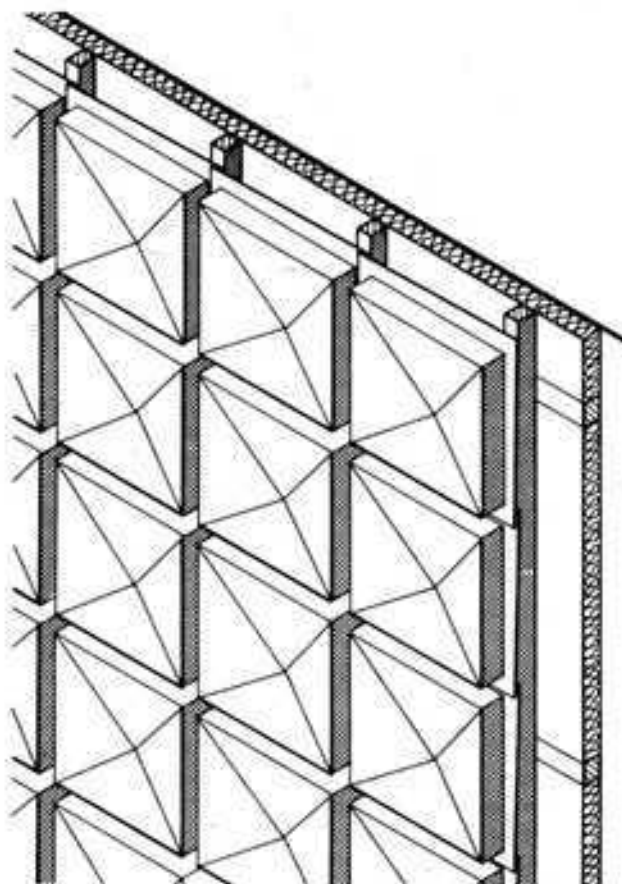
A fin de evitar roturas producidas por tensiones térmicas, hay que prestar especial atención al tamaño de las piezas, a su ventilación, a su colocación con masillas elásticas y hay que evitar sombras parciales, cuando no se emplean cristales pretensados. Como sucede con otros materiales de pared impermeable al vapor, también para el cristal convienen revestimientos aireados por detrás con soportes de bastidor o apoyos puntiformes, a no ser que el cristal se utilice únicamente como capa exterior de elementos compuestos que contienen núcleos amortiguadores y estabilizadores.

Revestimientos de pared con plástico

Siguiendo la evolución técnica actual, los plásticos se utilizan cada vez más como material de construcción. Son especialmente apropiadas para el revestimiento de fachadas las placas perfiladas y los casetones de plástico.

Muchos de los plásticos son resistentes a los ataques atmosféricos y a los componentes agresivos del aire. Gracias a que tienen superficies lisas, la suciedad puede reducirse a un mínimo.





En la aplicación de los plásticos como capa en contacto con la atmósfera, hay que tener en cuenta su elevada dilatación térmica; por esto los tamaños de las placas no deben ser muy grandes y conviene que tengan una forma tal que permita las dilataciones. Las fijaciones deben ser móviles para que puedan absorber las dilataciones del material.

Paredes divisorias ligeras. Tabi ques

Según la DIN 4103 se consideran como paredes divisorias ligeras o tabiques todas las paredes interiores de poco grosor y peso, que no soportan cargas de importancia. Deben ser dimensionalmente estables para que se puedan ejecutar juntas estancas con las demás paredes y los techos. Además, deben ser resistentes a la flexión, a la tracción y a choques. Con ellas se ahorra espacio y se emplean para separar locales de funciones análogas o parecidas. En forma de tabiques desplazables o de tabiques formados por elementos, proporcionan gran flexibilidad en la distribución de las plantas. En ello reside su creciente importancia y el gran número de sistemas que se ofrecen en el mercado.

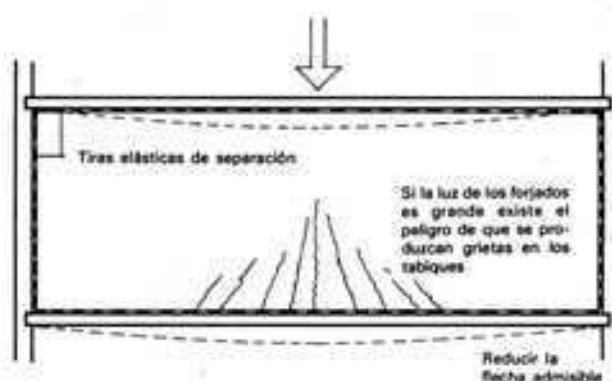
En general, las paredes divisorias tienen estabilidad por fijación a otros elementos constructivos. Generalmente no tienen ninguna función especial de aislamiento térmico o acústico ni de protección contra el fuego. Sin embargo, en algunos casos, por ejemplo en sistemas constructivos a base de paredes, deben contribuir a la rigidización de las paredes de carga.

Materiales y sistemas

En cuanto a materiales y sistemas hay que considerar:

a) Paredes divisorias y tabiques macizos:

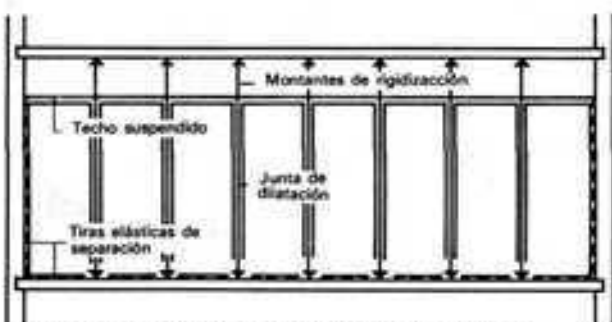
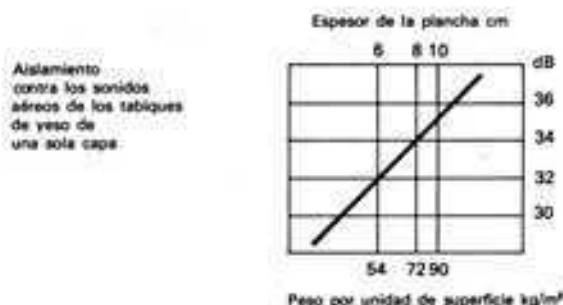
Hormigón normal y hormigón ligero, *in situ* o en forma de elementos prefabricados; ladrillo normal, ladrillos de cal y arena, planchas de yeso.



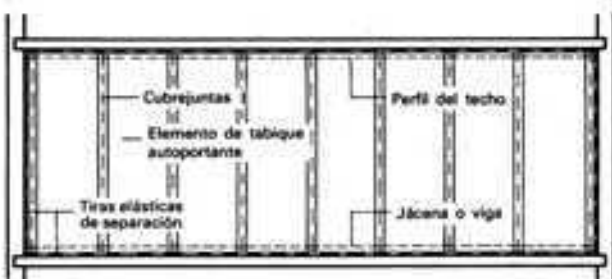
TABIQUES DE PLANCHAS PARA LUCES MODERADAS

Longitudes y alturas admisibles de tabiques de planchas de yeso, sin rigidización según DIN 4103

Espe sor	Peso/m ²	Longitud tabique	Altura tabique
6 cm	54 kg	6,00 m	3,00 m
8 cm	72 kg	6,00 m	3,50 m
10 cm	90 kg	6,00 m	4,50 m



Cuando son grandes las luces de los forjados habrá que reducir en lo posible la flecha estáticamente admitida. En lugar de paredes de planchas es mejor emplear paredes prefabricadas con montantes de rigidización.



Tabique prefabricado de elementos autoportantes, sujeto mediante vigas o jácenas en el suelo y en el techo. Por ser móviles los elementos, pueden adaptarse a forjados de cualquier luz.

Las planchas de lana de madera aglomeradas con cemento, de 5 cm de espesor, no pueden incluirse más que condicionalmente entre los materiales para paredes o tabiques macizos.

b) Tabiques de entramado y prefabricados:

Entramados de madera revestidos. Bastidores metálicos revestidos.

El revestimiento de los entramados o bastidores puede llevarse a cabo con diferentes materiales, como por ejemplo con planchas de yeso o de madera aglomerada (pintada, con revestimiento de plástico o de contrachapeado), con placas metálicas o chapa, etc.

La DIN 4103 clasifica los tabiques en tabiques de ladrillo, de ladrillo armado, de baldosas de vidrio de tela metálica y mortero aplicado por revoque o proyección, de hormigón armado, de planchas y de entramado.

Tabiques y forjados

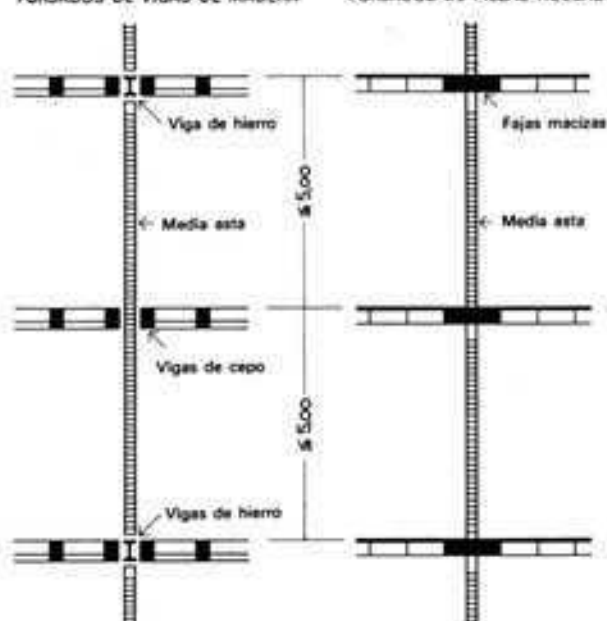
Normalmente los tabiques se apoyan en cada planta sobre un forjado macizo. Si este forjado está calculado para una carga útil $> 500 \text{ kg/m}^2$, como ocurre en todos los edificios administrativos o parecidos, los tabiques que suelen tener un peso por unidad de superficie de $100\text{--}125 \text{ kg/m}^2$, pueden colocarse discrecional-

mente. En el caso de cargas útiles pequeñas, como por ejemplo las de 250 kg/m^2 que se toman en la construcción de viviendas, debe tenerse en cuenta el peso de los tabiques incluido su enlucido, según DIN 1055, hoja 2 y sumarse a la sobrecarga en forma de carga uniformemente repartida por unidad de superficie. En los forjados con vigas de madera los tabiques deben colocarse sobre vigas de hierro o, cuando el tabique conserva el mismo grueso a través de varios pisos, se interceptara cada dos pisos por medio de una viga de hierro, y en los pisos restantes se encajara entre dos vigas que la sujeten por ambos lados. Si los pisos son de cerámica armada o nervados, los tabiques de 100 kg/m^2 deben apoyarse sobre fajas macizas convenientemente armadas.

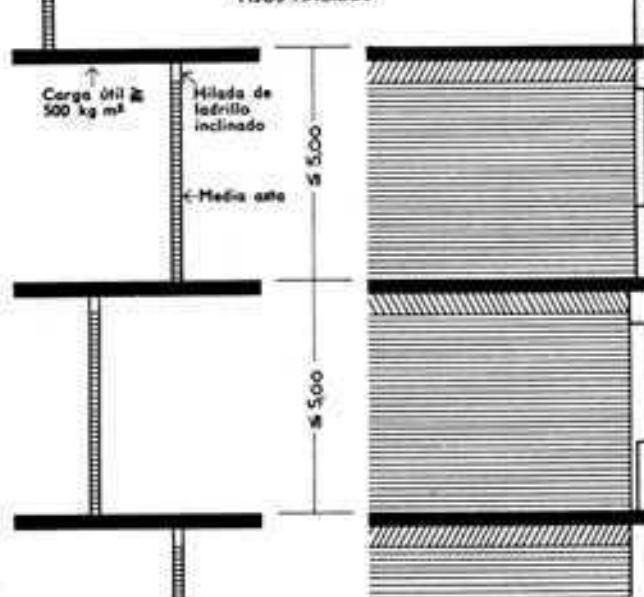
Paredes divisorias de rigidización

En todos los tipos de construcción a base de paredes, las paredes de carga deben arriostrarse a determinadas distancias mediante contrafuertes o paredes transversales (véase el capítulo "Estructuras a base de paredes"). Estas paredes deben tener rigidez propia para poder actuar como elementos de rigidización. Por consiguiente sólo se emplean para ello paredes macizas. Si son de hormigón generalmente es suficiente un grueso de 10 cm, y cuando son de ladrillo bastan $11,5 \text{ cm} = 1/2$ asta. Estas paredes divisorias deben estar unidas rigidamente con las paredes de carga. Cuando son de hormigón lo estarán mediante armaduras que pasan a las paredes divisorias y a los techos.

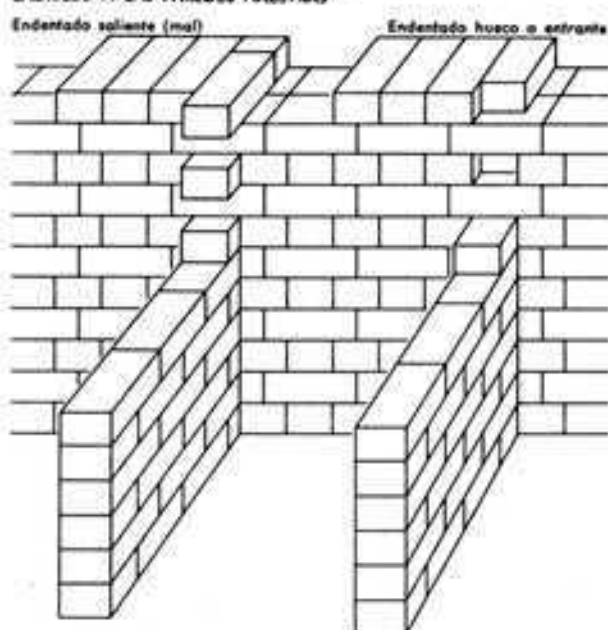
FORJADOS DE VIGAS DE MADERA FORJADOS DE PIEZAS HUECAS



PISOS MACIZOS



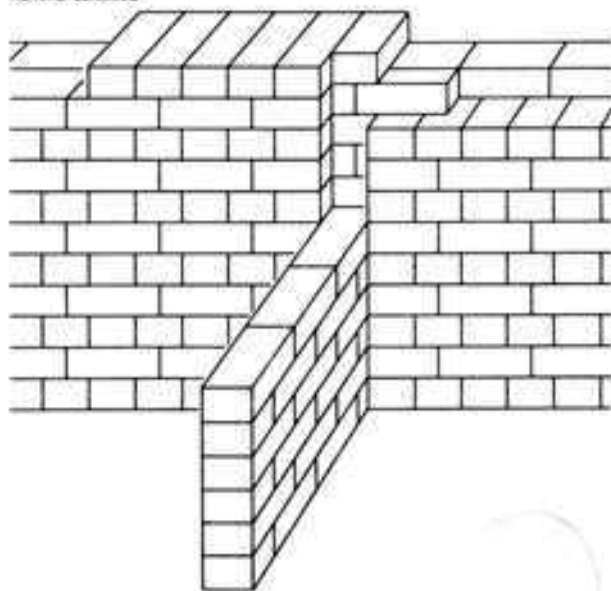
ENLACE DE LAS PAREDES DIVISORIAS DE LADRILLO A LAS PAREDES MAESTRAS



Las paredes divisorias deberían ejecutarse según la DIN 1053, en obras de fábrica junto con las de carga. En paredes interiores arriostradas por ambos lados se admite la unión mediante un endentado en entrante (que es mejor que un endentado en saliente, con el cual, a veces, luego se producen grietas en el revoque). Las paredes de planchas con buena trabazón y también las paredes hechas con planchas prefabricadas que alcanzan del suelo al techo pueden considerarse también como paredes divisorias de rigidización.

Si no se pueden realizar simultáneamente las dos paredes, la de carga y la de rigidización (los andamios de trabajo lo impiden muchas veces), deben colocarse a la altura del techo y en los tercios de la altura de la pared unos tirantes de anclaje con pasadores de $> 1,25 \text{ m}$ de longitud.

La armadura de paredes armadas debe prolongarse y anclarse en las paredes y techos adyacentes. Las aberturas en las paredes de rigidización deben mantener una distancia hasta la pared arriostrada de $0,2 h$ de la altura de planta, a 50 cm como mínimo.



TABICONES DE LADRILLO			
Espesores mínimos sin enfucir		Admisibles	
Tamaños nuevos	Tamaños antiguos	Alturas	Longitudes
11,5	12,0	5,00	6,00
11,3	10,4	4,50	6,00
	9,5		
7,1	6,5	2,50	4,50

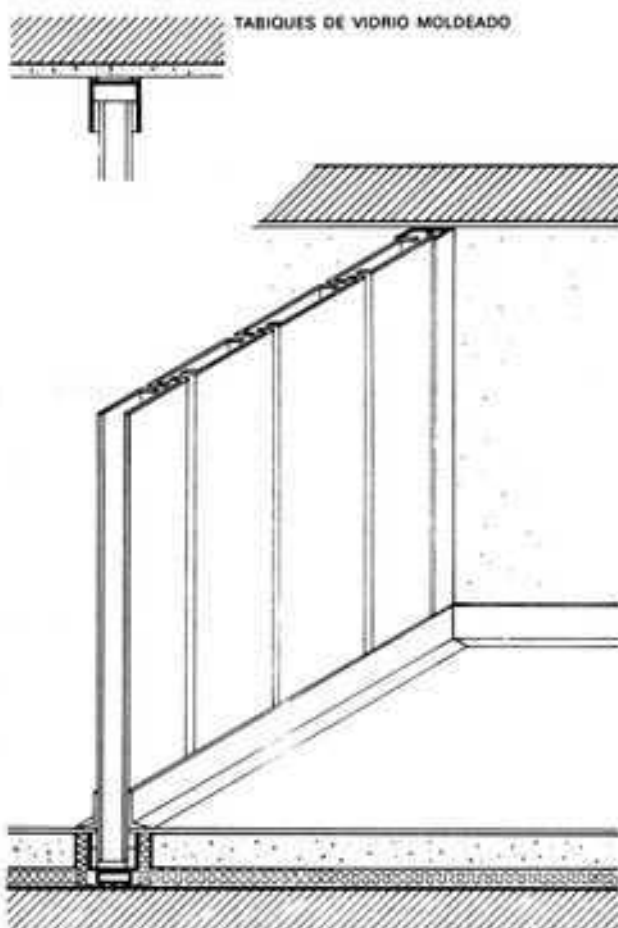
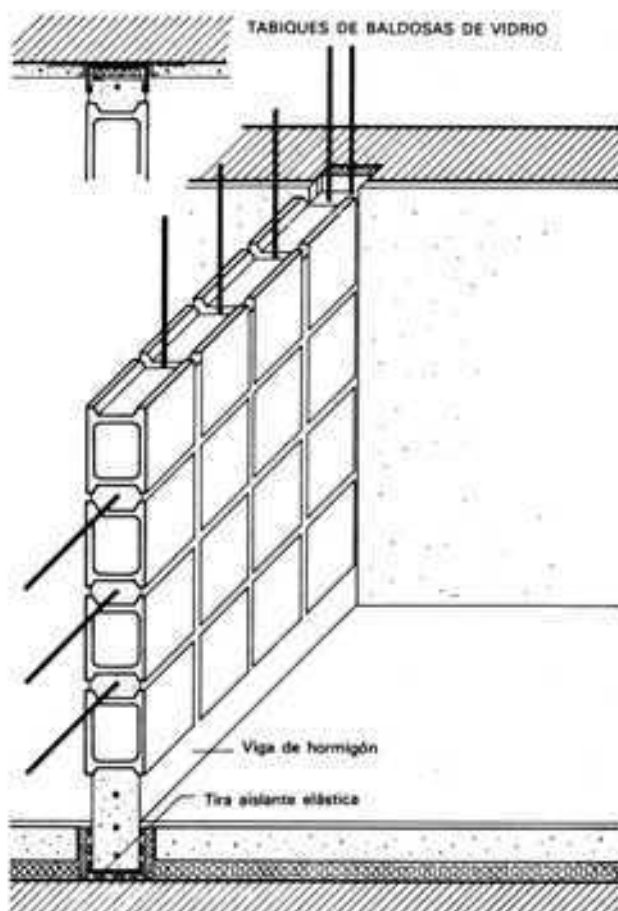
Paredes divisorias que no arriostran

Especialmente en la construcción de viviendas, pero también en edificios de oficinas y de otros tipos, en los que seguramente no se realizarán cambios en la distribución de los locales, para las paredes divisorias que no arriostran se suelen emplear con preferencia las planchas de hormigón ligero o yeso, que alcanzan toda la altura de la planta.

Normalmente tienen un ancho de 50 o 62,5 cm y deben montarse con herramientas especiales, rejuntarse o emplastecerse en toda su superficie y luego pintarse. Para que queden bien encajadas entre piso y techo, se apoyan primero sobre el forjado mediante unos tarugos, y se introduce su borde superior en una ranura dispuesta en el techo. Luego se cierra por completo con mortero la junta interior. Como muchas veces la disposición de ranuras en el techo resulta constructivamente difícil, las planchas de pared con frecuencia llevan en su borde superior una ranura. Previamente se deja sobre el techo un listón de madera que luego engrane en la ranura. También con las paredes adyacentes deberían unirse las planchas de pared mediante ranuras. Estas pueden ser sustituidas por revoques de pared o techo. Entre sí, las placas se unen mediante un mortero adhesivo. También se emplean mucho las planchas de yeso, con uniones de ranura y lengüeta.

Respecto al trabajo necesario en la obra, las paredes hechas de ladrillo son las más costosas. Además, habrá que tener en cuenta el tiempo invertido para el revoque, o, si éste no se realiza, para el rejuntado.

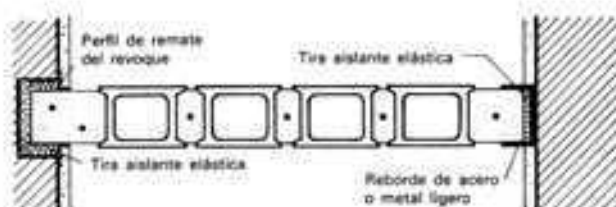
Más favorables respecto al trabajo a invertir son las planchas que alcanzan toda la altura de la planta, y las planchas del yeso. Cuando estas paredes de planchas están por su parte arriostradas por paredes divisorias del mismo tipo, puede ejecutarse la unión con las paredes de carga y con los techos simplemente mediante un relleno de juntas con mortero de yeso.



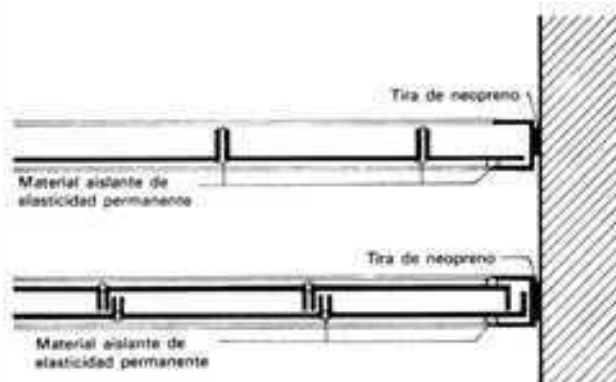
Tabiques de baldosas de vidrio

Las piezas de vidrio empleadas pueden ser moldeadas o sopladitas, macizas o huecas. En el comercio se las encuentra con las más diversas formas y destinadas ya exclusivamente para la construcción. Se ponen en obra de manera que no tengan que soportar ninguna carga vertical más que la de su propio peso. Las superficies de las juntas de esas piezas de vidrio se hacen con perfiles especiales o llevan incrustada una capa arenosa para favorecer la adherencia del mortero.

En el caso de superficies grandes deben armarse colocando cada 4 juntas horizontales una cinta o fleje de acero de 2/30 mm, o bien, cada 3 juntas, delgadas cintas galvanizadas de metal desplegado.



TABQUES DE BALDOSAS DE VIDRIO			
	Espesor mínimo en cm	Altura admisible en m	Longitud admisible en m
Superficie del panel de vidrio hasta 12 m²	de 9,3 a 9,6	4,00	3,00
		3,00	4,00
		2,67	4,50
Superficie del panel de vidrio hasta 10 m²	de 7,0 a 8,0	4,00	2,50
		3,00	3,33
		2,50	4,00



En los tabiques de vidrio hasta de 1 m de anchura por 3 de altura, o de menor anchura, con una superficie máxima de 3 m², es suficiente que las armaduras vayan fijadas en la obra de fábrica adyacente. En el caso de superficies mayores conviene colocar los tabiques encajados en ranuras abiertas en los muros, así como en marcos o bastidores de madera.

En los bordes laterales y en el borde superior de los tabiques de baldosas de vidrio, igual que en el caso de que haya puertas abiertas en ellos, hay que prever juntas de dilatación que no hay que rellenar con mortero, sino únicamente con yute asfaltado, cartón-filtro asfáltico, cintas de cáñamo alquitranado, o bien placas aislantes de fibra de madera, impregnadas de sustancias hidrófugas. Las juntas de dilatación deben cerrarse con un mástique que se conserve siempre blando.

En estas construcciones de vidrio, las puertas o postigos de ventilación deben montarse de manera que no recarguen con ninguna sollicitación adicional el material vítreo de la pared o tabique.

Tabiques de enlucido armado (o tabiques Rabitx)

La denominación de Rabitx procede de un maestro de obras berlinés que se llamaba así y que fue el primero en emplear ese tipo de construcción en los techos rasos suspendidos de los techos.

Los tabiques de enlucido armado se hacen con espesores de 3 a 5 cm. Con espesores de 5 cm se puede llegar hasta alturas de 4 m y longitudes de 6 m. Se ejecutan empleando las siguientes dimensiones en sus elementos: Varilla de acero de 5 mm, colocada vertical y horizontalmente a distancias de unos 50 cm y que se fija por sus extremos en los techos y paredes adyacentes. En los puntos de cruce deben ligarse las varillas con alambre. Sobre esta cuadrícula de varilla de acero se fija luego tela metálica de 20/28 mm de ancho de malla cuando se trata de tabiques de cemento. En lugar de la tela metálica tipo Rabitx pueden también emplearse el metal desplegado, la tela metálica con nódulos de arcilla cocida u otros materiales análogos. Cuando se emplea la tela metálica Rabitx, basta disponer varillas de acero redondo verticalmente a distancias de 60 a 65 cm. Las fajas de tela metálica deben colocarse siempre bien tensas y coserlas con alambre en las uniones tanto verticales como horizontales. Cuando se trata de tabiques de yeso, tanto las varillas como la tela deben protegerse contra la oxidación. El mortero a emplear constará de 1 volumen de yeso, 1 volumen de cal, 3 volúmenes de arena y una adición de pelo de ternera, que es el que prestará al mortero la necesaria cohesión. Al agua de amasado se le añade algo de cola, que regula (retarda) al tiempo de fraguado del mortero. Se suele añadir una paletada de cola y un puñado y medio de pelo de ternera por cada cubo de agua; todo ello bien amasado, procurando se deshagan los grumos y los mechones de pelo. El mortero espeso se lanza sobre la tela metálica con la paleta o con pistola.

Una vez acabado el tabique, se le da un enlucido fino de mortero de yeso por cada lado.

En los tabiques de cemento, se agrega cal al mortero para darle mayor plasticidad.

Tabiques por revoque o proyección

Los tabiques por revoque o proyección se hacen aplicando o lanzando el material contra un tablero de superficie acanalada o estrizada. Las uniones o enlaces con las paredes y los techos se hacen con pernos de acero de 5 mm de diámetro. Solamente se requieren otras armaduras de acero, en general sobre las aberturas. Las armaduras no se suelen colocar hasta que el tabique ha llegado a tener ya la mitad de su espesor definitivo. Los tabiques que han de soportar esfuerzos importantes deben ir provistos de armaduras verticales hechas con varillas de 5 mm de grueso o distancias no superiores a 1 m. Para el mortero se emplean el yeso (unos 450 kg de yeso por m³) y las escorias, el ladrillo triturado, la piedra pómez u otras materias análogas. Las escorias deben estar exentas de impurezas perjudiciales; las escorias de lignito no deben emplearse.

TABQUES POR REVOQUE O PROYECCIÓN		
Esposores mínimos en cm	Altura admisible en cm	Longitud admisible en cm
7,0	400	600
5,0	350	600

Tabiques y paredes divisorias de hormigón armado

Pueden hacerse, como los anteriores, por aplicación sobre un tablero, o introduciendo el hormigón en un escofrado de dos caras. Para el tabique hecho por proyección o revoque, se emplea mortero de cemento 1:4 con una ligera adición de cal, y para el tabique hecho a base de apisonado se emplea por lo menos un hormigón del tipo B 50.

La armadura de hierro redondo se prepara como para el tipo de tabiques de enlucido armado y se dispone formando cuadros de unos 50 cm de lado. En tabiques hasta de 10 cm de espesor es suficiente una armadura cruzada en la parte media de la sección transversal. La altura y la longitud admisibles en los tabiques de hormigón armado son de 6,00 m si el espesor no baja de 8 cm.

Sin embargo, para paredes de carga y paredes transversales de rigidización no portantes, se aplican disposiciones especiales.

Tabiques de placas

Las placas se aparejan según juntas horizontales continuas a modo de hiladas y con las juntas verticales encontradas, siempre que la forma de las placas no exija otro aparejo distinto (por ejemplo las placas con forma de mariposa). Todos los tabiques de placas se construyen apoyándose en tabloncillos verticales que sirven de *maestras* o guías de una de las caras del tabique. La junta superior, situada entre placas y techo, debe acunarse cuidadosamente y rellenarse con mortero, con lo cual se da al tabique la tensión conveniente. En los bordes laterales, las placas se introducen 5 cm en rozas o ranuras abiertas en los muros. Para las aberturas de las puertas se emplean preferentemente cercos de plancha de acero o marcos de acero laminado en U; los cercos de madera no resultan tan apropiados. Cuando las placas tienen una de sus caras lisa y la otra áspera o rugosa, se colocarán de manera alternada, a fin de que las caras ásperas aparezcan sucesivamente en una y otra cara alternativamente, con lo cual el enlucido se adherirá mejor tanto en una cara como en la otra.

Tipo de tabique	Espesor mínimo sin enlucidos en cm	Altura admisible en m	Longitud admisible en m
Tabiques de placas	10,0	4,50	6,00
	7,5	3,50	
	5,0	2,00	
Tabiques de placas huecas cerámicas (piezas para forjados) con montantes armados intermedios	7,0	4,50	

Si los techos o pisos son macizos, los tabiques hechos con placas pueden montarse en el sitio que se quiera, siempre que, de acuerdo con la norma DIN 1055, hoja 3, par. 2, la carga accidental o de tráfico tomada como base de cálculo haya sido aumentada en 75 kg/m². Cuando los pisos son de vigas de madera, los tabiques de placas de tipo pesado se apoyan sobre vigas de hierro, para evitar que se formen grietas.

Placas ligeras de lana de madera para la construcción

Se fabrican con lana de madera y aglomerantes minerales; están normalizadas en la DIN 1101. Tienen que ser rectangulares, planas, paralelas sus caras y de cantos llenos; no deben contener sustancia alguna nociva o perjudicial y deben ir marcadas con la indicación "DIN 1101" y el nombre del fabricante o la marca registrada de la empresa productora.

Las placas ligeras de lana de madera para la construcción se encuentran en el comercio con las siguientes dimensiones:

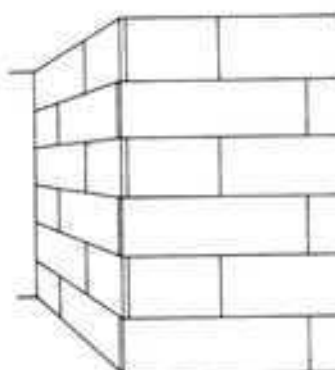
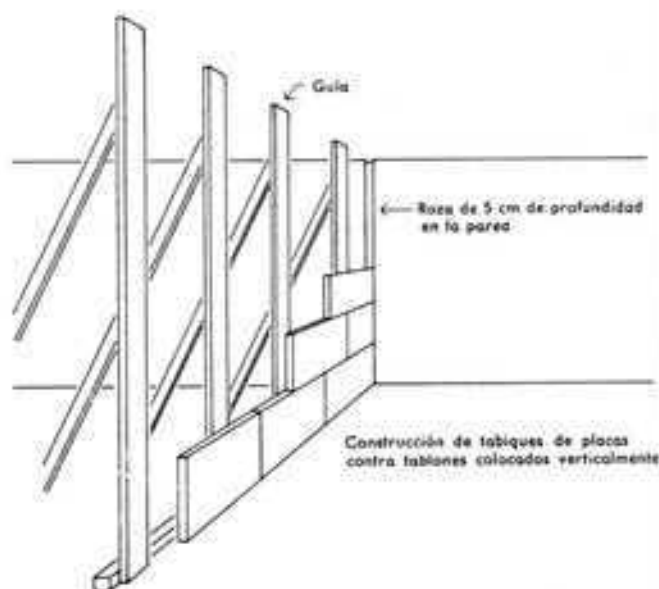
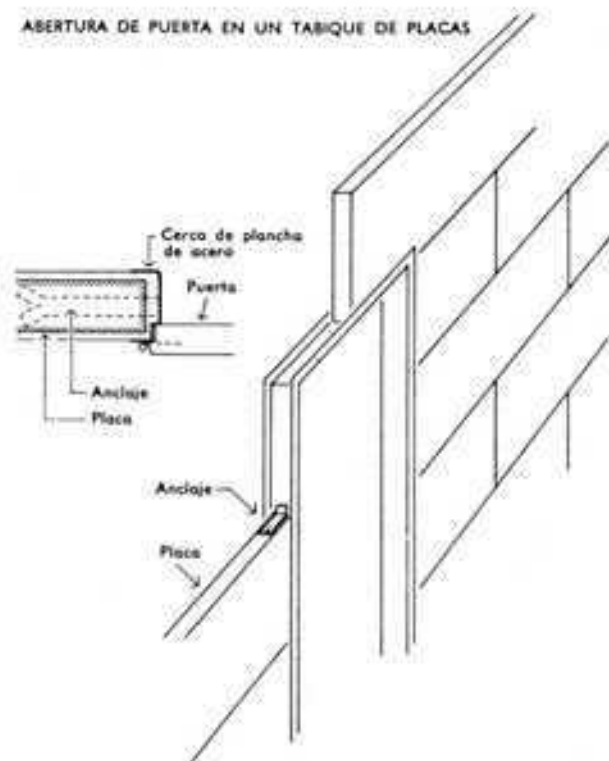
Espesor - mm	15	25	35	50	75	100
Ancho - mm	500					
Largo - mm	2000					

Con grosores de 5, 7,5 y 10 cm se fabrican también estas placas para la construcción de tabiques. Tales tabiques requieren el esfuerzo de su superficie total por medio de dos tirantes de alambre cruzados según las diagonales, empotrados en el espesor del enlucido. Las dos caras del tabique deben enlucirse inmediatamente una tras otra para evitar el alabeo.

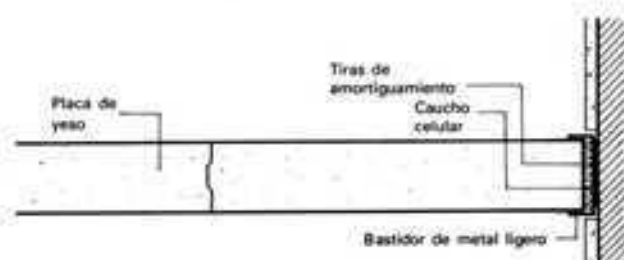
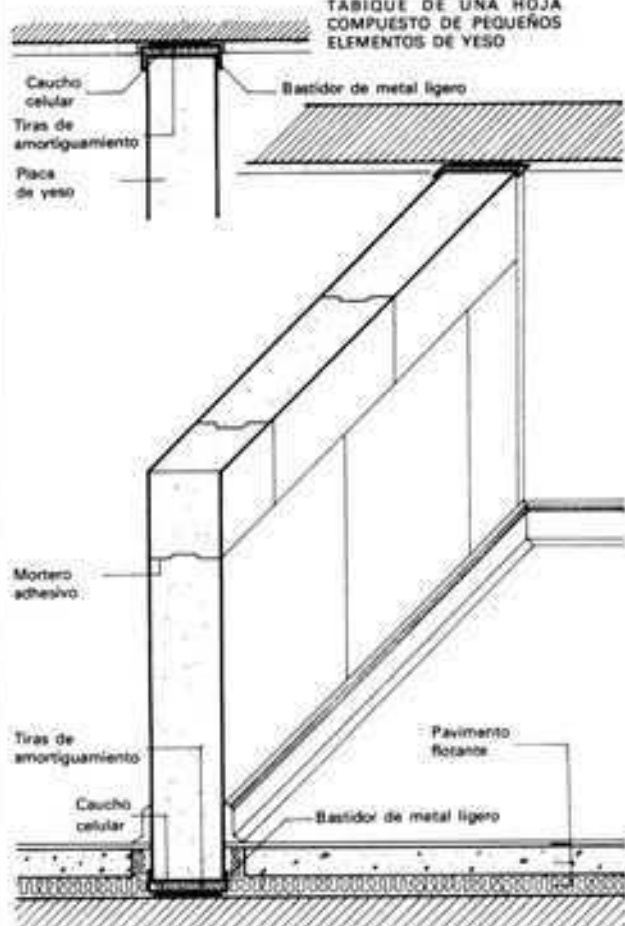
Placas de yeso para la construcción de tabiques (DIN 18163)
Son placas ligeras, fabricadas con yeso como aglomerante y materias orgánicas o inorgánicas ligeras como materiales de relleno y, eventualmente, aditivos químicos generadores de poros. En el mercado las hay de las dimensiones siguientes:

Espesor - mm	60		80		100	
Ancho - mm	500		500		500	
Largo - mm	1000	666	500	666	500	666

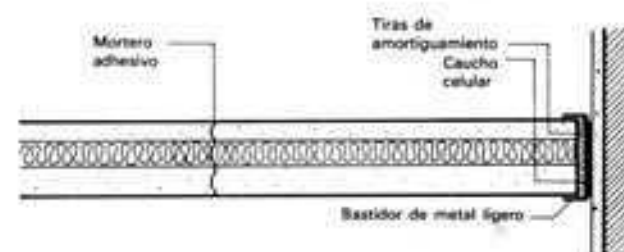
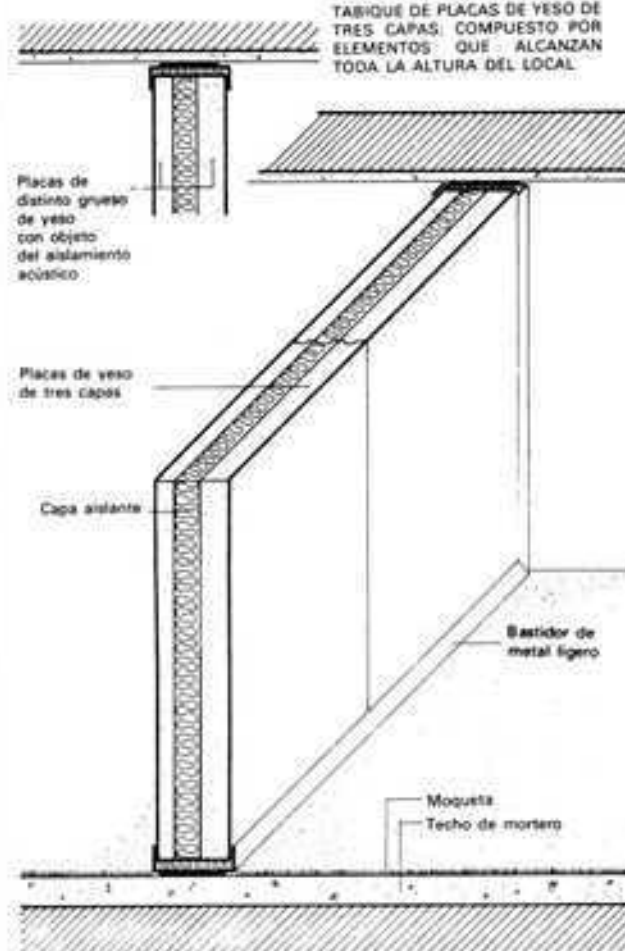
ABERTURA DE PUERTA EN UN TABIQUE DE PLACAS



TABIQUE DE UNA HOJA
COMPUESTO DE PEQUEÑOS
ELEMENTOS DE YESO



TABIQUE DE PLACAS DE YESO DE
TRES CAPAS, COMPUESTO POR
ELEMENTOS QUE ALCANZAN
TODA LA ALTURA DEL LOCAL



Placas de hormigón ligero (sin armar) para la construcción de tabiques (DIN 18162)

Son placas fabricadas con áridos minerales porosos y aglomerantes hidráulicos. Se hallan en el comercio según el siguiente cuadro de dimensiones:

Espesor	mm	50		60		70		100
Ancho	mm	240	320	240	320	240	320	240
Largo	mm	990 (490)						490

Las superficies de los cantos destinados a las juntas horizontales y verticales pueden dejarse planas y lisas o bien hacerse machihembradas. Las placas de 10 cm de espesor se fabrican también huecas.

Las placas de hormigón ligero para la construcción se colocan en obra con mortero de cal y cemento.

Tabiques de entramado de madera

Están formados de un entramado o esqueleto de madera, revestido con placas por una de sus caras o por las dos.

Para construir el entramado se emplea madera escuadrada. Los maderos verticales o montantes se disponen a distancias máximas de 67 cm si el espesor de las placas no pasa de 3,5 cm. Si este espesor es de 5 cm o mayor, las distancias máximas entre montantes serán de 100 cm.

La altura admisible en paredes o tabiques de entramado con montantes de 10 cm de grueso, es de 4,00 m; la longitud admisible, de 6,00 m. En los tabiques con montantes de 8 cm de grueso, la altura admisible es de 3,50 m y la longitud de 6,00 metros.

Para formar el revestimiento se emplean placas de yeso o de hormigón ligero. Las placas, tanto si se rejuntan con mortero como si no se rejuntan, se colocan de manera que todas las juntas verticales coincidan sobre los montantes de madera; se clavan en éstos poniendo los clavos a distancias de unos 15 cm.

Las placas de 25 cm de anchura admiten, pues, dos clavos en cada montante y las de 50 tres clavos. Los clavos son de alambre, del tipo normalizado en DIN 1151. Llevan arandelas de 20 mm como mínimo; también pueden emplearse los clavos para placas ligeras, que se especifican en la DIN 1144 y que tienen que ir protegidos contra la oxidación cuando se utilizan con placas de yeso o con revoque de yeso. Todas las juntas tienen que afianzarse con fajas de 8 cm por lo menos de algún soporte para enlucidos, como tela metálica u otro material análogo. Sobre placas de yeso se pueden también pegar bandas de vute con yeso. De igual manera hay que reforzar todas las uniones y esquinas. En las aristas de encuentro de dos tabiques (esquinas) irá un montante, al que se clavarán las placas de manera que las testas de las mismas asomen alternativamente por uno y otro lado.

Los entramados para placas de fibra de madera deben arriostrarse también con ríostros o carreras horizontales, para que todos los bordes de las placas queden apoyados y fijos. Las distancias entre montantes y entre carreras no deben exceder de 50 cm, las anchuras de las juntas deben ser de 3 o 5 mm. La distancia entre los clavos y el borde correspondiente debe ser de 1 cm. Las distancias entre clavos sucesivos serán de 10 cm cuando están clavados en los bordes exteriores y de 20 cm si están en el interior de la superficie.

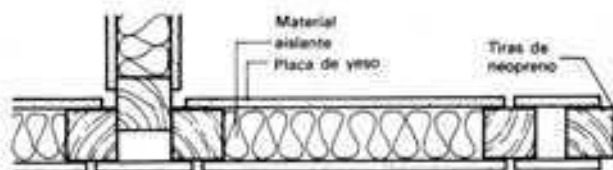
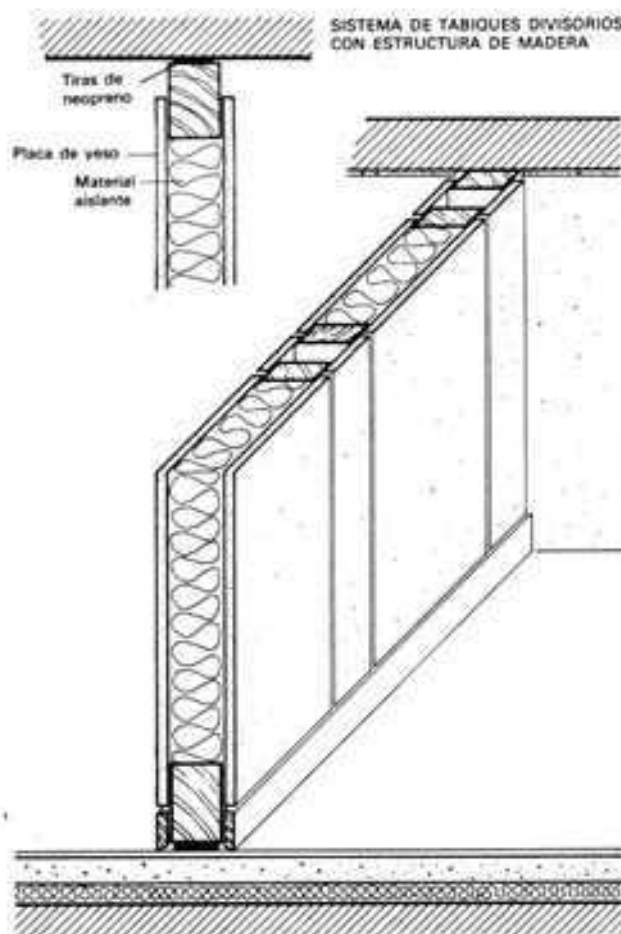
Las placas duras de fibra de madera no se enlucen.

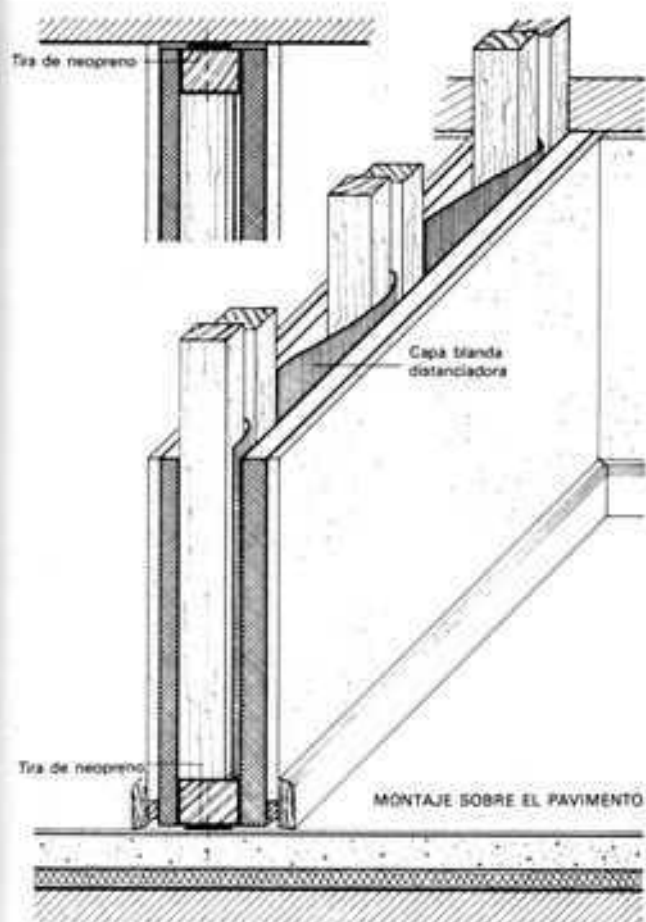
Las placas aislantes de fibra de madera se clavan en los bordes, guardando distancias de 12,5 cm entre los clavos y de 25 cm en la superficie. Rara vez van enlucidas.

En las placas duras de fibra de madera y en las placas aislantes las juntas pueden ser dejadas abiertas con los bordes cortados en bisel, o pueden también ir cubiertas con listones (cubrejuntas).

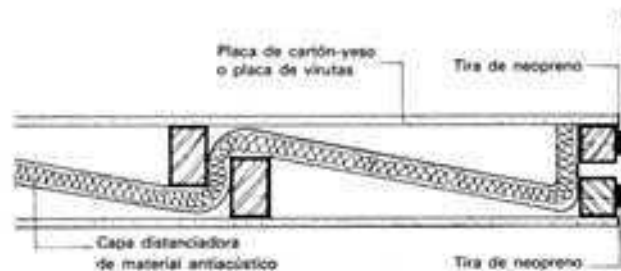
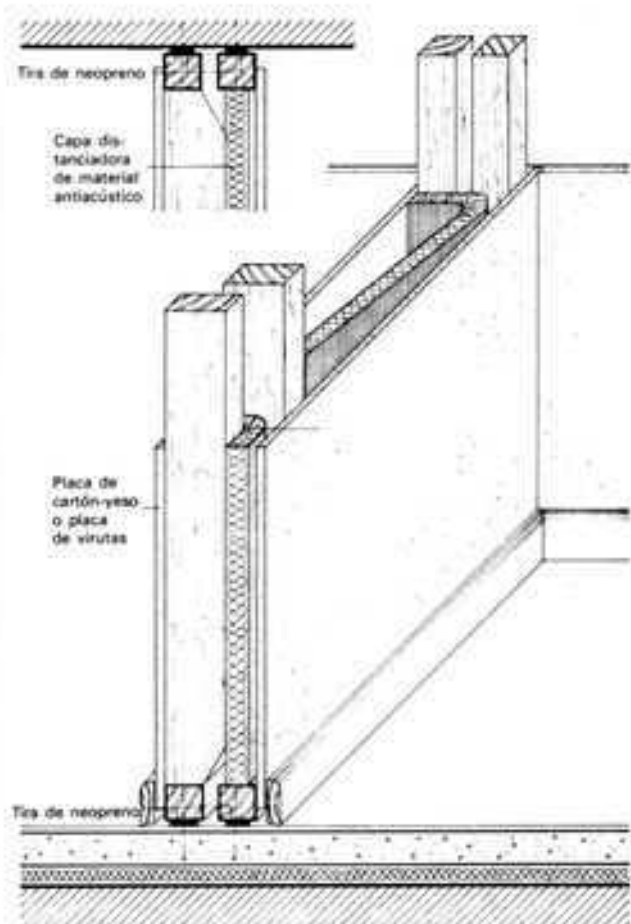
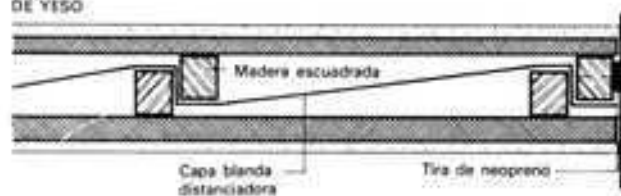
En el caso en que las placas aislantes de fibra de madera deban ir recubiertas con tapicerías o con papeles pintados, hay que cubrir previamente las juntas con tiras de tela fuerte de 8 cm de anchura, pegadas sobre ellas.

Todos los tabiques divisorios que requieren adicionalmente un enlucido o un emplastecido, se consideran como elementos de

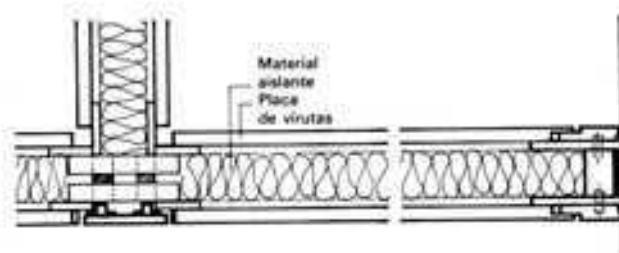
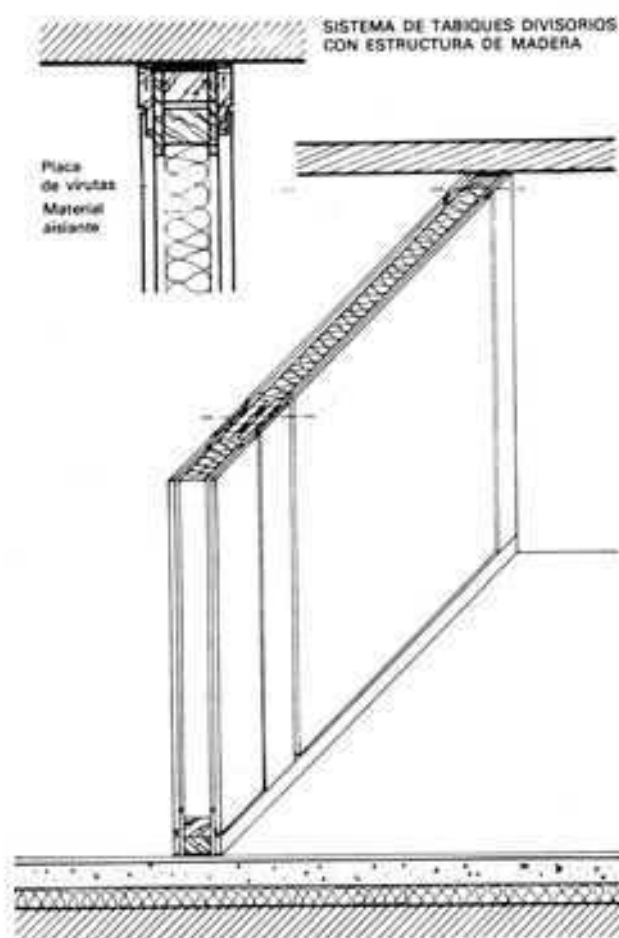




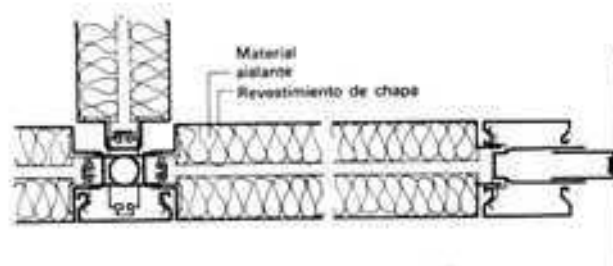
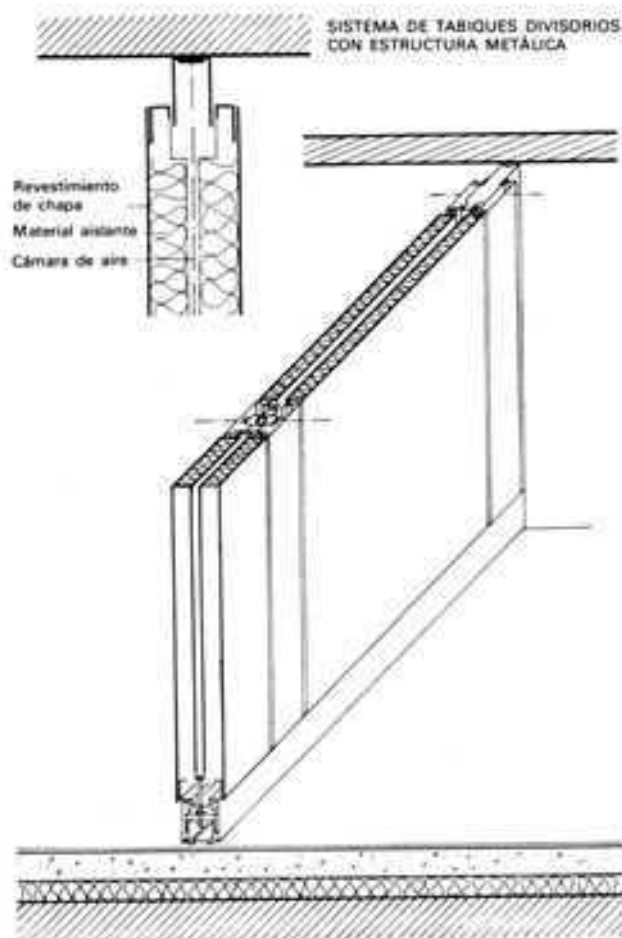
PLACAS LIGERAS DE LANA DE MADERA MONTADAS SOBRE ARMAZONES SEPARADOS, REVOCADAS, O ELEMENTOS EN VARIAS CAPAS A BASE DE YESO

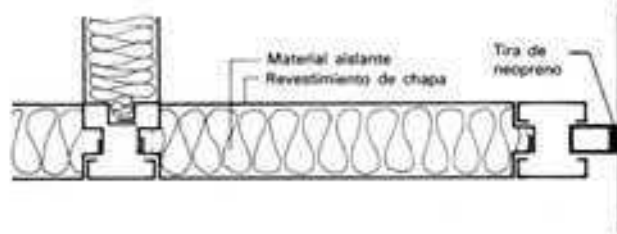
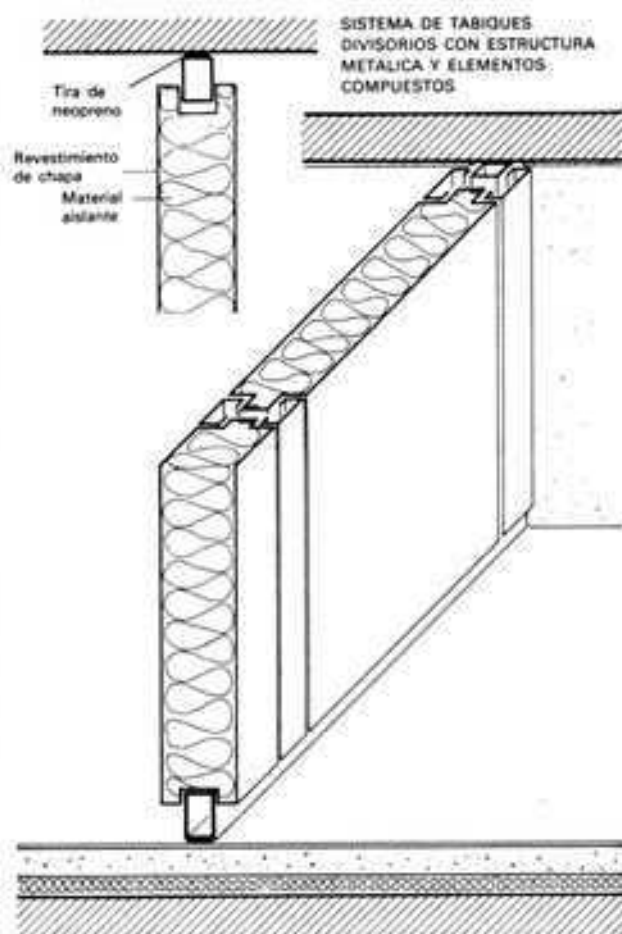


SISTEMA DE TABIQUES DIVISORIOS
CON ESTRUCTURA DE MADERA



SISTEMA DE TABIQUES DIVISORIOS
CON ESTRUCTURA METÁLICA





la obra gruesa. Para construir estos tabiques en menos tiempo, se prolongan las aberturas de las puertas hasta el techo, con lo cual no es necesaria la ejecución de dinteles. Los marcos de puerta, fijados sobre el piso y en el techo, encastran y sujetan los bordes de los tabiques.

En los forjados con vigas de madera se descarga el techo mediante disposición de una estructura con pendolones jabalconados.

Un tabique de entramado, si no existe una estructura con pendolones jabalconados o similar que lo sostiene, debe descansar sobre una viga continua (de madera, acero u hormigón armado) que pueda transmitir el peso del tabique divisorio a los apoyos, sin que pese sobre los techos.

Antiguamente los tabiques de entramado de madera se revestían muchas veces con placas ligeras de lana de madera, lo que requería un revoque adicional. Para evitar la aplicación de este revoque, que además produce humedad en la obra, se emplean hoy en día placas de cartón y yeso o placas de virutas de madera. Estas últimas pueden recubrirse de materia plástica. Sobre las placas de cartón y yeso se aplica una capa de pintura.

Tabiques desmontables

Entendemos con este nombre unos tabiques ligeros prefabricados, hechos con elementos de una o varias capas, que pueden desmontarse y luego recomponerse con otras disposiciones. Los elementos, eventualmente equipados con aberturas para puertas y ventanas, están contruidos por bastidores metálicos o de madera con un revestimiento adecuado. No se consideran como elementos de la obra gruesa, sino que van colocados sobre el piso acabado de la obra casi terminada y fijados a las paredes y techos. No requieren ningún tipo de trabajo posterior y de todos los sistemas de tabiques divisorios son los que exigen el menor trabajo en obra. Sin embargo, son los más caros. Su empleo se recomienda para todas las obras donde quiera reducirse, tanto como sea posible, el tiempo de construcción y donde habrá que tener en cuenta la posibilidad de efectuar cambios posteriores en la distribución de los pisos. En este grupo de tabiques pueden

incluirse también los tabiques divisorios móviles, como por ejemplo los tabiques plegables.

En el mercado se ofrecen una serie de sistemas parecidos de tabiques, que técnicamente están bastante bien estudiados. Por lo general, los tabiques tienen unos anchos unificados. La altura de los elementos de tabiques se adaptan en cada caso a la altura del local. Como las anchuras de locales sólo muy pocas veces son un múltiplo del ancho de los elementos, deben fabricarse piezas especiales de unión a las paredes siempre y cuando no pueda resolverse el problema mediante unos listones cubrejuntas de distintos anchos.

Tabiques al aire

Cuando la capacidad de carga de un techo no es suficiente para soportar el peso de un tabique, o cuando un tabique debe colocarse en una obra ya acabada, entonces habrá que ejecutarlo en forma de tabique al aire. El peso de un tabique en el que no se haya previsto ninguna puerta puede sostenerse mediante una viga de hormigón armado, de acero o de madera, colocada sobre el forjado y descansando en las paredes de carga.

La construcción se complica cuando el tabique debe contener una puerta. Entonces los tabiques, que pueden ejecutarse con hormigón, ladrillos cerámicos, ladrillos de cal y arena o baldosas de vidrio, deben ser autosustentados, sin recargar el forjado. A tal fin se dispone el apoyo correspondiente en las paredes de carga adyacentes. En los tabiques de ladrillo y en los de placas se disponen armaduras horizontales y verticales. La armadura horizontal debe anclarse fuertemente con las paredes laterales y la armadura vertical debe fijarse sólidamente en los forjados adyacentes.

Durante la construcción de un tabique al aire, el piso situado debajo del mismo no debe quedar sometido a cargas que sobrepasen la medida admisible. Por consiguiente, hasta que el tabique no haya llegado a un grado suficiente de endurecimiento, el piso debe estar suficientemente apeado.

Cuando un tabique al aire queda cortado o interrumpido por la abertura de una puerta, es necesario que la altura de la porción

de tabique que queda sobre el dintel de la misma no sea menor que la quinta parte de la luz total entre paredes. Esa altura puede limitarse a 1/8 si se colocan inmediatamente sobre la puerta dos hierros redondos de 5 mm, que se fijarán sólidamente en las paredes laterales. Un tabique armado sólo horizontalmente, no debe ser interrumpido por ninguna puerta.

Protección acústica

Según la DIN 4103, sólo las paredes divisorias de viviendas están sometidas a exigencias de amortiguación acústica. Sin embargo, habrá que procurar que la amortiguación acústica, ya de todas formas moderada, no se reduzca a un límite inadmisiblemente. Pensemos en habitaciones adyacentes a baños y aseos, y en dormitorios, cuartos de niños o despachos situados uno al lado del otro.

La amortiguación de los sonidos propagados por el aire producidos por las paredes de una sola hoja mejora con el aumento de peso, y en paredes de varias hojas con el mayor número de capas y su distinta rigidez a la flexión. Además las distancias entre las distintas capas influyen en la amortiguación acústica,

Protección térmica

En las normas de construcción no existen exigencias respecto a la protección térmica que ofrecen los tabiques. Sin embargo, un tabique con buen aislamiento térmico entre habitaciones calentadas y no calentadas, siempre constituye una ventaja. Habrá que tener en cuenta que cuando los tabiques tienen una sola hoja, los materiales porosos proporcionan un buen aislamiento térmico, y que en el caso de tabiques de varias hojas, el valor total del aislamiento térmico depende del número de hojas y sus coeficientes respectivos. En general el tabique de varias capas ofrece una buena protección, tanto acústica como térmica.

Protección contra el fuego

A veces se necesitan los tabiques también como protección contra el fuego. Según el material de que están hechos, los tabiques pueden considerarse según las exigencias de la DIN 4102, como retardadores del fuego, resistentes al fuego o de alta resistencia al fuego. Sin embargo, hay que tener en cuenta que estas calificaciones sólo son admisibles para la obra en su conjunto, tal como es descrita y ha sido ensayada oficialmente, incluida la ejecución de las juntas; y que las aberturas puedan reducir la seguridad contra el fuego.

Montaje y adaptabilidad

La elección de un determinado tipo de tabique depende principalmente de las condiciones de montaje y adaptabilidad así como del precio. Muchas veces se reduce el coste de un tabique al simplificar el montaje. Pero en todos los casos siempre se debe examinar cuidadosamente cuál de los distintos tipos de tabique es el más apropiado y económico.

Posibilidades de colocar instalaciones

Casi todas las paredes son portadoras de algún elemento de los que forman parte de las instalaciones, que pueden ser tanto los cables de corriente eléctrica a baja tensión como las tuberías de desagüe que van unidas a las paredes de instalaciones. En los tabiques macizos la colocación de conductos sólo puede realizarse abriendo rozas y agujeros que hay que tapar después, lo que requiere tiempo y cuesta dinero.

Los tabiques de dos o varias hojas ofrecen importantes ventajas técnicas en lo que se refiere a las instalaciones. Los conductos pueden colocarse en el interior de la pared. Sólo para los puestos de arranque y de toma habrá que interrumpir el revestimiento.

Colocación de puertas

Como cercos de puertas en tabiques se recomiendan principalmente los de madera o acero, ya que protegen y evitan daños en los expuestos bordes del hueco de la puerta. Los cercos deben anclarse bien en los tabiques y forjados, de modo que puedan transmitir las sacudidas a los elementos constructivos de carga, y rigidizar el tabique debilitado por la abertura.

Como altura de puerta la DIN 18100 indica 2,00 m. Pero cada vez más, especialmente en la construcción de viviendas (altura de techo 2,50 m), los cercos se hacen llegar hasta el techo. De este modo se simplifica la construcción.

Aberturas en las paredes

Aberturas para ventanas

Los alojamientos de los hombres prehistóricos, que hacían su vida al aire libre de modo predominante, carecían de ventanas. Como sucede todavía en la actualidad en pueblos que viven en forma primitiva, la entrada de acceso a sus cuevas, chozas, tiendas, etc. servía, al mismo tiempo, de abertura de iluminación y ventilación del local o refugio. Sin embargo, no se tardó en practicar algunas aberturas en los muros de los lugares de habitación cuando éstos fueron ya de mayores dimensiones, como objeto de poder llevar a cabo bajo techado aquellas labores necesarias para la vida.

Las dimensiones de tales aberturas fueron pequeñas al principio, en atención al clima y a la seguridad, pero fueron luego creciendo a medida que se iban perfeccionando los medios y posibilidades de cierre de las mismas, hasta llegar a la época actual en que, finalmente, se está en condiciones de hacer las ventanas casi de cualquier tamaño. Queda, hoy día, a nuestra libre elección entresacar de toda esta evolución y progreso desde la caverna prehistórica hasta los edificios "acristalados" de nuestros días las disposiciones y medidas que más nos plazcan y que mejor llenen nuestras necesidades y conveniencias. Para poder escoger en cada caso la disposición y tamaño más acertados, es preciso tener previamente ideas claras acerca del dimensionado y forma de ventanas y puertas y de los puntos de vista y reglas básicas para los mismos.

Situación de los edificios

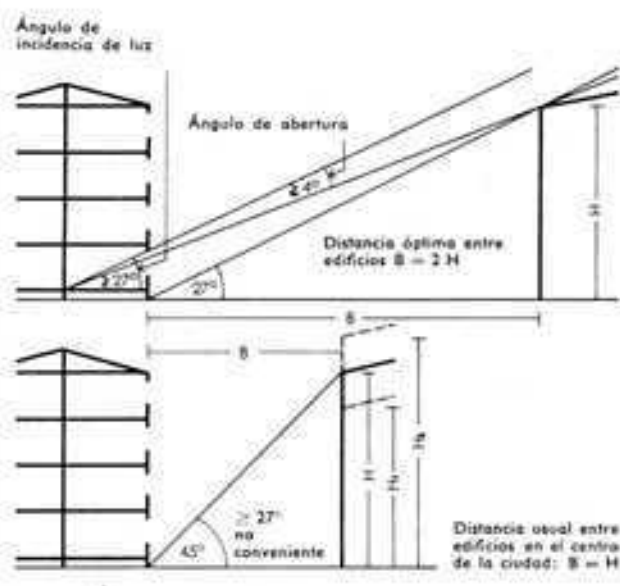
La intensidad y uniformidad de la luz diurna son distintas según la orientación hacia una u otra región del cielo. La orientación hacia Levante, hacia Mediodía o hacia Poniente dan la máxima iluminación a los locales, pero las fluctuaciones de dicha iluminación son también máximas. La iluminación más uniforme se consigue en las habitaciones orientadas hacia el norte (luz de taller).

La orientación que hay que dar a un local depende de la finalidad a que se le destina. En locales de vivienda, de escuelas, de hospitales, etc., conviene, casi siempre, que puedan entrar directamente los rayos solares. En cambio, hay locales que sólo necesitan luz abundante, pero en los que no resulta conveniente la radiación solar directa, como ocurre por ejemplo en algunas actividades de la industria textil, ya que la luz solar directa dificulta la apreciación de las diferencias de color en las telas y además puede dar lugar a su decoloración.

La iluminación de un local, además de depender de su situación en lo que se refiere a orientación, también depende de su emplazamiento respecto de las edificaciones próximas, árboles, montañas, etc., que en determinados casos pueden obstaculizar en gran manera la llegada de la luz.

La norma DIN 5034 estudia estas circunstancias que influyen en la iluminación de interiores con luz natural o luz de día, así como sus efectos y remedios. La incidencia de la luz natural sirve para determinar la distancia media entre edificios en relación con su altura, dentro de los barrios residenciales. Para trazar los planos de un barrio nuevo se señala que las escuelas y hospitales deben quedar a una distancia de los edificios más próximos $B \geq 2H$, lo cual permite un ángulo de incidencia de la luz de 27° y un ángulo de abertura de sol en la planta baja de 4° como mínimo. Cuan-

do las alturas de los edificios son distintas se toma el valor medio deducido de su suma. En las zonas céntricas de la ciudad donde la caresta del suelo fomenta la concentración, las ordenanzas regulan las alturas máximas igualándolas a la anchura de la calle lo cual permite, por lo menos, un ángulo de incidencia de 45° .



Iluminación de interiores con luz natural

En una habitación con entrada lateral de luz se dan grados de iluminación muy diferentes. Aparte de las variaciones de la luminosidad exterior que puedan presentarse como consecuencia de la situación meteorológica, hay una disminución de la iluminación horizontal desde la ventana hasta la "línea de visión del cielo" —formada por los puntos del plano horizontal convencional que se considera situado a 1 m de altura sobre el suelo a partir de los cuales ya no se ve el cielo—. En las zonas más interiores de la habitación, fuera de la línea de visión mencionada, aquella disminución será menos brusca porque a estos puntos sólo les alcanza la luz reflejada o difusa. Por este motivo, en la iluminación de interiores con luz natural carece de sentido tratar de determinar la cantidad de iluminación como se hace con la luz artificial, esto es, tomando un valor medio de la iluminación que en nuestro caso sólo representaría la del tercio más exterior del local. No obstante, es interesante que se piense en dar al local las aberturas suficientes para la función a la cual se destina y la determinación previa y exacta de la iluminación mínima requerida en ciertos puntos y zonas del local. Como en los procesos de cálculo de la estática, aquí hay que comprobar si bajo condiciones dadas, una iluminación queda o no por debajo de los valores mínimos requeridos para la función propia del local. La norma DIN 5034, contiene instrucciones para la "iluminación de interiores con luz natural" y los procedimientos de cálculo. En este capítulo sólo se explican las consideraciones esenciales y sus consecuencias o efectos.

Luz natural

Se llama así a la luz difusa del cielo completamente cubierto. Según las latitudes predominarán más o menos las horas de día con cielo cubierto sobre las horas de sol eficaz.

Iluminación natural al aire libre

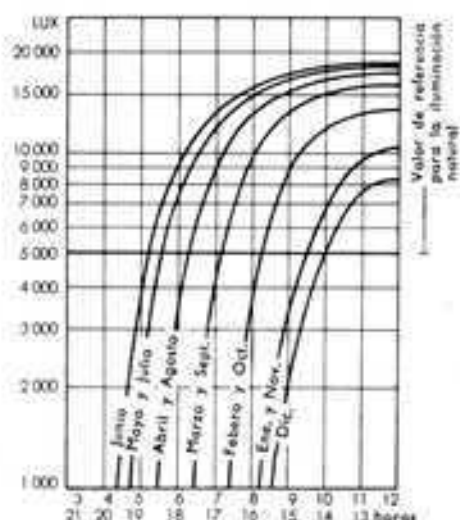
Se llama así a la intensidad de iluminación horizontal, medida en lux, que recibe una superficie plana situada al aire libre y que se supone procedente del total de la "bóveda celeste". Como valor de referencia para una suficiente iluminación interior que, en definitiva, depende de la intensidad luminica media del exterior, se toma la intensidad $E_s = 5000$ lux, que corresponde a la de un día nublado de diciembre entre las 12 y 14 horas. Con este valor empieza y acaba el "día" según el sentido con que se usa en la norma:

La intensidad de iluminación bajo el sol de verano puede alcanzar los 150 000 lux, mientras que la luna llena no ofrece más que 0,5 lux aproximadamente.

Se dice que una superficie tiene una iluminación de 1 lux cuando sobre ella incide uniformemente repartida la unidad de flujo luminoso de un lumen, o sea $1 \text{ lux} = 1 \text{ lm/m}^2$. Flujo luminoso es el haz de radiaciones visibles producido por un punto o fuente productor de luz.

1 lumen (lm) es la unidad de flujo luminoso que origina un foco cuyo brillo o luminosidad por unidad de ángulo sólido es de 1 candela.

1 candela (cd) es la nueva unidad internacional de luminosidad o brillo. Su determinación se basa en que la "densidad luminosa" del hueco interior de un tubo de óxido de torio incandescente a la temperatura de fusión del platino (2047° Kelvin) equivale a 60 candelas por cm^2 de superficie luminosa. La candela tiene con la antigua unidad "bujía" la siguiente relación: $1 \text{ bujía} = 0,92 \text{ cd}$.



OSCILACIÓN DIARIA Y ANUAL DE LA ILUMINACIÓN HORIZONTAL MEDIA AL AIRE LIBRE

La densidad luminosa¹ es, al contrario del flujo luminoso emitido, una medida específica del brillo o cantidad de luz de una superficie emisora. Es indiferente si la superficie luminosa genera su propia luz (foco primario) o es un mero reflector de la que otro foco produce (foco secundario).

1 stilb (sb) es la unidad de densidad luminosa para un foco primario.

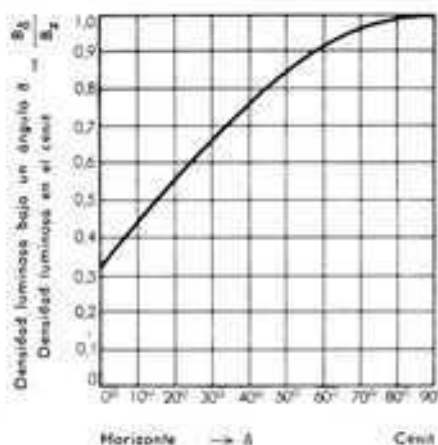
1 apostilb (asb) es la unidad de densidad luminosa para un foco secundario.

Para unidades fotométricas, véase norma DIN 5031.

Ejemplos de densidades luminosas de los focos luminosos más usuales (en stilbs):

Luna llena	0,25	
Cielo despejado	0,4	
Tubo luminoso de alta tensión	0,1	hasta 0,8
Lámpara de neón	0,3	0,6
Cerilla, vela	0,75	
Bombilla de incandescencia de vidrio opal	1	5
Bombilla de incandescencia con inferior difusor	3	50
Bombilla de incandescencia con vidrio diáfano	200	2 000
Bombilla de gas xenón refrigerada por aire (Osram)	30 000	65 000
Bombilla de vapor de mercurio a alta presión	4 000	140 000
Sol		220 000

1) En España se adoptó la denominación oficial de «Luminancias».

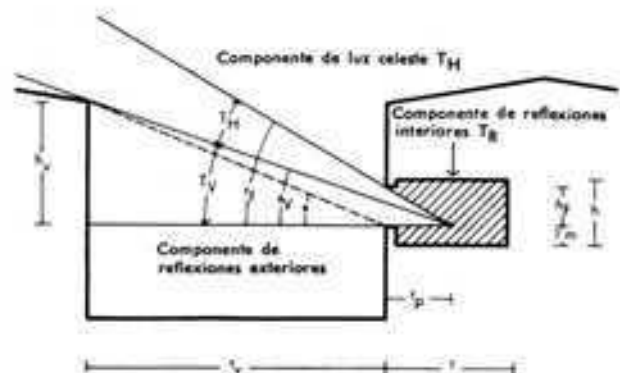


DESCENSO DE LA DENSIDAD LUMINOSA DEL CIELO CUBIERTO DESDE EL CENIT AL HORIZONTE.

Disminuye desde el cenit hasta el horizonte en un 70%. Los casos más frecuentes de incidencia son los 10° y los 60°, o sea los correspondientes a las mayores disminuciones de densidad luminosa. Este decremento de la luminosidad debe ser tenido en cuenta al dimensionar las ventanas.

Coefficiente de luz diurna

Como la luz diurna sufre variaciones radicales con las influencias de la meteorología, sólo tiene sentido fijar unas intensidades de iluminación natural para un determinado lugar de trabajo si se hace en relación con la iluminación que existe en aquel mismo momento al aire libre. Esta relación se denomina "coeficiente de luz diurna" $T = E_i / E_a$ en %. Entonces puede hablarse propiamente de iluminación natural mínima para una determinada actividad a desempeñarse en dicho lugar, sobre la base de una iluminación al aire libre de $E_a = 5000$ lux, que como es sabido es la mínima o más favorable. Como en este valor no se tiene en cuenta la entrada directa de los rayos solares, la iluminación mínima deberá variar según la orientación de las aberturas. La iluminación natural del interior de un local depende de numerosos factores que se combinan para formar el "coeficiente de luz diurna" de la manera siguiente:



- h = Altura de la habitación
- l = Profundidad de la habitación
- l_p = Profundidad de medida, distancia entre la cara exterior de la ventana y un punto situado en el plano de medida, o sea a 1 m de altura sobre el suelo
- h_z = Altura de vidrio por encima del plano de medida
- h_v = Altura de la edificación de enfrente, por encima del plano de medida
- l_v = Distancia horizontal desde la ventana al edificio que obstaculiza la luz
- α = Ángulo de proyección visual de la altura del edificio-obstáculo
- α_p = Ángulo máximo que permite la altura de la ventana
- δ = Ángulo que depende de la distancia entre edificios.

Componente de la luz celeste T_H

Viene influida por el descenso de densidad luminosa de la bóveda celeste hacia el horizonte y la situación de obstáculos intermedios que hagan sombra (como edificios, montes, vegetación,

etc.) con respecto al punto de medida en el local, cuya influencia puede determinarse gráfica y analíticamente con toda exactitud.

Componente de reflexiones exteriores T_V

La luz que reflejan los edificios que están frente a la abertura representa una escasa proporción del total que llega al interior del local; máxime cuando dichos edificios son de poca altura y están alejados de manera que permiten ángulos de incidencia bajos. Pero en el caso de una mayor concentración edificatoria, con ángulos de incidencia mayores y fachadas más reflectantes, la componente de luz exterior reflejada puede llegar a ser importante. Dicha componente se hace más notoria en las zonas situadas fuera de la línea de visión del cielo, cuya iluminación procede exclusivamente de las reflexiones interiores y exteriores.

Componente de reflexión interior T_R

Se determina mediante el flujo total de luz que penetra por la ventana y es reflejado en el interior del local. Lo esencial en este caso es la relación que existe entre la superficie de la abertura y las superficies que limitan el espacio del local, las cualidades reflectoras de éstas y el ángulo (α) formado por la recta que une el borde superior de los edificios situados frente a la abertura con el borde inferior de la misma y la horizontal de dicho borde. Este ángulo sirve para delimitar la anchura del haz luminoso, tanto de luz directa como reflejada, que atraviesa la ventana.

Locales con iluminación lateral

Desde el punto de vista de iluminación se consideran como "salas de estar" todas las habitaciones de reposo y permanencia activa o recreativa dentro de una vivienda. Para proveer las necesidades y comodidad de los usuarios y, al mismo tiempo permitir que éstos escojan con toda libertad los colores y la decoración de las habitaciones, se parte, en las cuestiones citadas de iluminación natural, del planeamiento de un coeficiente de reflexión bajo de las superficies, o sea de una componente de reflexiones interiores también baja. Desde el punto de vista higiénico la iluminación de una zona de estar es suficiente cuando en su mitad más interior, en dos puntos de la "superficie de medida" convencional, que estén por lo menos a 1 m de distancia de las paredes contiguas exista un coeficiente de luz diurna que no sea inferior a un 1%.

Clase de trabajo	Exigencia de iluminación	Valores mínimos de iluminación en lux	coeficiente de luz diurna en %
rudo	escasa	50	1
doméstico	media	100	2
delicado	intensa	250	5
de precisión	muy intensa	500	10

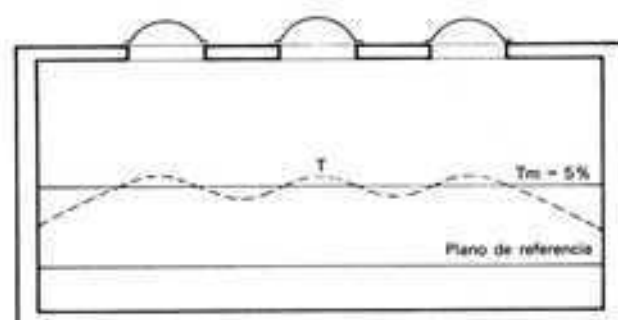
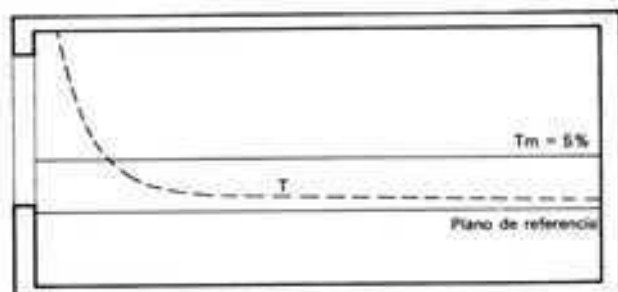
Bajo la designación de trabajos "domésticos" se clasifican y equiparan las labores de cocina, lavado, carpintería, etc. Los trabajos "delicados" o de mayor fatiga visual agrupan lectura, escritura, grabado, imprenta, costura, pulido, etc., y los de "de precisión" o esencialmente visuales se refieren al dibujo y los trabajos gráficos y mecánicos de detalle o ajuste (p. ej. relojería). En las salas de trabajo cada lugar debe tener durante toda la jornada laboral la iluminación señalada como mínima por la norma DIN 5035. Si no basta con la luz natural, hay que completarla con luz artificial. No obstante, incluso en los lugares más desfavorables conviene que exista al menos un coeficiente de luz diurna de un 1%.

En las aulas se requiere un coeficiente mínimo en los puntos más desfavorables, de un 2% y en las salas de dibujo, experimentación química o física y trabajos manuales, un 5%. Además, la componente de luz reflejada debe ser importante para ofrecer una luz lo más uniforme y difusa posible. La relación, que fija el grado de uniformidad, entre la iluminación máxima y mínima debe ser, $E_{\max} : E_{\min} = 1:3$.

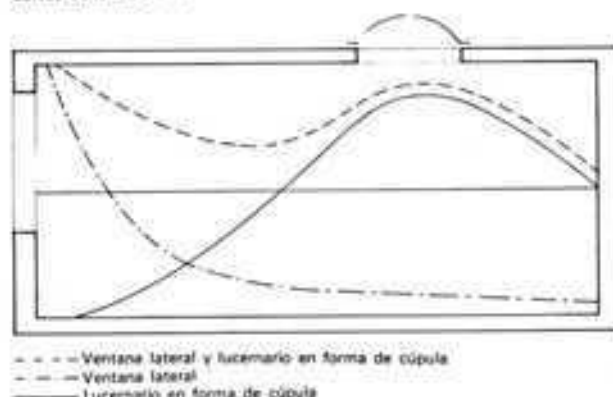
Las habitaciones de enfermos necesitan básicamente la misma iluminación que las salas de estar. Por motivos psicológicos es aconsejable que las ventanas tengan los antepechos al nivel de la cama.

Las salas de tratamiento y consulta equivalen a las salas de trabajo, en cuanto a este tipo de exigencias. Los quirófanos presentan exigencias muy altas de iluminación que sólo pueden cumplirse con luz artificial.

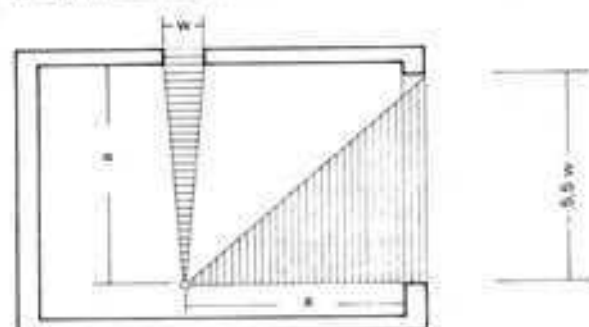
DISTRIBUCIÓN DE LA ILUMINACIÓN NATURAL AL TENER UN COEFICIENTE MEDIO DE LUZ DIURNA $T_m = 5\%$ EN UN LOCAL CON VENTANAS LATERALES Y EN UN LOCAL CON LUCERNARIO EN FORMA DE CÚPULA



Curvas de la luz diurna



Aberturas necesarias para una iluminación natural uniforme



Locales con iluminación cenital

Las salas de trabajo amplias sólo pueden iluminarse con luz natural si se dotan de lucernarios o cúpulas cenitales. La componente de reflexión exterior es, en este caso, muy baja. Los techos no reflejan más que la luz exterior que le llega rasante, y las paredes y las aberturas laterales sólo tienen eficacia para su zona inmediata. Las naves en "shed" o "diente de sierra" brindan la mejor iluminación posible.

La instalación de cúpulas permite, bajo la cubierta, disponer de una iluminación uniforme y prácticamente libre de sombras que se difunde desde arriba. La gran permeabilidad luminosa del plexiglás necesita menores aberturas que, por ejemplo, las claraboyas de vidrio armado. A fin de que el cierre de las cúpulas con la cubierta sea hermético, éstas se montan sobre una corona de asiento. Los artificios estarán abiertos hacia el interior en bisel oblicuo.

Las salas de proporciones angostas con iluminación cenital (por ejemplo una sala de Audiencia Jurídica) que han de utilizarse como locales públicos, necesitan superficies de cristal enormes para poder funcionar exclusivamente con la luz diurna.

Una condición técnica de gran importancia para los lucernarios cenitales es que sean fácilmente lavables.

Dimensiones, forma y situación de las ventanas

Las dimensiones, forma y situación de las ventanas debe escogerse de manera que la luz del día pueda utilizarse para la iluminación de los locales el mayor tiempo posible; pero ello no debe ser a costa de unas dimensiones exageradamente grandes que se traduzcan en costes antieconómicos de la construcción y de su entretenimiento ni en gastos desproporcionados de calefacción, de refrigeración etc., siendo además necesario que tanto desde el exterior como del interior presenten los edificios un aspecto estético satisfactorio.

Al dimensionar las aberturas de las ventanas, además de tener presentes las consideraciones de la iluminación y de la economía, hay que tener en cuenta quiénes van a ser los ocupantes de los locales. El deseo de luz y de aire cada vez mayor, que se desarrolla paralelamente con el deporte, son característicos especialmente del hombre de las ciudades, de su vida de trabajo en locales cerrados, talleres, almacenes, despachos, etc., más o menos apartado de la Naturaleza. Los hombres que trabajan siempre o casi siempre al aire libre buscan, en cambio, con más interés el local abrigado y resguardado y sienten menor necesidad de estar en comunicación visual con el mundo exterior. Por esta razón, en las viviendas urbanas se da a las ventanas de los locales de vivienda mayores dimensiones que en las habitaciones rurales de los agricultores, donde se parte, para fijarlas, de las necesidades mínimas requeridas por las razones de higiene. Las dimensiones y forma de las ventanas son de una importancia decisiva para el aspecto exterior de los edificios y para la forma y disposición interior de los locales. Por ellas y a primera vista se reconocen los diferentes destinos y aplicaciones de los edificios y el tipo o clase de los mismos. Para dar a un edificio el carácter que debe tener es necesario llevar a cabo con todo cuidado el dimensionado y la distribución de las ventanas.

Dimensiones de las ventanas

Las dimensiones necesarias de las aberturas de las ventanas vienen determinadas por la cantidad de luz requerida por el género o naturaleza del edificio.

En la norma DIN 5035, "iluminación de interiores con luz artificial", se especifican las necesidades de iluminación que corresponden a diversas funciones o usos. La iluminación natural de interiores también debe cumplir estos requisitos mínimos aun cuando sirva sólo para iluminación general y los puestos de trabajo se iluminen artificialmente.

Como punto de partida hay que tomar primero el "tamaño mínimo de ventana" que en ningún caso debe mermarse. Ese tamaño mínimo viene dado por la superficie de luz o de cristales (superficie luminosa) indispensable para que en el local haya todavía "suficiente" luz general o en los puestos de trabajo. Este tamaño mínimo puede determinarse como sigue:

por reglas empíricas,
 por cálculos, o
 por tablas gráficas de dimensiones.

Según reglas empíricas, la superficie mínima de ventanas en los locales de habitación será:

en planta baja	$\geq 1/8$
en el 1.º piso	$\geq 1/9$
en el 2.º piso	$\geq 1/10$
en el 3.º piso	$\geq 1/11$

y en todos los demás pisos 1/12 de la superficie del pavimento. En locales escolares u enfermerías se calcula de 1/5 a 1/3 de dicha superficie.

Las reglas empíricas sólo proporcionan datos de aproximación escasa, puesto que la iluminación interior de un edificio no sólo depende de su altura, sino también de la de los vecinos. Los métodos basados en el cálculo o los gráficos, como p. ej. el de Frühling, Büning y Arndt, tienen más en cuenta estos factores y dan instrucciones precisas para conseguir cierto nivel de iluminación natural en el interior de un edificio, aunque sus datos se basan en una iluminación "media" de los locales.

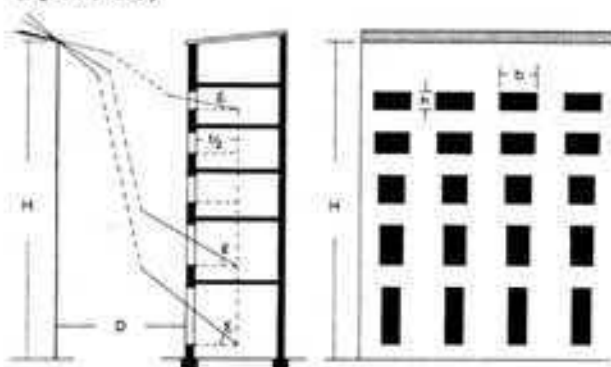
Forma y situación de las ventanas

Las condiciones de iluminación de un local varían según la forma y situación de las aberturas de luz.

Cuanto más ancha es una ventana, tanto más uniforme es la iluminación de conjunto del local. La anchura de ventana puede repartirse en varias aberturas. La anchura de los machones o entrepaños comprendidos entre las ventanas deber ser, sin embargo, en tal caso $\leq 1/4$ de la anchura de ventana.

Las ventanas altas o emplazadas en la parte alta de la pared iluminan mejor una habitación que las ventanas bajas. La altura de pared sobre el dintel de la ventana debe ser lo más reducida posible, y como máximo de 30 cm. Con los dinteles altos, además, se aprovecha mejor el poder de reflexión de los techos, que en su mayor parte son claros. Así, pues, las ventanas que llegan hasta el mismo techo son las más favorables para la iluminación. Las anchuras y alturas de ventanas no son factores equivalentes desde el punto de vista de la iluminación. Si para igual tamaño de las aberturas se quiere que, en todos los pisos, las habitaciones tengan una iluminación equivalente, será necesario que en los pisos bajos se hagan las ventanas altas y estrechas y, en los pisos altos, anchas y bajas.

ESQUEMA DE UNA DISTRIBUCIÓN ÓPTIMA DE VENTANAS EN UN EDIFICIO (según W. Arndt)



La iluminación de un local aumenta cuando la abertura de la ventana es desplazada del centro y se acerca más al tabique transversal. Sin embargo, si se sitúa la abertura demasiado cerca de la pared o tabique transversal, vuelve a empeorar la iluminación de la habitación, porque el tabique sólo recibe, en tal caso, luz rasante y no actúa como reflector eficaz.

Otras influencias sobre la iluminación

Las paredes y techos de colores claros mejoran la uniformidad de la iluminación de las habitaciones. Las cortinas y colgaduras disminuyen notablemente el grado de rendimiento. Sólo se hallan justificadas en el caso de gran exceso de luz (luz del sol).

Las cortinas muy translúcidas, como p. ej. los visillos, las cortinas de tul, etc., aunque reducen el grado de rendimiento luminoso, mejoran la uniformidad de la iluminación del local.

La construcción de la ventana también puede contribuir a la mejora o al empeoramiento de dicha iluminación.

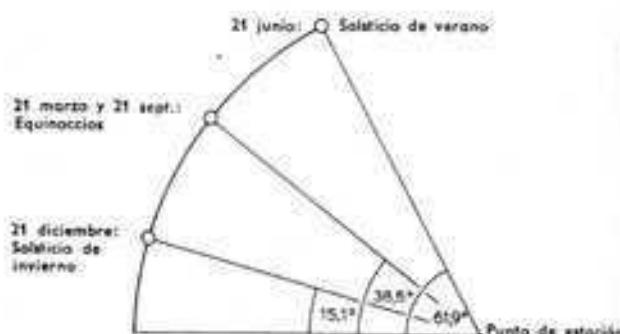
Para lograr con las ventanas corrientes de dos hojas de madera una superficie de luz (superficie de cristales) de 1 m², es necesario dar a la ventana una superficie de 1,415 m². Con ventanas de acero basta con 1,193 m² de ventana para lograr aquella superficie de luz.

Los travesaños reducen la superficie de luz: los balcones, galerías, tribunas, cornisas y demás construcciones en resalto, merman la iluminación de las habitaciones situadas debajo. Los telares profundos deben evitarse o achafanarse, a fin de que no sean obstáculo para la llegada de la luz.

La radiación solar muy intensa puede suavizarse por medio de tejadillos, parasoles, etc.

Comparación de la protección térmica

Las ventanas ordinarias y aun las ventanas con dobles cristales y las ventanas dobles son siempre origen de elevadas pérdidas térmicas. El coeficiente de paso del calor k de una pared de ladrillo de asta y media de espesor es de 1,34 kcal/m² h°; en cambio,



para las ventanas hay que contar (según DIN 4701) con los siguientes valores:

Ventanas de madera:	
de cristal sencillo	$k = 4,5 \text{ kcal/m}^2 \text{ h}^\circ$
de dobles cristales	
para distancia entre cristales de 6 mm	$k = 2,8 \text{ kcal/m}^2 \text{ h}^\circ$
para distancia entre cristales de 12 mm	$k = 2,5 \text{ kcal/m}^2 \text{ h}^\circ$
hoja doble con marco único	$k = 2,2 \text{ kcal/m}^2 \text{ h}^\circ$
Ventana doble completa	$k = 2,0 \text{ kcal/m}^2 \text{ h}^\circ$
Ventanas de acero:	
de cristal sencillo	$k = 5,0 \text{ kcal/m}^2 \text{ h}^\circ$
de cristal doble	
para distancia entre cristales de 6 mm	$k = 3,4 \text{ kcal/m}^2 \text{ h}^\circ$
para distancia entre cristales de 12 mm	$k = 3,1 \text{ kcal/m}^2 \text{ h}^\circ$
hoja doble con marco único	$k = 3,0 \text{ kcal/m}^2 \text{ h}^\circ$
ventana doble completa	$k = 2,8 \text{ kcal/m}^2 \text{ h}^\circ$
Escaparate de 1 cristal	$k = 5,0 \text{ kcal/m}^2 \text{ h}^\circ$
Vidrieras enmarcadas en hormigón	$k = 5,0 \text{ kcal/m}^2 \text{ h}^\circ$
Paredes de "hormigón translúcido", bloques huecos	$k = 2,0 \text{ kcal/m}^2 \text{ h}^\circ$

La comparación indica que el aumento de superficie luminosa por encima del mínimo tamaño de ventana, sobre todo cuando se trata de ventanas sencillas, requiere un sensible aumento del consumo de calefacción del local. Los coeficientes de permeabilidad térmica relativamente altos de estas ventanas simples pueden remediarse utilizando vidrios aislantes, por ejemplo, los tipos "cudo" y "thermopane" que están compuestos por dos o más lunas que encierran una cámara de aire completamente estanca gracias al perfil de plomo que las enmarca; versiones especiales no transparentes como el "dig", con interposición de hoja de plástico, las "thermolux" de doble luna con fibra de vidrio interpuesta, y las "gado" a base de dobles hojas de vidrio soldadas entre sí.

Ha sido comprobado que estas clases de vidrio permiten disponer de una protección térmica equivalente a la de una pared normal de ladrillo de 1 asta de espesor, que en modelos especiales llega casi a la de una pared de asta y media. Tales vidrios permiten aumentar tanto como se quiera las aberturas de iluminación sin aumento notable del consumo en calefacción, de manera que sólo pueden influir en su elección y dimensiones el coste de compra de las ventanas y eventuales medidas de seguridad que haya que tomar.

Las ventanas como elementos estructurales

La disposición y forma de las ventanas depende de la construcción y del destino que se da a los edificios.

En las débiles paredes, no muy aptas ciertamente para soportar fuertes cargas, que hoy día se emplean casi exclusivamente en la construcción de pequeñas viviendas, pueden abrirse solamente ventanas de modestas dimensiones y dejando los correspondientes entrepaños de suficiente amplitud. Hay un predominio de las superficies de pared.

Cuando las paredes son sólidas y capaces de soportar cargas de importancia, pueden bastar, en determinados casos, entrepaños o machones más estrechos, lo cual permite abrir ventanas de mayor amplitud. Sin embargo, la característica de todas las construcciones a base de paredes continuas es siempre el predominio de las superficies llenas en los paramentos.

Pueden utilizarse construcciones de tipo mixto con paredes y pilares, pero deben tratarse siempre con mesura y atención. Cuando las ventanas van encuadradas entre jambas manifiestas, se reducen aparentemente los lienzos de pared portante. Los machones entre dos ventanas deben, no obstante, dar siempre la impresión de que corre a su cargo la sustentación de las cargas. Los edificios de entramado no sólo permiten, sino que exigen, tanto por razones constructivas como por razones de estética, ventanas que vayan de pilar a pilar.

La estructura superficial de la pared también tiene, para el observador experto, su importancia para el dimensionado y distribución de las aberturas. Así, p. ej., un paramento liso, enlucido de color claro, es mucho más delicado y sensible que una pared de mampostería ordinaria con un robusto reticulado de juntas estructurales.

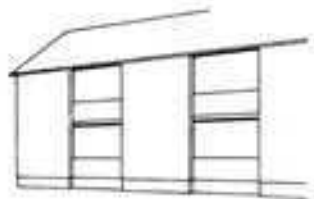
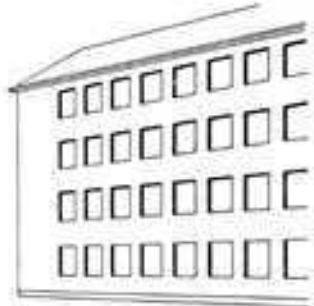
En cambio, puede producir un efecto muy atractivo el contraste entre superficies muy quebradas e irregulares y otras lisas y compactas.

Para el aspecto plástico de una pared es importante la formación de relieves por medio de los recuadros exteriores de las ventanas. Si los recuadros están rehundidos se acentúan fuertemente las aberturas de las ventanas. En las fachadas lisas y enlucidas, el aumento de la profundidad de los recuadros de las ventanas produce fácilmente un efecto de dureza y contraste. Las distribuciones irregulares de las ventanas con diversidad de tamaños intensifican esa impresión. En cambio, si las ventanas quedan enrasadas con el paramento, se hacen tolerables incluso importantes libertades en aquella materia.

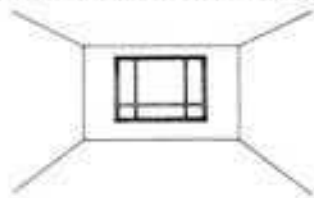
Tan importante como el dimensionado y disposición de las ventanas es para el observador que las contempla desde el exterior, lo es también para quien examina el interior del edificio y para el buen aspecto del local.

Constructivamente, la altura de una ventana queda determinada por la altura del techo y las alturas del antepecho y del dintel. De acuerdo con las dimensiones del cuerpo humano, la altura del antepecho debe ser de 85 a 90 cm. Con una altura así, aun cabe arrimar una mesa (de 80 cm de altura) a la ventana sin inconveniente para que ésta pueda abrirse o cerrarse. La altura del dintel es consecuencia de su tipo de construcción, de que sea de albañilería o de hormigón, o de que esté formado por viguetas de hierro. Las cajas de alojamiento para las persianas enrollables aumentan la altura visible del dintel.

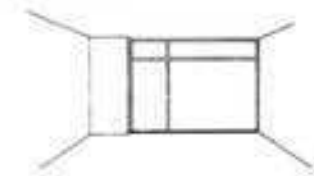
La dimensión decisiva para el carácter de un local es su altura. Los locales altos de techo invitan a pasear y estar de pie; los bajos de techo, a estar sentados. Variando la altura de los antepechos y de los dinteles puede aún intensificarse esa impresión. Los antepechos bajos y los dinteles algo deprimidos acentúan la tendencia a sentarse cómodamente en butacas bajas. El mirar



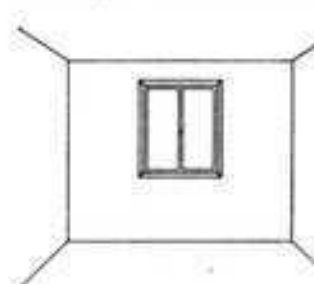
hacia afuera es más cómodo, también cuando los antepechos son bajos. Una mesilla de ventana ensanchada puede ser utilizada para colocar macetas o un cajón de flores. Es recomendable la colocación de un sobreantepecho y de alguna vidriera fija parcial, en cuyo caso habrá que prever, sobre todo en los pisos altos, la posibilidad de la limpieza de los cristales.



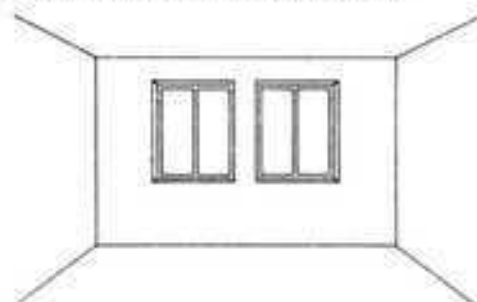
Puertas-balcones totalmente acristaladas en las construcciones de planta baja enlazan el local con el exterior. Si el frente del balcón está hecho todo él de cristal, la habitación aparecerá como un hueco cubierto que da al exterior.



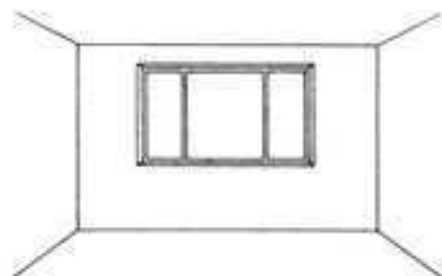
Los esfuerzos y tentativas para el enlace de la habitación y el exterior fueron llevados hasta el extremo de conducir a una ilusoria confusión de límites entre interior y exterior colocando plantas del jardín en la parte interior de la vivienda.



Ventana de dos hojas en una habitación pequeña. Altura sobre el dintel: ≤ 30 cm. Altura de antepecho: 90 cm.



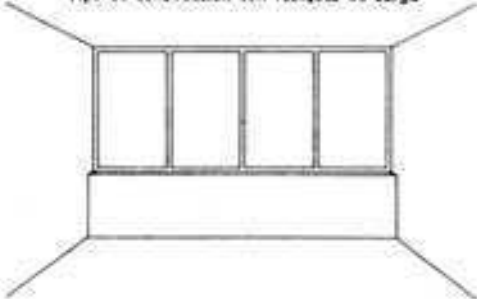
Superficie de luz repartida entre dos ventanas. Anchura del entrepaño $\leq 1/4$ de la anchura de ventana. Un entrepaño más ancho perjudicaría la uniformidad de la iluminación.



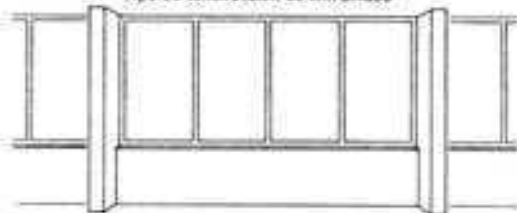
Una abertura ancha es mejor que dos estrechas, iluminación buena y uniforme. En locales grandes, sin embargo, es conveniente dividir la superficie total de ventanas en varias aberturas para repartirla uniformemente de acuerdo con la distribución de los sitios de trabajo.

Los tipos de construcción con tabiques y de entramado permiten, sin necesidad de otras disposiciones o medidas constructivas, la solución de amplias y altas ventanas, que proporcionan una iluminación uniforme y profunda del local. Es apropiada para edificios de oficinas, construcciones industriales, etc.

Tipo de construcción con tabiques de carga

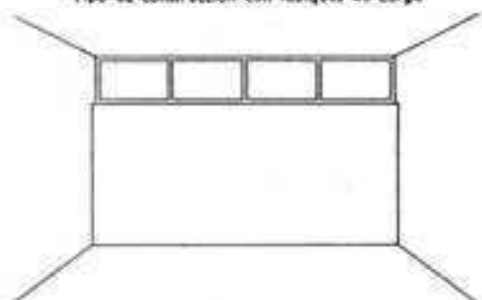


Tipo de construcción de entramado

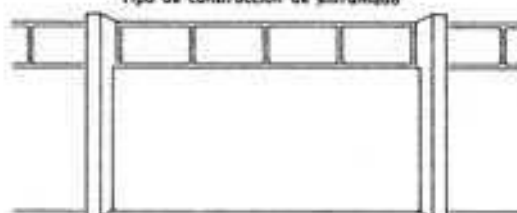


La elevación del antepecho de las ventanas por encima de la medida normal aísla cada vez más la habitación del mundo exterior y refuerza el efecto de su capacidad. Dentro de moderados límites, un local puede ganar en habitabilidad, como se comprueba en los antiguos grabados holandeses.

Tipo de construcción con tabiques de carga



Tipo de construcción de entramado



Sin embargo, si el antepecho alcanza la altura de los ojos o queda aún más arriba, las personas que están en el local se concentran más en sí mismas y en el espacio que las rodea. Las ventanas altas se abren en paredes macizas o de entramado cuando se necesita la pared que da al exterior para algún uso especial (p. ej. guardarropas, cocinas, etc.) o para almacenar cosas (p. ej. en los depósitos y almacenes) o bien donde sólo se necesita luz en el local, sin que sea preciso mirar hacia afuera (p. ej. en los templos).

En locales altos y amplios, esto produce un efecto solemne (templos); en los locales estrechos, en cambio, el efecto es deprimente y triste.

Aberturas normalizadas para ventanas

Las aberturas para ventanas están normalizadas por la DIN 18050. El texto de esta hoja de Normas (edición de 9-1955) es el que se reproduce a continuación:

1. Observación preliminar

Las dimensiones mencionadas en esta norma para las aberturas de ventanas coinciden con las que da la norma DIN 4172: "Ordenación de medidas en la edificación". Esta norma vale para todos los modelos de ventanas.

3. Medidas

- 3.1 En la figura están recopiladas las dimensiones de puertas y ventanas más usadas y ventajosas para la construcción de viviendas. Coincidiendo con la norma DIN 4172 (columna b de la tabla) se dan las medidas directrices, para la obra en bruto, sin revocar, de las cuales se deducen las medidas nominales de las aberturas.
- 3.2 Las medidas directrices de la obra sin revocar para el resalto o batiente de la ventana pueden apreciarse en las figuras.
- 3.3 En los dibujos del proyecto y de la obra hay que consignar las medidas nominales.
Para el anteproyecto basta con consignar las medidas directrices para la obra sin revocar, como indica la figura de esta norma.
- 3.4 La limitación a un corto número de tamaños y dimensiones es una medida económica y responde a una buena costumbre de los constructores. Los tamaños de ventanas de la figura son preferidos y más ventajosos.
- 3.5 No deben emplearse otros tamaños de ventanas que los representados en la figura. Sin embargo, puede darse el caso de que sea necesario hacer alguna excepción, en cuyo caso las medidas directrices de la obra sin revocar deberán ser múltiplos enteros de 125 mm.

Medidas en mm

Preferible para:

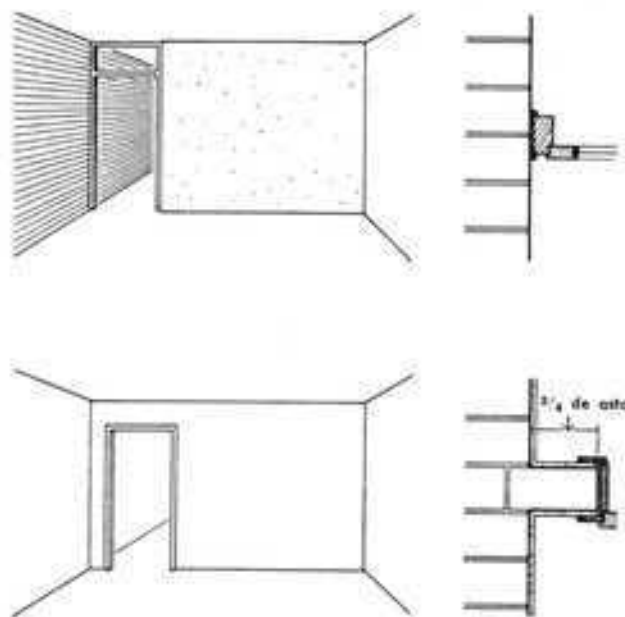
Ventanas de dos hojas — Ventanas de tres hojas — Vent de cuatro hojas —

Ventanas de una hoja		Ventanas de dos hojas		Ventanas de tres hojas		Vent de cuatro hojas									
375	500	625	750	875	1000	1125	1250	1375	1500	1625	1750	1875	2000	2125	2250
3x3	4x4	5x5	6x6	7x7											
3x5	4x6	5x7	6x8	7x9	8x8										
4x5	5x6	6x7	7x8	8x9	9x8										
5x6	6x7	7x8	8x9	9x10	10x9										
6x7	7x8	8x9	9x10	10x11	11x10										
7x8	8x9	9x10	10x11	11x12	12x11										
8x9	9x10	10x11	11x12	12x13	13x12										
9x10	10x11	11x12	12x13	13x14	14x13										
10x11	11x12	12x13	13x14	14x15	15x14										
11x12	12x13	13x14	14x15	15x16	16x15										
12x13	13x14	14x15	15x16	16x17	17x16										
13x14	14x15	15x16	16x17	17x18	18x17										
14x15	15x16	16x17	17x18	18x19	19x18										
15x16	16x17	17x18	18x19	19x20	20x19										
16x17	17x18	18x19	19x20	20x21	21x20										
17x18	18x19	19x20	20x21	21x22	22x21										
18x19	19x20	20x21	21x22	22x23	23x22										
19x20	20x21	21x22	22x23	23x24	24x23										
20x21	21x22	22x23	23x24	24x25	25x24										
21x22	22x23	23x24	24x25	25x26	26x25										
22x23	23x24	24x25	25x26	26x27	27x26										
23x24	24x25	25x26	26x27	27x28	28x27										
24x25	25x26	26x27	27x28	28x29	29x28										
25x26	26x27	27x28	28x29	29x30	30x29										
26x27	27x28	28x29	29x30	30x31	31x30										
27x28	28x29	29x30	30x31	31x32	32x31										
28x29	29x30	30x31	31x32	32x33	33x32										
29x30	30x31	31x32	32x33	33x34	34x33										
30x31	31x32	32x33	33x34	34x35	35x34										
31x32	32x33	33x34	34x35	35x36	36x35										
32x33	33x34	34x35	35x36	36x37	37x36										
33x34	34x35	35x36	36x37	37x38	38x37										
34x35	35x36	36x37	37x38	38x39	39x38										
35x36	36x37	37x38	38x39	39x40	40x39										
36x37	37x38	38x39	39x40	40x41	41x40										
37x38	38x39	39x40	40x41	41x42	42x41										
38x39	39x40	40x41	41x42	42x43	43x42										
39x40	40x41	41x42	42x43	43x44	44x43										
40x41	41x42	42x43	43x44	44x45	45x44										
41x42	42x43	43x44	44x45	45x46	46x45										
42x43	43x44	44x45	45x46	46x47	47x46										
43x44	44x45	45x46	46x47	47x48	48x47										
44x45	45x46	46x47	47x48	48x49	49x48										
45x46	46x47	47x48	48x49	49x50	50x49										
46x47	47x48	48x49	49x50	50x51	51x50										
47x48	48x49	49x50	50x51	51x52	52x51										
48x49	49x50	50x51	51x52	52x53	53x52										
49x50	50x51	51x52	52x53	53x54	54x53										
50x51	51x52	52x53	53x54	54x55	55x54										
51x52	52x53	53x54	54x55	55x56	56x55										
52x53	53x54	54x55	55x56	56x57	57x56										
53x54	54x55	55x56	56x57	57x58	58x57										
54x55	55x56	56x57	57x58	58x59	59x58										
55x56	56x57	57x58	58x59	59x60	60x59										
56x57	57x58	58x59	59x60	60x61	61x60										
57x58	58x59	59x60	60x61	61x62	62x61										
58x59	59x60	60x61	61x62	62x63	63x62										
59x60	60x61	61x62	62x63	63x64	64x63										
60x61	61x62	62x63	63x64	64x65	65x64										
61x62	62x63	63x64	64x65	65x66	66x65										
62x63	63x64	64x65	65x66	66x67	67x66										
63x64	64x65	65x66	66x67	67x68	68x67										
64x65	65x66	66x67	67x68	68x69	69x68										
65x66	66x67	67x68	68x69	69x70	70x69										
66x67	67x68	68x69	69x70	70x71	71x70										
67x68	68x69	69x70	70x71	71x72	72x71										
68x69	69x70	70x71	71x72	72x73	73x72										
69x70	70x71	71x72	72x73	73x74	74x73										
70x71	71x72	72x73	73x74	74x75	75x74										
71x72	72x73	73x74	74x75	75x76	76x75										
72x73	73x74	74x75	75x76	76x77	77x76										
73x74	74x75	75x76	76x77	77x78	78x77										
74x75	75x76	76x77	77x78	78x79	79x78										
75x76	76x77	77x78	78x79	79x80	80x79										
76x77	77x78	78x79	79x80	80x81	81x80										
77x78	78x79	79x80	80x81	81x82	82x81										
78x79	79x80	80x81	81x82	82x83	83x82										
79x80	80x81	81x82	82x83	83x84	84x83										
80x81	81x82	82x83	83x84	84x85	85x84										
81x82	82x83	83x84	84x85	85x86	86x85										
82x83	83x84	84x85	85x86	86x87	87x86										
83x84	84x85	85x86	86x87	87x88	88x87										
84x85	85x86	86x87	87x88	88x89	89x88										
85x86	86x87	87x88	88x89	89x90	90x89										
86x87	87x88	88x89	89x90	90x91	91x90										
87x88	88x89	89x90	90x91	91x92	92x91										
88x89	89x90	90x91	91x92	92x93	93x92										
89x90	90x91	91x92	92x93	93x94	94x93										
90x91	91x92	92x93	93x94	94x95	95x94										
91x92	92x93	93x94	94x95	95x96	96x95										
92x93	93x94	94x95	95x96	96x97	97x96										
93x94	94x95	95x96	96x97	97x98	98x97										
94x95	95x96	96x97	97x98	98x99	99x98										
95x96	96x97	97x98	98x99	99x100	100x99										
96x97	97x98	98x99	99x100	100x101	101x100										
97x98	98x99	99x100	100x101	101x102	102x101										
98x99	99x100	100x101	101x102	102x103	103x102										
99x100	100x101	101x102	102x103	103x104	104x103										
100x101	101x102	102x103	103x104	104x105	105x104										
101x102	102x103	103x104	104x105	105x106	106x105										
102x103	103x104	104x105	105x106	106x107	107x106										
103x104	104x105	105x106	106x107	107x108	108x107										
104x105	105x106	106x107	107x108	108x109	109x108										
105x106	106x107	107x108	108x109	109x110	110x109										
106x107	107x108	108x109	109x110	110x111	111x110										
107x108	108x109	109x110	110x111	111x112	112x111										
108x109	109x110	110x111	111x112	112x113	113x112										
109x110	110x111	111x112	112x113	113x114	114x113										
110x111	111x112	112x113	113x114	114x115	115x114										
111x112	112x113	113x114	114x115	115x116	116x115										
112x113	113x114	114x115	115x116	116x117	117x116										

Vanos de puertas

Los vanos o huecos de las puertas deben dimensionarse de manera que se pierda la menor superficie posible de paredes para la colocación de los muebles, pues tales superficies son costosas y las puertas son más caras que la pared a que sustituyen.

Para puertas interiores de una hoja muy transitadas, es suficiente una anchura de 87,5 cm en las medidas directrices de la obra, sin revocar. Si estas puertas dan al exterior y a base también de una sola hoja, se adoptará un ancho de 100 cm. Estas anchuras son también suficientes para el paso de muebles sin dificultad. Para puertas de sótanos y dependencias auxiliares (WC, baño, tocadores), se emplean las medidas directrices de 75 y 62,5 cm. El que una puerta parezca estrecha o ancha depende también del espesor de la pared. Aberturas practicadas en paredes muy gruesas, que en las construcciones actuales ya apenas se emplean, dan fácilmente la impresión de un cajón.



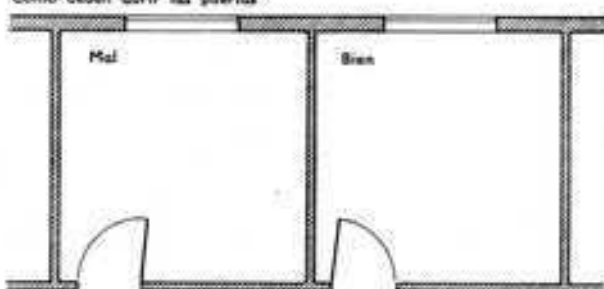
Si el vano de una puerta viene a caer en un ángulo de una habitación y vista desde este local no llega hasta el techo, no deberá situarse completamente adosada al rincón. A este fin se deja una faja de una anchura de 3/4 de ladrillo desde la pared transversal. La hoja de la puerta, al abrirse, bate contra dicha pared y un tope o amortiguador impide que choque con ella la empuñadura o manecilla de la cerradura.

Si el vano de la puerta está separado de la pared transversal, se elige la distancia de manera que pueda utilizarse el trozo de pared para colocar allí algún mueble. Para ello es necesario que al proyectar se indique ya en el plano el mobiliario que allí se colocará y la dirección en que se abrirá la puerta. Nunca se abrirá una puerta de rincón contra su propia pared, con lo cual se evita tener que rodear la hoja abierta o tenerla que abrir con un ángulo superior al ángulo recto, sino que se hace que abra de manera que deje el paso despejado hacia la otra habitación y con ello, por lo regular, también deje paso a la luz. Entonces, si la hoja de la puerta está pintada de color claro, al estar abierta sirve de reflector de la luz en vez de interceptarla. Hay que evitar las puertas superfluas, sobre todo en viviendas pequeñas y no sólo por la cuestión de los lienzos de pared para la colocación de los muebles: las superficies de pared sin vanos dan a la habitación un aspecto de mayor dimensión, especialmente si está decorada con colores claros.

La altura de las puertas de una sola hoja está fijada por la norma DIN 18100 en 200 cm como medida directriz sin acabados. Para las puertas de sótanos y dependencias puede bajarse hasta 187,5 cm, porque si bien hay personas cuya estatura alcanza esa dimensión, ya están acostumbradas a tener cuidado cuando pasan por tales puertas.

Las puertas de dos hojas que ponen en comunicación habitaciones, deben sin embargo hacerse tan altas como lo permita en cada caso la construcción de los dinteles. Alturas grandes sobre los dinteles resultan de efecto abrumador, opresivo.

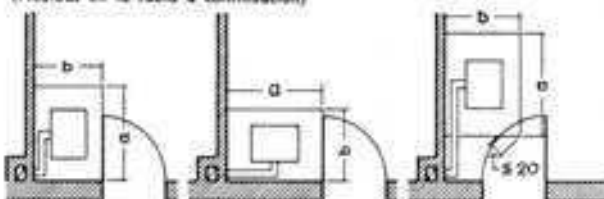
Cómo deben abrir las puertas



DISTANCIA MÍNIMA DE LA PUERTA A UN TABIQUE



Distancia de la puerta al tabique si se instalan estufas, según DIN 18011 (Medidas en la tabla a continuación)



Aberturas normalizadas para puertas

Las aberturas o vanos de puertas están normalizadas en la DIN 18100.

1. Observación preliminar

Las dimensiones mencionadas en esta norma para las aberturas o vanos de puertas coinciden con las que da la norma DIN 4172: "Ordenación de medidas en la edificación".

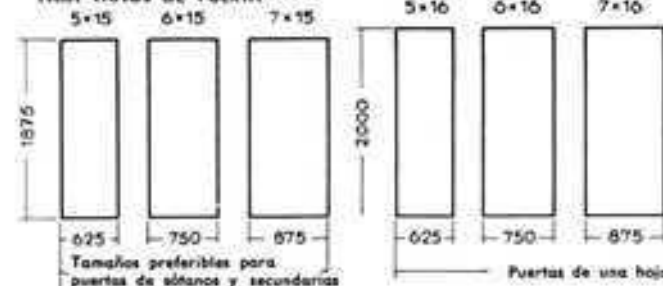
Esta norma sirve para todos los modelos y tipos de puertas, cualquiera que sea el material de que estén hechas.

2. Generalidades

2.1 Medidas directrices para la obra sin revocar ni acabar: Las medidas directrices tienen por objeto hacer posible la fijación de medidas que sirvan para toda clase de obras sin el acabado: deben corresponder a los valores normales constructivos de la DIN 4172: "Ordenación de medidas en la edificación", columnas a - d de la tabla. De las medidas directrices se deducen las medidas nominales restando o sumando los espesores de las juntas, etc.

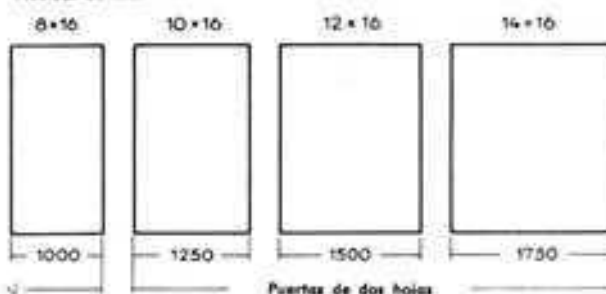
2.2 Medida nominal: Las medidas nominales corresponden a las medidas directrices en los tipos de obras sin juntas. En aquellos tipos de obras con juntas, las medidas nominales de vanos y puertas se deducen de las medidas directrices agregando las juntas. La figura indica la forma en que se relacionan las dos clases de medidas: directrices y nominales.

MEDIDAS DIRECTRICES (MÍNIMAS) EN OBRA SIN REVOCAR PARA VANOS DE PUERTA



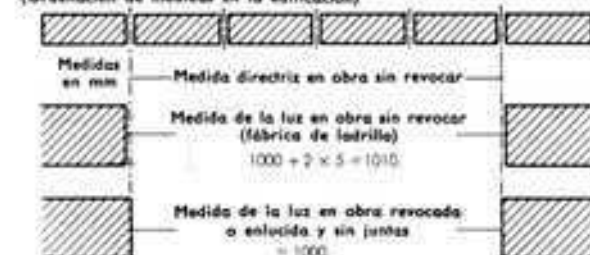
Los números sobre las figuras son los característicos del tamaño (múltiplos del módulo 125 mm) que dan la anchura y la altura. p. ej., tamaño del vano 5 x 15 = (5 x 125) x (15 x 125) = 625 x 1875

Medidas en mm

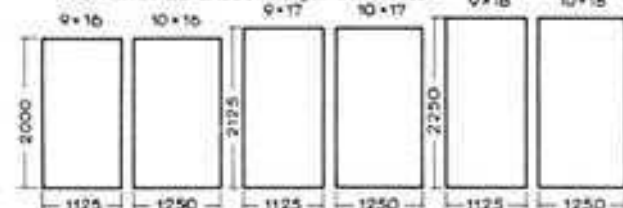


RELACIÓN ENTRE LA MEDIDA DIRECTRIZ Y LA NOMINAL

Ejemplo de la anchura de un hueco de puerta con una medida directriz (en obra sin revocar) de 1000 mm, según DIN 4172 (Ordenación de medidas en la edificación)



MEDIDAS DIRECTRICES EN OBRA SIN REVOCAR PARA HUECOS O VANOS DE BALCÓN, según DIN 18050



Los números sobre las figuras son los característicos del tamaño (múltiplos del módulo = 125 mm). Por ejemplo, vano de 9 x 16 = (9 x 125) x (16 x 125) = 1125 x 2000

5.2 Los tamaños y dimensiones de los balcones normalizados en la DIN 18050 están recopilados en la figura y en la tabla 2.

TABLA 1. MEDIDAS DE LAS PAREDES

Clase de medidas	Anchura Luz mínima para vanos en la obra sin revocar							Altura desde el pavimento hasta el borde inferior del dintel	
	Preferibles para puertas de una sola hoja			Preferibles para puertas de dos hojas					
	Cifra característica de la anchura							Id. de la altura	
	5	6	7	8	10	12	14		
Medidas directrices en la obra sin revocar	625	750	875	1000	1250	1500	1750	1875	2000
Medidas nominales, medida de la luz en la obra sin revocar (obra de fábrica)	635	760	885	1010	1260	1510	1760	1880	2005
Medida de la luz en la obra sin revocar para tipos de construcción revocada sin juntas	625	750	875	1000	1250	1500	1750	1875	2000

TABLA 2. DIMENSIONES PREFERIBLES PARA BALCONES DE DOS HOJAS

Clase de medidas	Anchura, luz mínima para vanos en la obra sin revocar		Altura, desde el pavimento hasta el borde inferior del dintel		
	Cifra característica de la anchura		Cifra característica de la altura		
	9	10	16	17	18
Medidas directrices en la obra sin revocar	1125	1250	2000	2125	2250
Medidas nominales, medida de la luz en la obra sin revocar (obra de fábrica)	1135	1260	2005	2130	2255
Medida de la luz del vano para obra de fábrica revocada o enlucida	1115	1240	1995	2120	2245
Medida de la luz en obra sin revocar para tipos de construcción sin juntas	1125	1250	2000	2125	2250
Medida de la luz del vano para tipos de construcción sin juntas, revocados o enlucidos	1105	1230	1990	2115	2240

3. Medidas

- En la figura están recopilados tamaños de aberturas o huecos de puertas usuales y más ventajosos para la construcción de viviendas. Coincidiendo con la DIN 4172, la columna b de la tabla da las medidas directrices para obra sin revocar de las cuales pueden deducirse las medidas nominales de aberturas o huecos de puertas según sus tipos de construcción y según los materiales empleados.
- Las medidas mencionadas para la anchura se refieren a la luz de las aberturas antes de revocar. Las medidas de las paredes correspondientes están recopiladas en la tabla 1 para los tipos más importantes de construcción enlucida.
- Las alturas de los vanos o huecos se cuentan entre la superficie del piso y la cara inferior de los dinteles (véase tabla 1).
- Cuando las puertas ponen en comunicación dos locales en que los respectivos pisos están a distinta altura, la altura del vano se contará a partir del piso del local en que queda situada la puerta cerrada.
- Las aberturas deben construirse con el auxilio de gálbos.
- Detalles
- Queda al libre criterio del constructor o proyectista la subdivisión de las aberturas de puertas y de balcones normalizados que se citan a continuación. Por esta razón, en la lista de los mismos sólo se indica el número de hojas que suele usarse con cada uno de los tamaños mencionados.
- También se cita, en las hojas de normas, la relación entre las medidas de las puertas y las medidas directrices de sus huecos para cada uno de los tipos de puertas.
- Balcones
- Las medidas directrices de las aberturas de los balcones, en las obras aún sin revocar, están normalizadas en la DIN 18050.

En la construcción de viviendas se prefiere emplear puertas estrechas para poder así disponer de mayores lienzos de pared donde colocar muebles.

En los edificios destinados a oficinas, hospitales, escuelas, etc. no debería nunca descenderse del tamaño de vanos 8 x 16 = 100 x 200 cm.

Marcos o cercos de puertas

La clase de puertas que se haya previsto (puertas de hojas giratorias, puertas correderas, puertas plegables, etc.) y las construcciones auxiliares que requieran, tienen que estar previstas y preparadas de antemano en la obra en bruto antes de la aplicación de los acabados.

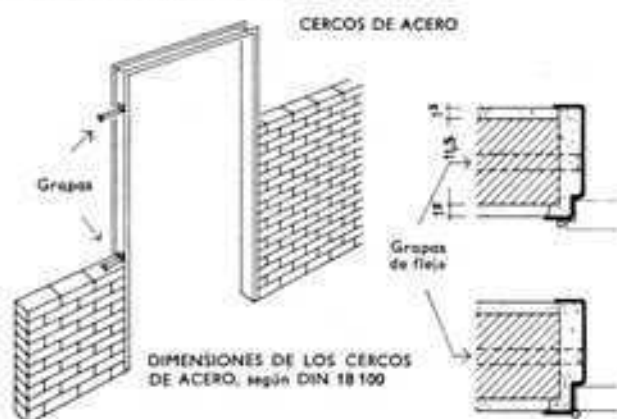
En tabiques y paredes interiores, generalmente de poco espesor, no suele hacerse mocheta de obra; únicamente se prepara el montaje de las hojas de puerta mediante la fijación de un "cerco" o el empotramiento de tacos de madera en la obra. En general, con la denominación de "cercos" se designan todos los marcos o enmarcados de puertas.

Hay cercos de madera y de acero.

Los cercos de hormigón que se habían empleado en otro tiempo, están en desuso por su gran peso y mal resultado económico. Los cercos de madera se empleaban ya antiguamente en las construcciones de entramado de madera, siendo hoy día corrientes y usuales todavía en las construcciones con pisos de vigas de madera, para el enmarcado de puertas.

Los cercos de madera que han de ir revestidos, se montan antes de subir las paredes, dejando su revestimiento o forrado para después de la terminación de la obra en bruto. Unos listones de sección triangular o unas grapas de hierro plano sirven para fijar el cerco en la obra de fábrica.

Los modernos cercos de acero representan un sustitutivo equivalente, desde el punto de vista constructivo, de los antiguos cercos de madera para puertas. Los cercos de acero son montados por los mismos albañiles antes de levantar las correspondientes paredes fijándose en la obra con grapas o anclajes. Ofrecen las ventajas siguientes: los trabajos de yesero, carpintero y cerrajero no se superponen. El yesero o estucador encuentra aristas rectas sin deterioros por golpes.



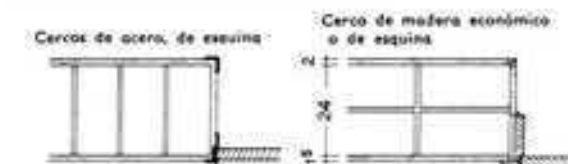
No hace falta repaso del enlucido. Una vez retirados los yeseros puede ya barrerse y fregarse la obra para dejarla limpia. Las puertas, de este modo, no se ensucian, la madera acepillada y pintada con una primera capa ya no se pone en contacto con yeso húmedo y absorbe muy poca humedad del aire. Con el fin de amortiguar la fuerte sonoridad de los cercos de acero, especialmente cuando las hojas de las puertas son huecas, se coloca un burlete o almohadillado de goma en encaje o batiente.

Cuando se trata de paredes interiores gruesas, los cercos con toda la anchura correspondiente al grueso de la pared resultan antieconómicos. Se emplean entonces los cercos o marcos económicos o de esquina (de acero o de madera) o bien se construye de obra una mocheta en la que se encaja un marco de madera ordinario como si fuera el de una ventana.

Para puertas que dan al exterior, en la mayoría de los casos se construye una mocheta de obra, se montan cercos de hormigón o bien se hace el enmarcado con piedra natural o artificial. La puerta se monta luego con marco de madera encajado en la mocheta.

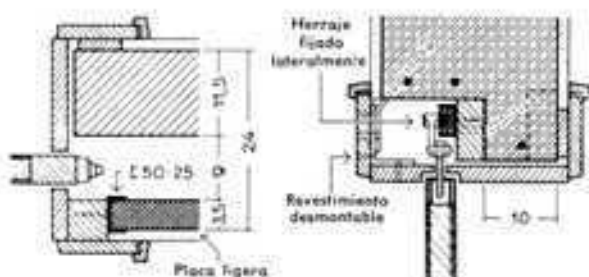
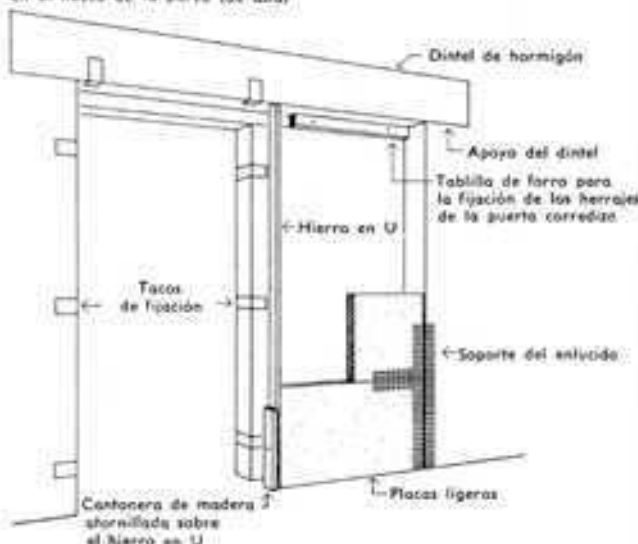
Las puertas y portones fueron generalmente trabajados como motivos decorativos de los edificios dentro de los estilos de las diferentes épocas históricas. No se limita esa decoración a las hojas de las puertas, sino que se otorga también a los enmarcados (jambas y dintel) de los portales, que se ha procurado, siempre que ha sido posible, hacer de piedra labrada. En lo que se

MARCOS DE PUERTAS EN PAREDES GRUESAS

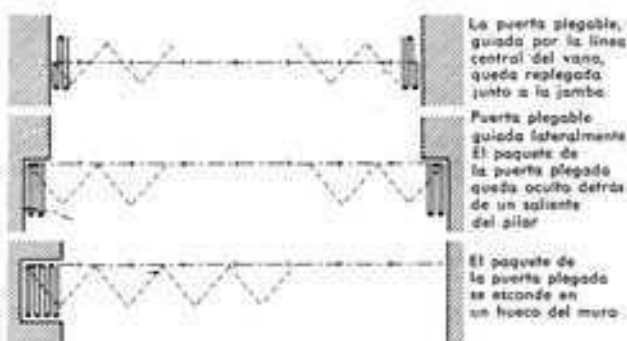


PUERTAS CORREDIZAS

en el hueco de la pared (de arriba)



PUERTAS PLEGABLES



refiere a la forma y disposición de esas piezas, como quiera que va ligada con el estilo correspondiente, no cabe otro recurso que ceñirse a su imitación. No ocurre ya lo mismo con el espacio retrasado de la fachada y sus soluciones técnicas. Actualmente lo mismo que anteriormente, es conveniente hacer los telares tan profundos como permita el espesor de los muros en cada caso, con objeto de que las puertas y portones queden protegidos de los agentes atmosféricos. Gracias al fuerte efecto de relieve así logrado, se marca más visiblemente el sitio de la entrada.

Entre habitaciones interiores suelen emplearse las puertas corredizas, que tienen, sobre las de hojas giratorias, la ventaja de que para abrirse apenas necesitan espacio. Las puertas corredizas que van por delante de la pared, en la mayoría de los casos se colocan como única solución obligada por alguna finalidad determinada. Se emplean en locales y dependencias auxiliares cuando el sitio es limitado.

Las puertas corredizas que se ocultan en huecos de la pared requieren espesores de pared adecuados. Dichos huecos reciben la denominación de "cajas".

Al construir las paredes se deja sin cerrar una de las caras de la caja, de momento; la otra cara se hace de 1/2 asta de espesor. El dintel de la puerta no sólo cubre la luz de la puerta, sino que se prolonga hacia un lado o hacia los dos, según que la puerta sea de una o dos hojas, a fin de cubrir la "caja" o "cajas" correspondientes. Los herrajes para el rodamiento van generalmente fijados lateralmente en aquella parte del dintel que descansa sobre la pared de media asta. Una vez colocado todo, se cierra el hueco o "caja" con un tabique ligero (tabique delantero). El asegurar exteriormente los carriles portantes por medio de "zapatas" tiene la ventaja de que pueden desmontarse los herrajes sin necesidad de romper el tabique delantero.

La profundidad del hueco debe ser suficiente para que con la puerta introducida en él quede aún lugar para la colocación de los topes. Su anchura depende del número de hojas que en él

tengan que introducirse. Hay que tener cuidado de que tanto entre dos hojas sucesivas, como entre éstas y la pared quede espacio suficiente para que el deslizamiento de las hojas no halle obstáculo alguno.

Una manera de economizar sitio es sustituir la obra de las paredes que forman la "caja" por madera o por un revestimiento de placas delgadas. Los herrajes de la rodadura se fijan entonces en la cara inferior del dintel que cubre el vano y las cajas laterales. Las puertas plegables o de acordeón, que son una variedad de puertas corredizas, se emplean principalmente para la subdivisión de grandes locales como son las salas de fiestas, restaurantes, etc. No se introducen en cajas practicadas en la pared como las puertas corredizas corrientes, sino que se plegan sobre sí mismas. Las piezas que las forman se van colocando, al plegarse, unas sobre otras y forman los llamados "paquetes de hojas" que se alojan generalmente en huecos o nichos que hay en el extremo de la pared.

Para sostener las puertas plegables y salvar la importante luz del vano que han de cubrir, convienen las viguetas de hormigón armado o de acero. La aplicación de los herrajes a los dinteles debe ya tenerse en cuenta durante la construcción de la obra en bruto.

Cierre por arriba de los vanos en las paredes

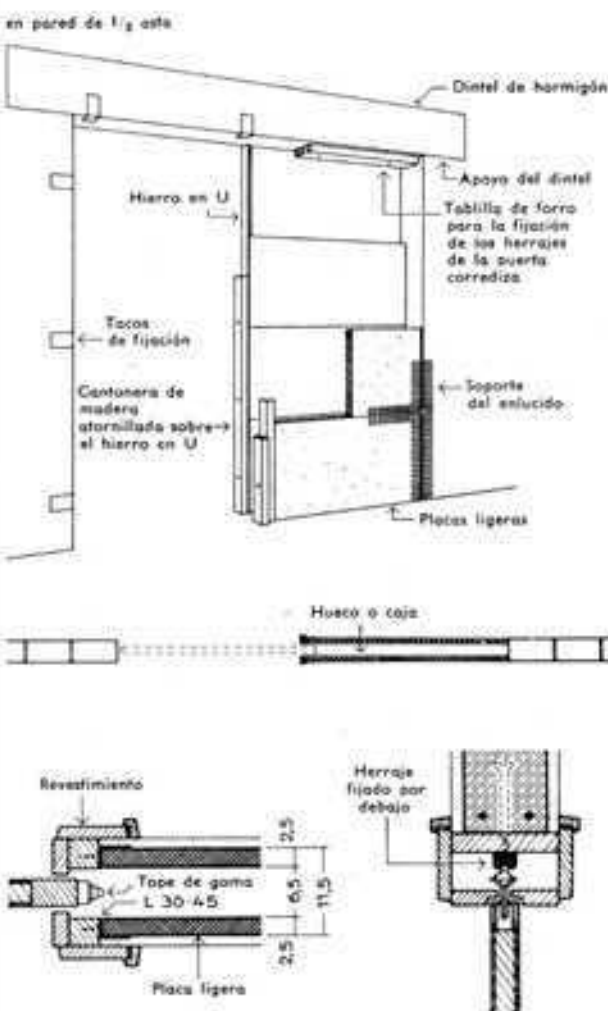
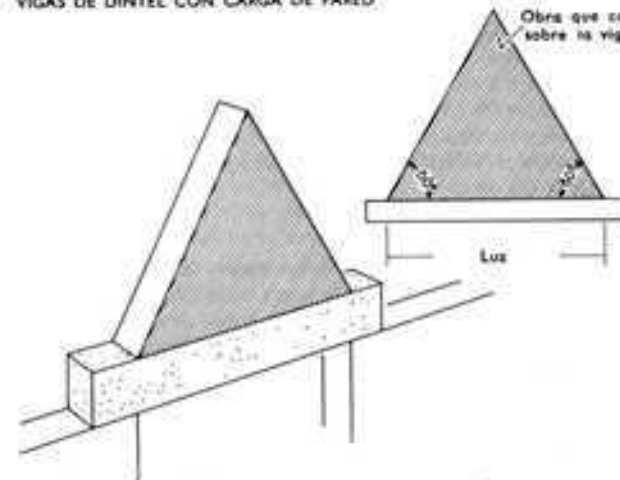
Los vanos o huecos de las paredes se cierran por su parte superior con vigas. La antigua construcción de arcos se va empleando cada vez menos en la actualidad a causa de las mayores luces de los vanos, porque los dinteles de hormigón armado y las viguetas de acero permiten una reducción de las alturas constructivas y resultan más económicos.

La viga transmite las cargas que soporta en forma de presiones o esfuerzos verticales sobre los apoyos. Acerca de las hipótesis de carga, en la DIN 1053 se prescribe lo siguiente:

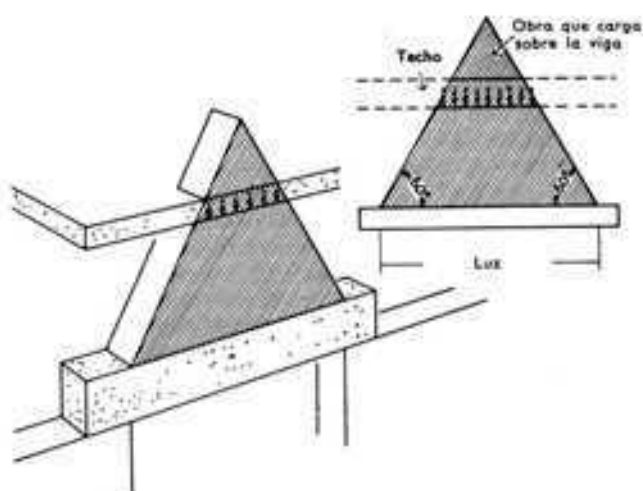
7.1 Hipótesis de carga.

En los edificios y obras de ingeniería se aplicará la norma DIN 1055, en tanto que en las obras de ingeniería no existan para las cargas accidentales o de tráfico prescripciones especiales (p. ej. para la carga de las grúas, la norma DIN 120), o tengan que ser tenidas en cuenta cargas especiales. Por lo que se refiere a la resistencia a los esfuerzos del viento, véase el capítulo 7.11. Respecto a las vigas que sirven de dinteles o para el sostenimiento de paredes sólo deben soportar como carga el peso de la parte de pared delimitada por un triángulo equilátero, trazado sobre la viga y a base de la luz del vano que cubre (véase figura). Las cargas uniformemente repartidas, procedentes de techos o pisos situados por encima del triángulo de carga, no deben ser tenidas en cuenta al calcular las mencionadas vigas. Las cargas que gravitan en la obra de fábrica comprendida en el interior del triángulo en forma uniformemente repartida (p. ej. las de placas de techos y pisos de vigas con distancias entre éstas, $\leq 1,25$ m) sólo deben computarse en la parte que cae dentro del triángulo (véase figura).

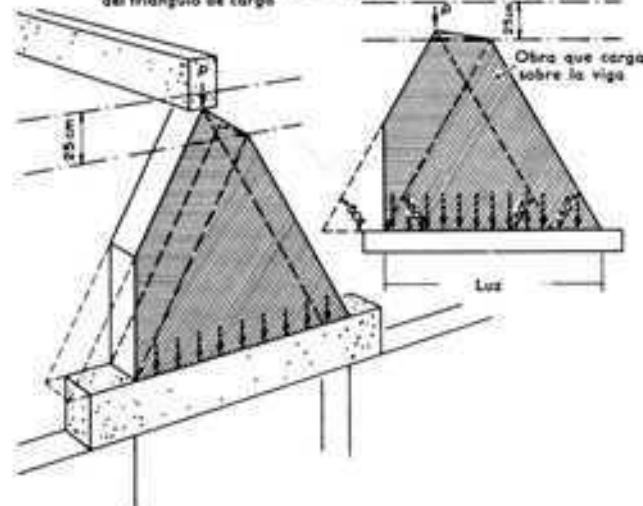
VIGAS DE DINTTEL CON CARGA DE PARED



Carga de un piso o techo, uniformemente repartida, centro del triángulo de carga



Cargas aisladas en las proximidades del triángulo de carga



Para cargas aisladas o concentradas, como p. ej. las de vigas o jácenas que carguen en el interior del triángulo o en sus proximidades, puede admitirse una distribución de la carga según líneas a 60° de inclinación (véanse figuras). Si las cargas concentradas caen fuera del triángulo de cargas, solamente hace falta tenerlas en cuenta cuando su punto de apoyo cae sobre la luz de la viga y por debajo de una línea horizontal, situada 25 cm más arriba del vértice del triángulo.

A esas cargas concentradas hay que añadir el peso de la parte de pared rayada horizontalmente en las figuras.

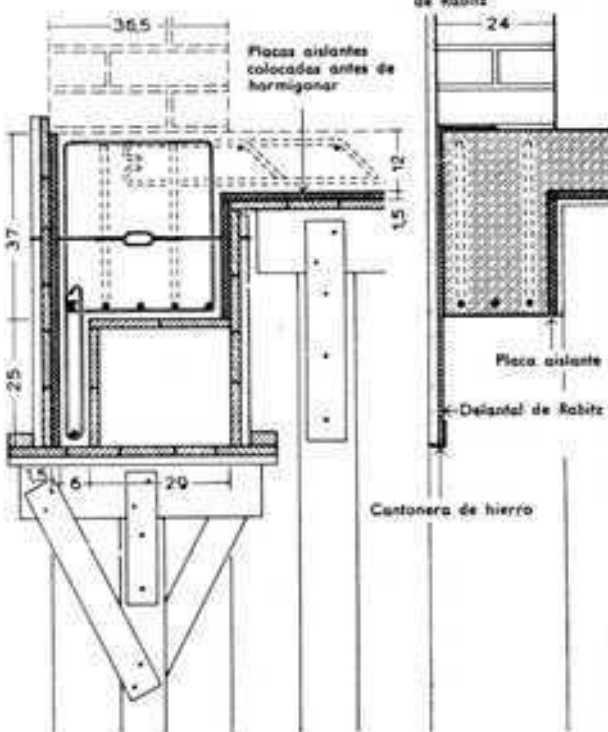
Para que sea aplicable al apartado 7.11, es condición previa que junto a la viga y encima de ella y de las superficies de carga pueda tener lugar un efecto de bóveda y, por consiguiente, que no haya allí vanos o huecos que puedan perturbar tal efecto.

Las vigas suelen hacerse de hormigón in situ. Los dinteles hechos con viguetas de acero o viguetas de hormigón prefabricadas pueden emplearse donde se emplean también vigas de acero, de madera o de hormigón para los forjados. Cuando los forjados son de hormigón in situ es conveniente hormigonar los dinteles simultáneamente. De esta forma se consiguen menores alturas de construcción, ya que la altura del techo puede sumarse a la del dintel.

Vigas revestidas

En las paredes interiores, el revestimiento de las viguetas que sirven de dinteles no es necesario. En cambio, todas las vigas empotradas en paredes que dan al exterior deberían ir siempre revestidas, porque tanto las vigas de acero como las de hormigón armado hacen las veces de puentes térmicos. Con el transcurso del tiempo aparece su huella en los enlucidos exteriores e interiores. La humedad se deposita sobre el dintel, que está más frío, y entonces las partículas de polvo contenidas en el aire se depositan adhiriéndose mejor en la zona húmeda, con lo cual

ENCOFRADO Y ARMADURA DE UN DINTEL



progresivamente se va formando una zona más oscura sobre el enlucido o el empaquetado.

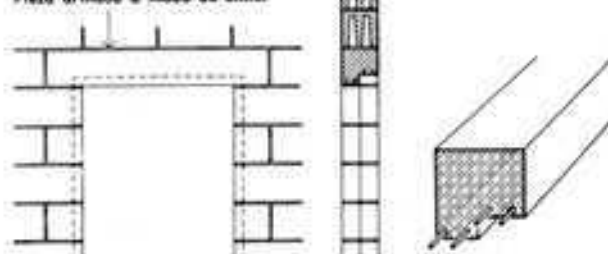
Por esta razón, nunca debería omitirse un revestimiento aislante sobre las vigas de acero o de hormigón armado.

Cuando la obra de fábrica se halla sin revocar (ladrillo visible), la unidad del paramento de la obra exige que los dinteles estén revestidos.

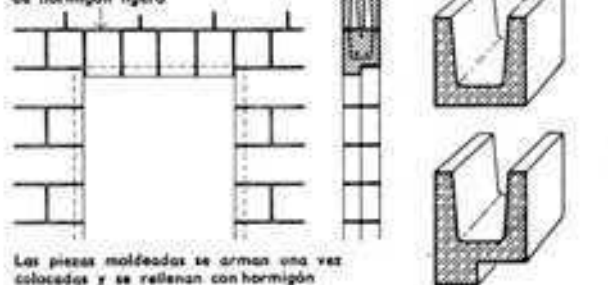
En lugar de viguetas de hierro o vigas de hormigón armado pueden también emplearse dinteles prefabricados de hormigón para cerrar por arriba los vanos de la pared de obra de fábrica, siempre que a pie de obra se disponga de aparatos elevadores adecuados.

Para dinteles de obra de fábrica hechos con piezas de hormigón ligero, lo mejor es emplear piezas armadas de esa clase de hormigón, prefabricadas, que sirvan directamente de dintel. Son fáciles de colocar en obra y proporcionan una superficie unida para el enlucido. En el caso de dinteles de acero o de hormigón armado se recubren con placas de hormigón ligero. La forma mejor es una sección de artesa que puede servir de encofrado perdido en lugar del usual encofrado de madera.

Pieza armada a modo de dintel



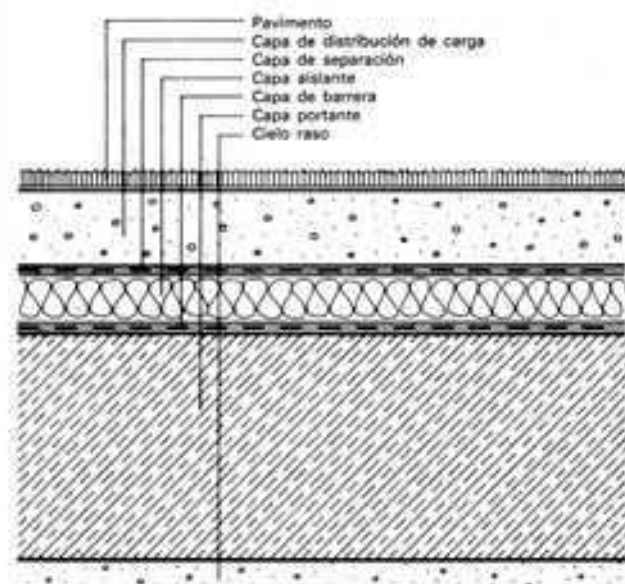
Moldes en forma de artesa de hormigón ligero



Las piezas moldeadas se arman una vez colocadas y se rellenan con hormigón

Techos o pisos

La palabra "techo" deriva gramaticalmente de "teja", porque antiguamente los locales se cubrían directamente con tejas. También en la actualidad, con la denominación de "techo" se quiere significar en general la cubierta o cierre por la parte superior de un local. Sin embargo, el sentido estricto debería referirse exclusivamente a una cubierta con tejas; para los pisos que no son el de más arriba, los techos tienen una doble misión: para los locales que están debajo sirven de techo y para los que están encima sirven de piso o suelo. El hecho de que los techos o pisos de los edificios de vivienda representen una superficie mucho mayor que la de la planta del edificio, hace comprender la importancia técnica y económica de la construcción de los techos. Los techos o pisos, con excepción de las bóvedas y cúpulas, son obras horizontales destinadas a soportar cargas por flexión y que requieren, por tanto, elementos constructivos resistentes ante esa clase de solicitaciones y sólo son económicos cuando su peso propio es reducido. Las dimensiones de los elementos portantes y de rigidez de su sección transversal sólo pueden ser el resultado y consecuencia de puntos de vista estáticos. Si las condiciones de aislamiento o de barrera (contra el frío, la humedad o el ruido) de un techo o piso han de ser más severas y completas que las que puede proporcionar la sección portante por sí misma, hay que tratar de mejorarlas por medio de capas ligeras adicionales de protección. Según la clase de problemas que de manera preponderante se les planteen, los techos o pisos estarán formados por todas o algunas de las siguientes capas:



Techos o pisos en bruto (forjados): Capas o elementos portantes y de consolidación

Capas adicionales: Capa aislante, Capa de barrera, Capa de solado o pavimentación, Cielo raso para el intercambio (o la eliminación) de la humedad, para reflejar la luz, para interceptar el fuego o para absorber el ruido.

El número de capas y el orden en que se superpongan son diferentes según la misión que en cada caso deban cumplir. Con frecuencia una misma capa puede llenar simultáneamente varias misiones o completar las de otras. Se procura reunir en la capa portante y en la de pavimentación muchas —las más posible— de las condiciones requeridas. Desde el punto de vista de la técnica acústica, un techo o piso se compone de uno o varios techos o cubiertas, cada una de las cuales puede a su vez estar formada por una o varias capas según la índole de su construcción.

Exigencias constructivas

Cuando se desea comparar entre sí diversos sistemas de techos o pisos, hay que empezar por delimitar el campo de los problemas que con ellos hay que resolver, en cuanto a su número y magnitud.

Para construcciones industriales, p. ej., destinadas a la producción o al almacenamiento de mercancías; se requieren, muchas veces, pisos o techos que han de soportar elevadas cargas útiles o fuertes solicitaciones dinámicas, en tanto que ni la protección acústica ni el aislamiento térmico desempeñan papel alguno de importancia. En cambio, en laboratorios, clínicas, despachos, teatros, estudios de radio, etc., los requisitos a cumplir en materia de protección acústica y térmica tienen decidida influencia en la construcción de los pisos o techos.

La elección del tipo de piso o techo se basa en primer término en el fin a que debe destinarse y en las solicitaciones y esfuerzos que tiene que soportar, pero también, sobre todo, en el precio por unidad de superficie que se compone de los costes del piso en bruto, de las capas aislantes y de barrera que eventualmente haya que colocar, del solado o pavimentación y del cielo raso o artesonado que en su parte inferior se construya. Así resulta, p. ej., que las medidas que haya que tomar para el aislamiento pueden influir considerablemente en el precio de conjunto de un piso o techo. Solamente teniendo en cuenta todos esos puntos es posible una decisiva comparación entre tipos diferentes de pisos o techos desde el punto de vista de su economía. Sin embargo, para poder tener una idea de las posibilidades constructivas de los techos macizos resulta conveniente examinar y estudiar primero sus construcciones en bruto, sin capa adicional alguna. Las capas adicionales necesarias se pueden, luego, fácilmente estudiar agrupándolas para los diversos tipos de pisos en bruto.

La comparación entre las capas o elementos portantes o de consolidación que forman parte de un piso o techo, es decir, entre los techos en bruto propiamente dichos, tiene que basarse principalmente en los puntos de vista estáticos y constructivos. Son muchos los casos en que resulta decisivo para la elección de un tipo de techo en bruto, el que esté en condiciones de soportar tabiques ligeros, el que éstos tengan que estar situados transversal o paralelamente a la dirección de los elementos resistentes del piso o techo, o que puedan ir emplazados en determinado sitio, o bien que para poder admitir la carga de tales tabiques ligeros requieran numerosas medidas o precauciones, como p. ej., modificaciones, refuerzos, fajas o cintas de mayor aptitud portante, jácenas adicionales, etc.

Tipos de techos

En la nomenclatura empleada para la designación de los techos se usan una serie de términos que se hallan recopilados a continuación:

Techos o pisos interiores:

Techos que separan viviendas

Techos bajo locales no habitables (desvanes y buhardillas)

Techos sobre sótanos

Techos o pisos exteriores:

Techos sobre pasajes abiertos y construcciones parecidas

Tejados (de fuerte pendiente o de escasa pendiente)

Azóteas y terrazas

Capacidad de sustentación:

Pisos para cargas ordinarias de tráfico

Pisos para elevadas cargas útiles

Pisos que deban soportar tabiques desplazables

Pisos que sufran trepidaciones debidas a vehículos y máquinas

Posibilidad de consolidación:

Placas de techar de superficie firme o de superficie frágil

Sistema estático de sus elementos o capas de sustentación o de consolidación:

Pisos o techos de vigas

Pisos o techos de vigas-placas

Pisos o techos de placas

Materiales empleados en sus elementos o capas de sustentación o de consolidación:

Pisos o techos de madera; pisos o techos macizos (de obra de fábrica, hormigón armado o sin armar, acero)

Tipo de construcción de sus elementos o capas de sustentación y de consolidación:

Pisos o techos contruidos *in situ* (hormigonado, obra de fábrica)

Pisos o techos parcialmente prefabricados

Pisos o techos totalmente prefabricados

Capacidad de aislamiento:

Pisos o techos antisonoros (ruidos propagados por el aire, ruidos de pisadas; pisos de una cubierta y de dos cubiertas)

Pisos o techos aislantes del calor y del frío

Capacidad de barrera o de obturación:

Techos o pisos mojados; idem secos; permeables a la humedad; aptos para el intercambio de humedad; hidrófugos y de barrera contra la humedad

Seguridad contra el fuego

Techos o pisos cortafuegos; techos o pisos resistentes al fuego

Capa de solado o pavimentación:

Resistente o no resistente al desgaste por rozamiento, fría o caliente para los pies, sonora o sorda. La capa de solado que en la mayor parte de los casos se estudia independientemente del techo o piso y sólo desde el punto de vista de una pavimentación no debe, sin embargo, ser dejada de lado al estudiar el piso o techo en su conjunto, porque la estructura de dicha capa de solado influye de manera decisiva en la capacidad de aislamiento del techo o piso.

Cielo rasó o techo propiamente dicho:

Techo plano, abovedado, artesonado, enyesado, revestido

Capacidad para reflejar la luz:

Techos con mucho o con poco poder reflector

Permeabilidad a la luz (caso especial):

Cubiertas oscuras (impermeables a la luz)

Cubiertas claras (translúcidas), p. ej., de hormigón armado y vidrio.

El término de comparación más útil para un examen crítico detallado en la comparación de los techos o pisos suele ser el valor de éstos como más o menos apropiados para la construcción de casas de vivienda, pues sus cualidades, en la mayor parte de los casos, serán también aplicables a otros tipos de construcciones. A continuación expondremos en primer lugar los techos de madera y los techos hechos con piedra, ladrillo, acero y hormigón, abarcados con la denominación de "techos macizos". Los techos modernos se basan también, en último término, en los mecanismos de sustentación y en las antiguas experiencias artesanales en la construcción de techos de vigas de madera y de bóvedas de piedra.

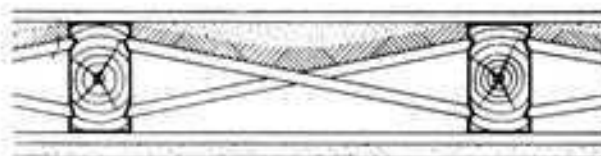
Techos o pisos de vigas de madera

Los techos o pisos de vigas de madera constituyen el tipo más antiguo de esta clase de construcciones.

En la construcción de viviendas era aún el que predominaba, hasta principios de siglo, porque si bien no poseía una suficiente capacidad de aislamiento acústico, tenía, sin embargo, bastante poder de aislamiento térmico y su construcción era barata. Contra esas ventajas subsiste el inconveniente de que la madera es un material de construcción de naturaleza orgánica. Puede ser atacada y destruida por insectos, por hongos y por la putrefacción y no es resistente al fuego. La preferencia cada vez mayor que se ha manifestado en los años de la posguerra por los pisos o techos macizos se debe principalmente a estas causas.

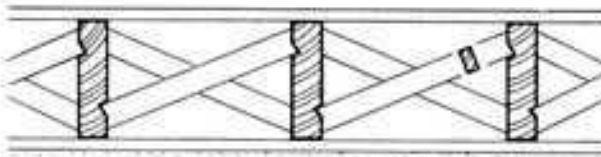
Hoy predominan casi exclusivamente los techos macizos en el mercado de construcción, aunque en la construcción ligera a base de elementos prefabricados se encuentran los techos de entramado de madera, como también las paredes de madera y es que en la moderna construcción a base de entramado de madera, con una estructura sustentante a base de postes y cepos, el techo de vigas de madera sigue teniendo su justificación constructiva, cuanto más ahora en que por medios químicos puede reducirse la atacabilidad y los peligros especiales de los elementos constructivos de madera.

Un inconveniente que tienen los pisos o techos de vigas de madera es la ausencia de una placa de compresión capaz de repartir las cargas, por lo cual la acción de las cargas concentradas no puede quedar repartida sobre una zona que abarque varias vigas y fácilmente el piso entra entonces en oscilación. Además, los pisos o techos de vigas de madera por su misma estructura contribuyen poco a la rigidez y consolidación de la obra.



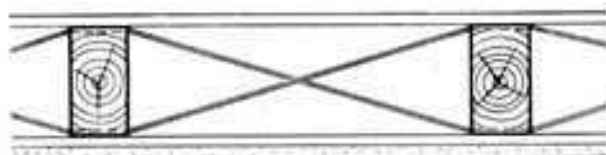
ANTIGUO ARRIOSTRAMIENTO DE PALOS CRUZADOS

La antigua forma de construcción de "palos cruzados" contribuía en cierto modo a que las vigas trabajasen en forma conjunta.



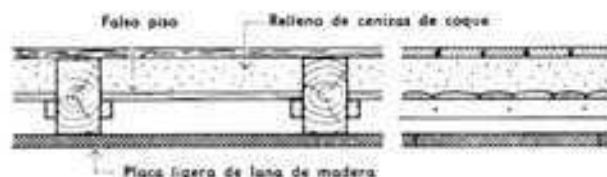
PISO AMERICANO DE TABLONES

La misma construcción en forma debidamente modificada se encuentra en construcciones americanas de entramado de madera cuyos pisos o techos están hechos con tabloncillos mutuamente apuntalados y arriostrados.

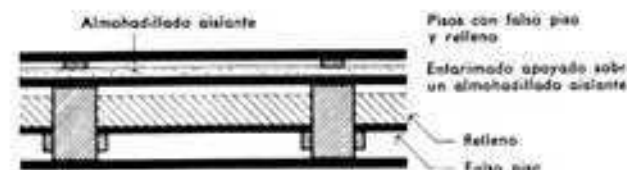
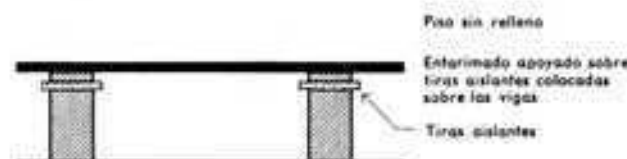
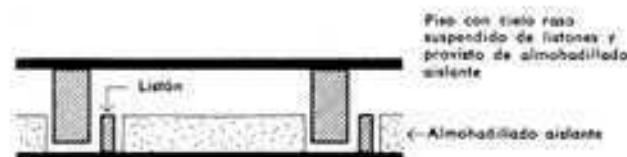


ATIRANTADO CON FLEJES

Por medio de tirantes cruzados de hierro plano se pueden lograr aún mejores resultados. Esta medida es aún más necesaria en aquellos casos en que las vigas pecan de débiles y se flexan. El valor mínimo del coeficiente de aislamiento térmico $1/\Lambda = 0,55 \text{ m}^2 \text{ h}^\circ/\text{kcal}$ que (como promedio) exige la tabla 3 de la norma DIN 4108 para techos o pisos que separan viviendas distintas es, en general, sobrepasando en los techos o pisos usuales de vigas de madera con tablero de madera adicional y relleno de cenizas o escorias de coque. La capacidad de aislamiento térmico de un techo o piso de vigas de madera puede aumentarse todavía en caso necesario cuando se emplean, como soporte del cielo raso, placas ligeras de lana de madera de 35 mm de espesor.



El buen aislamiento acústico de los antiguos techos o pisos de vigas de madera es consecuencia de su pesada construcción. El aislamiento acústico de los actuales pisos o techos usuales ligeros de vigas de madera dotados de un relleno de barro, escorias o arena no basta por lo regular para satisfacer los requisitos mínimos exigidos por la norma DIN 4109. La transmisión sonora en el campo de frecuencias más corriente tiene lugar principalmente por encima de las vigas. Los forjados y encasillados entre vigas aportan, por lo tanto, sólo escasa mejora al aislamiento acústico. Se obtiene una eficaz mejora, en cambio, cuando se aísla o separa de las vigas sea el solado, sea el cielo raso. El mejor modo de hacerlo es disponiendo tiras aislantes sobre las vigas o también fijando el cielo raso en listones especiales de sustentación.



Disposición de las vigas

Antes de llevar a cabo la distribución de las vigas, el carpintero comprueba en la obra, en primer lugar, todas las medidas de la planta y las rectifica si es necesario. Ya en el taller de carpintería dispone con tableros forrados una plataforma en la que traza y marca las paredes, las chimeneas, las aberturas de las escaleras, etc. y en la que sitúa, como prueba, las vigas. A continuación, el carpintero marca en todas las vigas la línea de los bordes de las paredes, corta o labra sus extremos preparando las ensambladuras de las maderas y lleva así preparadas las vigas a sus respectivos puestos en la obra. Allí se empieza por colocar y fijar junto a los muros cortafuegos o a las paredes de medianería las "carreras" o "vigas de pared", que al propio tiempo tienen la misión de proteger contra el pandeo los muros o paredes transversales que abarcan varios pisos. Como esas vigas de pared sólo tienen que soportar la mitad de la carga de los tramos entre vigas, pueden hacerse de menor anchura que las otras vigas intermedias. Sin embargo, no debe nunca bajarse de 8 cm para evitar el alabeo y deformación de la madera. Las "vigas de pared" deben dejarse separadas de ésta unos 2,5 cm (un grueso de listón) por el peligro de que con la humedad se formen moho o fungosidades. El espacio que queda, lo mejor es rellenarlo con lana o vidrio o lana mineral. Entre las vigas de pared se distribuyen luego las denominadas "vigas principales" o "vigas intermedias" a distancias de 70 a 85 cm, que estáticamente resultan ser las más favorables. Con estas distancias todavía son suficientes los gruesos usuales de 22-24 mm de las tablas de pavimentación. Los huecos o mechinales para el empotramiento o apoyo de las vigas debilitan la resistencia de las paredes. Es, por consiguiente, aconsejable no hacer demasiado reducida la distancia entre vigas; esto es sobre todo recomendable cuando se trata de apoyos de vigas en paredes interiores cargadas, cuya sección transversal portante puede quedar sensiblemente debilitada cuando, por ejemplo, las uniones de las cabezas de las vigas se hallan solapadas.

Al repartir y colocar las vigas de un piso o techo se miden siempre las distancias de eje a eje. Hay casos en que el revestimiento del techo o piso tiene también influencia en el dimensionado de esas distancias entre las vigas. Si se emplean, p. ej., placas aislantes, la distancia entre las vigas se fija siempre de manera que las juntas de las placas vengan a caer sobre las vigas y que haya que cortar el menor número posible de placas. Al disponer el envidado hay que tener en cuenta, además, que dentro de un local no varíe la dirección de las vigas cuando deban emplearse los pisos de tablarón longitudinal, que va colocada perpendicularmente a la dirección de las vigas. Lo mismo puede decirse respecto de la construcción de los cielos rasos, en la parte inferior del techo (a base de entarimado o enladrado), que no debe variar de dirección dentro de un mismo local si quiere evitarse la formación de grietas en el yeso.

Para la consolidación y buena trabazón de la estructura de las paredes es necesario que los pisos o techos queden bien anclados a tracción en las paredes del perímetro. Un anclaje consiste en un hierro plano en el que se ha abierto de forja un ojo u orificio por el que se pasa una barra o chaveta.

Según la norma DIN 1053 los anclajes deben, en general, colocarse cada 2 m. En casos particulares puede permitirse una distancia de 4 m. Cuando se trata de paredes paralelas a la dirección de las vigas, los anclajes tienen que abrazar por lo menos tres de éstas.

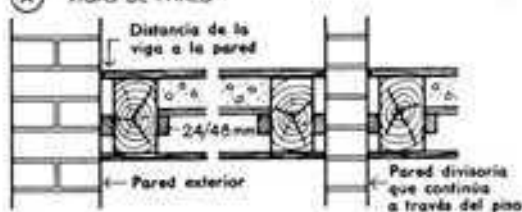
Los anclajes deben fijarse en paredes no debilitadas por aberturas o en los machones entre ellas.

Para poder asegurar larga duración a la vigería de madera es necesario alejar la humedad de las cabezas de las vigas apoyadas o empotradas en la obra de fábrica, pues la madera por donde peligra más es por los testeros.

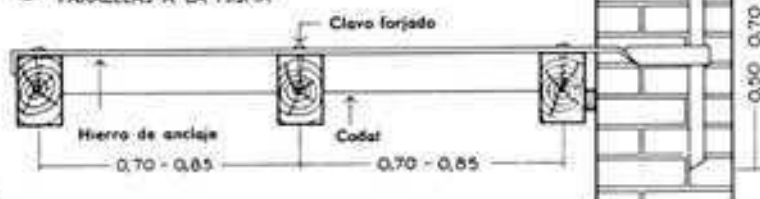
Las cabezas de las vigas deben pintarse por todas sus caras y hasta una profundidad doble de la de los apoyos con alguna preparación protectora de la madera, e irán apoyadas sobre una hilada de ladrillo bien nivelada, recubierta con cartón asfáltico. Las cabezas de las vigas tienen que estar bien secas e introducirse en la pared de manera que por sus caras pueda circular el aire. Si el espesor de la obra de fábrica que separa la cabeza de la viga del paramento exterior tiene sólo 1/2 asta o 1/4 de asta, como sucede en la mayoría de los casos, el testero de la viga

DETALLES DE LOS ENVIGADOS

A VIGAS DE PARED



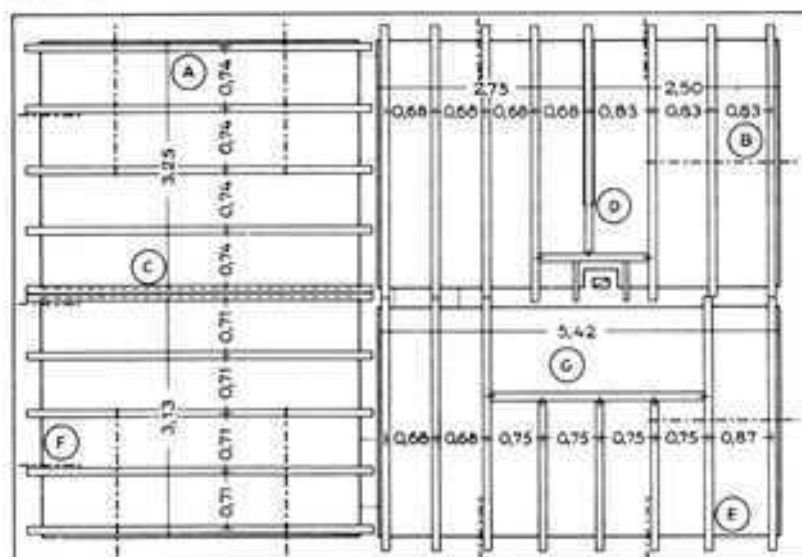
B ANCLAJE DE PARED: VIGAS PARALELAS A LA MISMA



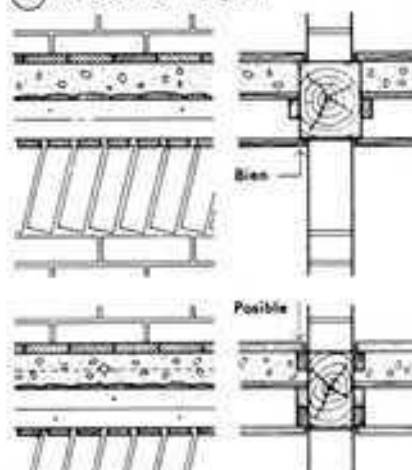
C CONSTRUCCIÓN DE UNA JÁCENA



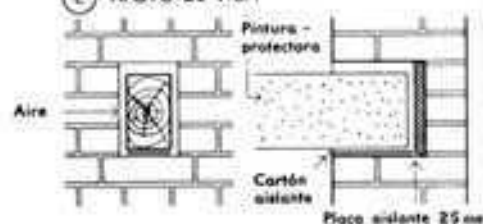
DISPOSICIÓN DE LAS VIGAS



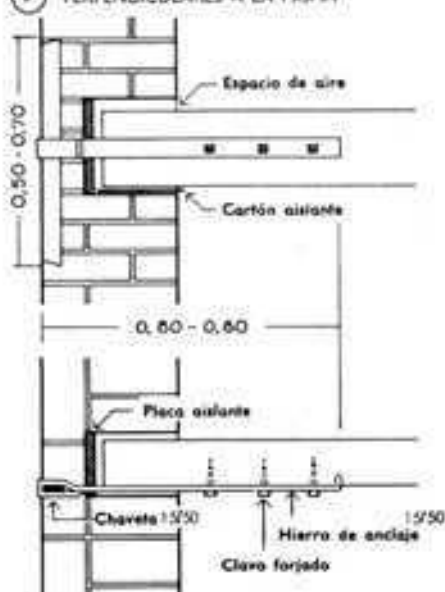
D VIGAS SOBRE TABIQUES



E APOYO DE VIGA

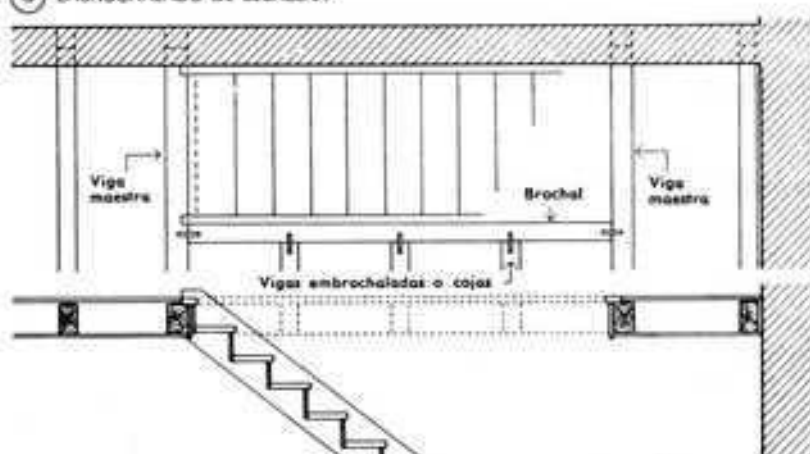


F ANCLAJE DE PARED: VIGAS PERPENDICULARES A LA MISMA



Embrochados para chimeneas, véase capítulo de «Chimeneas»

G EMBROCHADO DE ESCALERA



deberá protegerse además con un pintado adicional o con una placa aislante contra el agua que pueda infiltrarse.

La profundidad de los apoyos de las vigas de pisos suele ser igual a la altura de las vigas. Para las luces corrientes entre apoyos, es decir, para las de 4 a 5 m puede limitarse aquella profundidad a 20 cm y en caso necesario incluso a 15 cm.

La distribución uniforme de las vigas en cada local o incluso en toda la planta del edificio es imposible, en la mayoría de los casos, debido a la existencia de chimeneas o de escaleras. En tales casos es necesario recurrir a los llamados "embrochados" véase también página 216).

En los embrochados para chimeneas hay que tener en cuenta lo que prescribe la policía de obras, de que toda pieza de madera se halle por lo menos a 20 cm de la cara o superficie de la chimenea. El espacio intermedio entre la superficie de la chimenea y las vigas de madera debe hormigonarse y, aún mejor, rellenarse con lana de vidrio o lana mineral.

Todas las vigas que descansan sólo por su extremo en la pared en tanto que por el otro se apoyan sobre un "brochal" se designan con la denominación de vigas "cojas" o "embrochadas". Los maderos de enlace entre dos brochales se llaman "vigas de relleno".

Los "brochales" cargados fuertemente con muchas vigas cojas, con grandes superficies de piso, etc., o que han sido debilitados en su sección por muchas ensambladuras, deben hacerse de mayor escuadría. Lo mismo puede decirse de aquellas vigas que reciben el peso de un tramo de escalera.

Las "vigas de tabique" son aquellas vigas que en los pisos o techos forman el cierre o límite superior de un tabique o pared interior. Deben sobresalir del paramento del tabique lo menos 3 cm por cada lado, a fin de que los entarimados del techo o del piso puedan clavarse bien en ellas. Sin embargo, si la pared no es un tabique sino un tabicón de 1/2 asta esta disposición conduce a anchuras antieconómicas de vigas. Para mantenerse dentro de la anchura corriente de las vigas se suelen proveer las vigas citadas de unos listones laterales, semejantes a los que se usan en los tejados. Esta solución no deja de estar sujeta a objeciones. Los tabiques y paredes interiores no deben descansar sobre vigas de piso, como regla general, porque la flexión y deformaciones de las vigas dan lugar, con facilidad, a la formación de grietas. Es mejor soportar directamente tales tabiques o paredes interiores sobre una viga de hierro disponiendo a uno y otro lado de ella carreras o vigas de madera.

La disposición de las vigas de techo por encima del piso más alto (disposición de las vigas de cubierta) se explicará en el capítulo "Cubiertas".

Secciones o escuadrías de las vigas

El peso propio de un piso de vigas de madera, acabado, viene a caer entre 150 y 220 kg/m². Incluyendo una carga útil (en locales de vivienda) de 200 kg/m² hay, pues, que contar con una carga total de 350-420 kg/m². Resulta así que para las luces corrientes se requieren escuadrías que sólo pueden obtenerse de troncos enteros de árbol. En cuanto a calidad de la madera basta, en general, la de la clase II.

Mientras las vigas se trabajaron únicamente con el hacha y la azuela, se emplearon secciones aproximadamente cuadradas por razones de economía de trabajo. Cuando fue empleándose en mayor escala la sierra, que ya permitía el aprovechamiento de los costeros y tablas laterales, fueron preferidas las secciones rectangulares, que respondían a una relación estática más favorable entre anchura y altura (3 : 4 p. ej.). En los últimos tiempos se empleó también la relación 1 : 2 y secciones de esbeltez aún mayor, obteniéndose con su empleo importantes economías de

madera. Esto era, sin embargo, resultado de la utilización de troncos más gruesos y de mayor valor. Partiendo del aprovechamiento con mayor economía de las secciones de los troncos, la sección cuya relación de dimensiones es de $\sqrt{2} = 5 : 7$ es la que presenta el máximo momento resistente y la sección $1 : \sqrt{3} = 4 : 7$ la que da el máximo momento de inercia entre las que se pueden sacar de un mismo diámetro de tronco (Kress, Fonrobert). Si la altura de la sección de una viga resulta menor que 1/16 de la luz entre apoyos, que es lo que suele ocurrir, para su cálculo ya no es la solicitación a la flexión, que depende del momento resistente, lo que decide la elección, sino la dimensión de su flecha, es decir su momento de inercia. La flecha debe ser como máximo 1/300 de la luz entre apoyos. Por esas razones es preferible, pues, para las vigas una sección que corresponda aproximadamente a la relación 4 : 7. Esta escuadría proporciona una economía de madera del 10 al 15% respecto de la antiguamente empleada de 3 : 4.

Por lo demás, hay que regirse por la norma DIN 104, hoja 1: "Techos o pisos de vigas de madera. Vigas sobre dos apoyos. Cálculo".

Es de importancia que las vigas dimensionadas con economía estén colocadas de manera que puedan desplegar toda su resistencia de sustentación. Las fibras periféricas de un tronco tienen mayor resistencia a la tracción que las del núcleo central, porque el árbol cuando es joven crece más de prisa que cuando es viejo y produce anillos más anchos y más blandos. Por consiguiente, siempre se deben colocar las vigas de manera que las fibras periféricas y, por tanto, las esquinas de la parte de la corteza queden hacia abajo, en la zona de los esfuerzos de tracción. Según se ha comprobado con ensayos, aunque las aristas toscas rebajan la calidad de la madera de II clase, la disminución de sección que representan no merma para nada la resistencia portante de la viga, porque la mayor resistencia a la tracción de las fibras corticales o periféricas la compensa. La presencia en la madera de numerosos y gruesos nudos, en cambio, debilita la resistencia a la tracción de modo considerable.

Las vigas que adolecen de tales defectos se colocan, siempre que sea posible, de manera que los nudos vengán a situarse en la parte de arriba, en la zona comprimida. Si una viga está algo curvada se pone con la curva hacia arriba, de modo que su arqueado contrarreste la flecha que la carga tienda a producir. La falta de madera que se dejó sentir durante la pasada guerra, dio lugar a que se empleasen en las vigas numerosos tipos de secciones destinadas a economizar madera (vigas de doble T y vigas huecas), que, sin embargo, no han logrado gran aceptación.

Forjados de los techos de madera

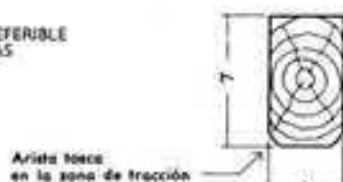
La construcción del forjado, es decir de la obra de cerramiento entre las vigas, es de gran importancia para la capacidad de aislamiento térmico en los techos o pisos de vigas de madera. Para amortiguar los ruidos, en la forma en que actualmente se lleva a cabo, tiene en cambio escaso valor.

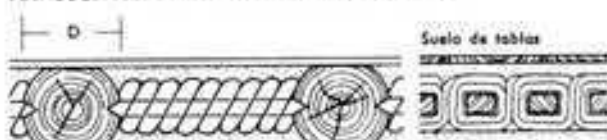
Los forjados de techos se hacían antiguamente con estacas o palos entomizados, que se envolvían en barro y paja y ocupaban casi toda la altura de las vigas. Sobre la capa de barro, una vez seca, se colocaba una capa gruesa de arena de unos 3 cm, como capa de enrase para la pavimentación. Estos techos o pisos poseían buenas condiciones de aislamiento, pero pesaban mucho y obligaban a emplear secciones antieconómicas de vigas.

Hoy día se hacen los techos a base de forjados mucho más ligeros y, por consiguiente, menos eficaces desde el punto de vista de la técnica acústica.

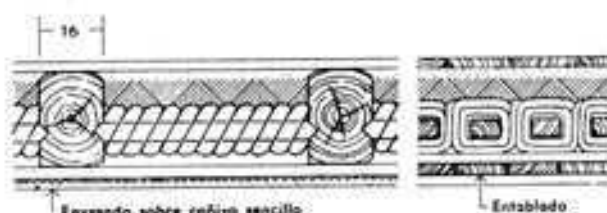
Para el forjado del techo se emplean costeros que se apoyan en listones o latas clavados lateralmente en las vigas, cubriendo así los espacios entre ellas; encima se coloca una capa de 5 a 8 cm de relleno de barro u hormigón de escorias y mejor aún un relleno de cenizas de coque; el relleno de barro o de hormigón de escorias introduce en los techos o pisos humedades poco convenientes. Las placas de material aislante que se suelen colocar en sustitución de los costeros de madera en los espacios entre vigas dan lugar a techos más secos y abrevian con ello el tiempo de la construcción.

ESCUADRÍA PREFERIBLE
PARA LAS VIGAS

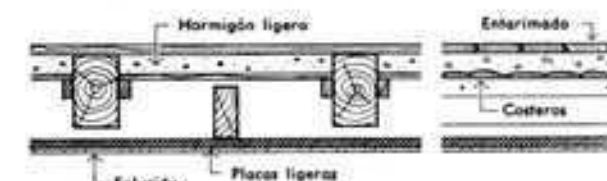
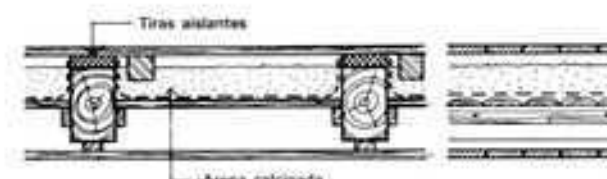
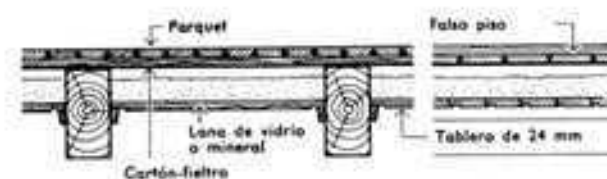
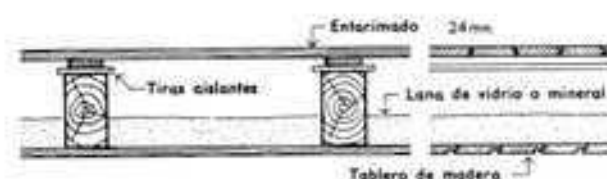
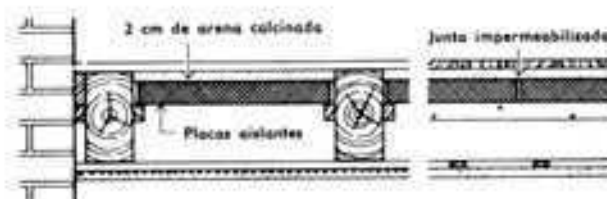
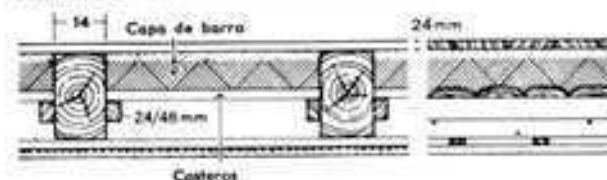




Secciones del antiguo piso de rollos desbarbados con asuela, listones entomados y barro.



TECHOS O PISOS DE VIGAS DE MADERA



Cielos rasos:

Los cielos rasos enyesados, que empezaron a emplearse durante el Renacimiento, representaron siempre un aditamento extraño a los techos de vigas de madera; mejoraron, sin embargo, el aislamiento acústico y térmico así como la protección contra el fuego en los techos y con su poder reflector de la luz contribuyeron a la mejor iluminación del local. Por estas razones no debe renunciarse al empleo de los cielos rasos.

Al construirlos conviene sobre todo desligar la placa rígida de yeso carente de elasticidad, del sistema de vigas, con el fin de evitar que se produzcan grietas en el yeso, debidas a las flexiones que siempre suelen experimentar las vigas de madera. Cuantos menos puntos de contacto o enlace haya entre la capa de yeso del cielo raso y el envigado, tanto mejor se evitará el agrietamiento del yeso.

En los techos de vigas de madera, por consiguiente, lo más favorable es clavar en la cara inferior de las vigas unas listones de 10 x 20 mm y fijar en éstos luego transversalmente, a distancias de 25 cm, latas o listones de 24 x 48 mm del tipo de los de tejados. Entonces y paralelamente a la dirección de las vigas se fija el soporte del cielo raso, que puede ser de doble cañizo, de varilla de madera entretejida, de metal desplegado o de tela metálica. La fijación de estos soportes en el enlustrado y el recubrimiento de sus juntas deben efectuarse cuidadosamente. Se obtiene un cielo raso sin peligro alguno de agrietamiento colgando del envigado y sin inmediato contacto con él un cielo raso de yeso armado con tela metálica.

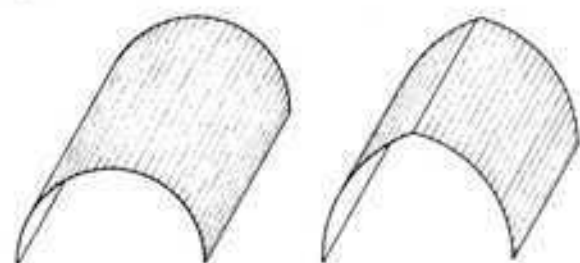
Sin embargo, hoy ya no se emplean por lo general los cielos rasos enyesados, sino que se aplican, en construcción seca, revestimientos de madera, de placas de cartón yeso, fibrocemento o de tableros de virutas.

Techos o pisos de ladrillo, hormigón y acero

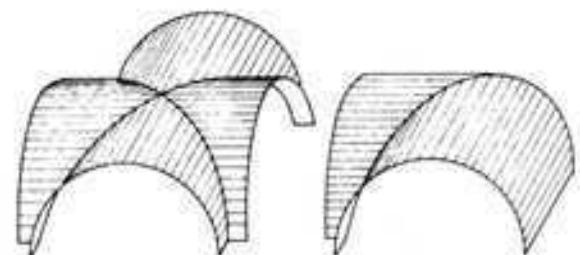
Los techos hechos con materiales no combustibles y macizos, como piedra, ladrillo, hormigón y acero o bien su empleo combinado, se denominarán de ahora en adelante "techos macizos", igual como están definidos en las normas. Debe advertirse que esta definición muchas veces se aplica en el lenguaje técnico exclusivamente para techos planos de placas de hormigón armado y de sección uniforme.

El deseo de cubrir los locales con techos macizos es ya muy antiguo. En la época románica, los primitivos techos de vigas de madera de los templos fueron, casi sin excepción, sustituidos por bóvedas por razones de seguridad contra el fuego, el moño y los insectos y por su limitada duración con el envejecimiento de la madera. Estas construcciones abovedadas, a causa de su gran altura de construcción y del elevado consumo de materiales y de mano de obra que requieren resultan inadecuadas para la construcción de casas de vivienda. Exigen, además, medidas adicionales para absorber o neutralizar los empujes horizontales sobre los apoyos. Por estas causas, las bóvedas tuvieron limitada aplicación a esa clase de edificaciones, a pesar de las mencionadas ventajas de seguridad contra el fuego y de la posibilidad de soportar elevadas cargas. Ofrecen ventajas para cubrir bodegas y sótanos húmedos, porque en ellos las suficientes sobrecargas de los muros, debidas a la existencia de varios pisos situados encima, hacen innecesarias las disposiciones complementarias para absorber los empujes de las bóvedas.

Para cubrir locales de vivienda se recurre a sustituir por construcciones macizas los techos de vigas de madera que cuando la altura de construcción es pequeña tienen sobre las bóvedas la ventaja de no producir más que esfuerzos verticales sobre los apoyos. Indudablemente el empleo de la obra de fábrica y la madera se prestaba a una infinidad de modalidades de construcción. Pero, a pesar de todo, la madera, como material para techar, resulta siempre un cuerpo intruso en la construcción maciza. Los inconvenientes que su empleo lleva consigo han dado lugar a su progresiva sustitución por los techos y pisos planos macizos, fruto del empleo del hormigón armado, a pesar de que éste tiene menor capacidad de aislamiento acústico y térmico.

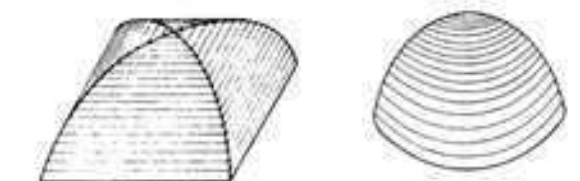


Bóvedas de cañón seguido, de medio punto y de arco apuntado



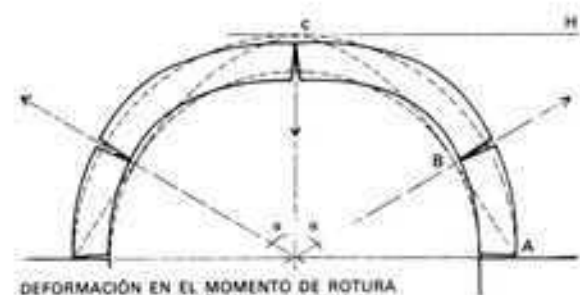
Bóveda por arista

Ángulo de dos bóvedas de cañón



Bóveda en rincón de claustro

Cúpula

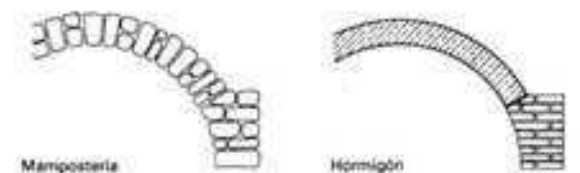


DEFORMACIÓN EN EL MOMENTO DE ROTURA DE LA BÓVEDA DE CAÑÓN SEMICIRCULAR



Obra de fábrica

Sillares



Mampostería

Hormigón

DISTINTOS MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE BÓVEDAS

co y de que su coste es más elevado que el de los pisos de vigas de madera.

La mayor rigidez y ligazón que proporcionan los pisos macizos a los edificios, especialmente cuando éstos son de entramado de hormigón armado o de entramado metálico, es un factor decisivo para su estabilidad. En los entramados de hormigón armado, las losas de los pisos y los pórticos, o los pies derechos de éstos, forman una estructura monolítica con nudos rígidos y en parte con aristas indeformables. Otra ventaja de la mayor parte de los pisos o techos macizos es la posibilidad de utilizar la continuidad de los elementos sobre varios tramos. A esto se añade el hecho de que, contra lo que ocurre con los pisos de vigas de madera, no ocasionan reducción alguna de la sección portante de las paredes y aun con luces grandes (de más de 5 m) y grandes cargas (de más de 350 kg/m²) sólo exigen una reducida altura de construcción.

Al ser elementos constructivos de materiales inorgánicos, los techos macizos encajan y armonizan bien con las paredes de materiales pétreos o cerámicos. Son resistentes al fuego y en los incendios sufren en menor grado los efectos del agua que se lanza para su extinción. Son insensibles a los efectos de la humedad y, por lo tanto, no son atacables por el moho, la putrefacción y los parásitos.

Su duración es prácticamente ilimitada. Además, los pisos o techos macizos son apropiados para la construcción de pavimentos y techos sin juntas y no ofrecen dificultad para obtener pisos completa y permanentemente impermeables mediante la aplicación de capas de barrera o de obturación.

Si a pesar de esas múltiples ventajas constructivas, la adopción de los pisos macizos se ha hecho con relativa lentitud, la causa radica en su mayor coste y en las quejas a que dieron lugar los tipos empleados al principio, respecto de su sonoridad y de la frialdad de su pavimento. Sin embargo, según han demostrado investigaciones más recientes, tales defectos pueden evitarse mediante una disposición adecuada de las capas de aislamiento y de pavimentación. Las capas y elementos resistentes de los pisos macizos al tener pesos > 350 kg/m², contribuyen poco al aislamiento acústico y térmico y, por consiguiente, requieren una mayor atención y cuidado en la construcción de los pavimentos o solados y exigen que se tengan en cuenta las circunstancias físicas con más minuciosidad que en el caso de los pisos de vigas de madera cuyos elementos portantes ya poseen por sí mismos buenas cualidades aislantes.

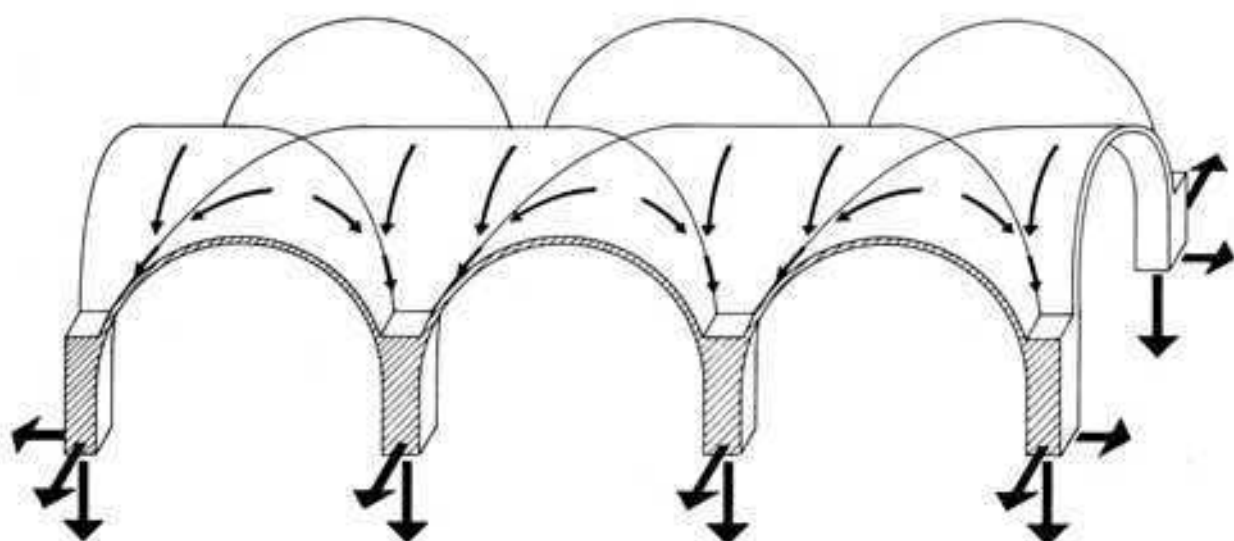
Los demás inconvenientes de los pisos o techos macizos, como su elevado peso propio, el gasto de encofrados y el retardo que en el avance de la obra originan los plazos que hay que esperar para el desencofrado, van siendo aminorados y en parte vencidos por los constantes perfeccionamientos de los métodos para disponer los encofrados y el progresivo empleo de piezas constructivas prefabricadas.

El número de tipos de pisos macizos es tan grande que no es posible entrar en detalles acerca de cada uno de ellos. Son muchos los que difieren poco entre sí, pues derivan de las mismas ideas estáticas o constructivas y cada uno da preferente importancia a alguna circunstancia de carácter más bien local. Están más o menos supeditados a las disponibilidades de materiales y de medio de transporte, dependiendo también de que exista personal especializado o que el contratista o empresa constructora disponga o no de determinadas instalaciones y aparatos.

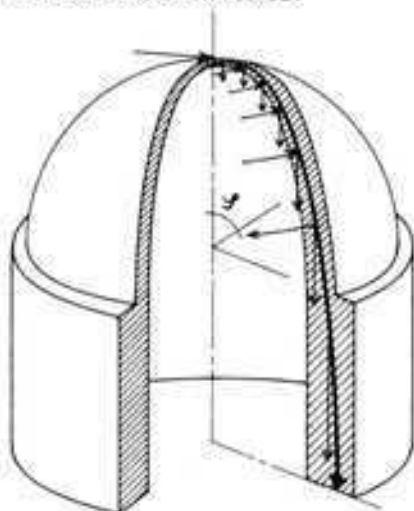
Los distintos tipos y formas están en competencia, no sólo determinada por los costes de salarios, energía y material, sino principalmente por la correlación entre tiempo de construcción y costes de encofrado, de transporte y de montaje, y entre los grosores de los techos y los consumos correspondientes de acero.

Sistemas estáticos

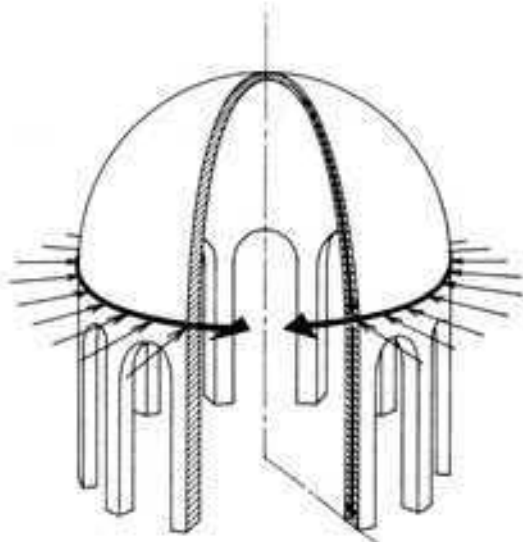
El juicio crítico estático de los pisos o techos macizos se refiere a su estado de obra acabada; en cambio podría ser diferente si se refiriese a su periodo de construcción, donde caben distintas modalidades. En las fases intermedias de sus construcción, los



ACTUACIÓN DE LAS FUERZAS EN UNA CÚPULA

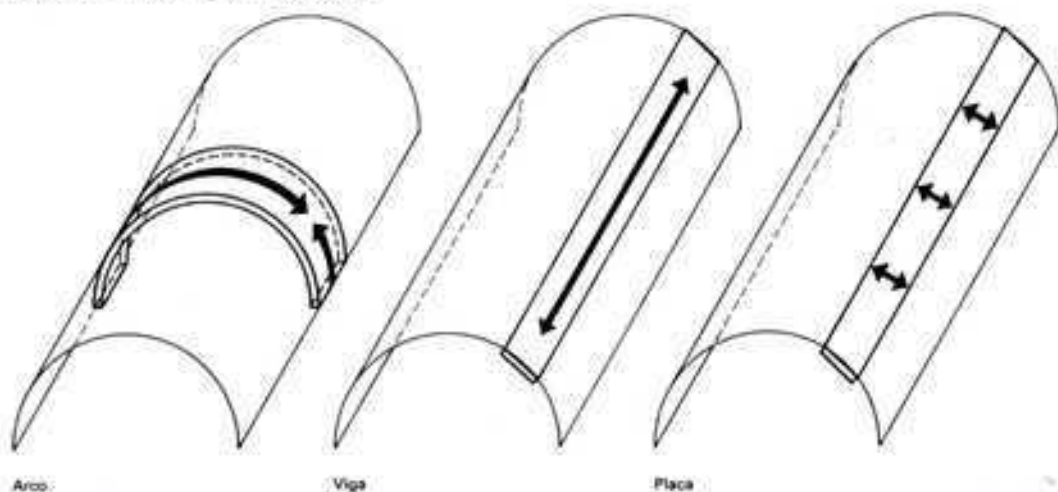


Actuación de las fuerzas en una cúpula con estribo macizo



Actuación de las fuerzas en una cúpula sobre tambor con tirante anular

ACCIÓN ESTÁTICA DE LÁMINA DE SIMPLE CURVATURA



pisos o techos pueden pertenecer o corresponder a grupos estáticos muy distintos, de manera que, p. ej., durante el montaje es frecuente tener que tomar precauciones especiales según los casos.

Hay tres sistemas estáticos fundamentales para la formación de losas para pisos:

Pisos de vigas

Pisos de vigas-losas o vigas T

Pisos de losas

Esta serie escalonada corresponde al mismo tiempo a un grado cada vez más elevado de rigidez de la construcción.

Pisos o techos de vigas

Estáticamente, los pisos de vigas son techos con vigas total o parcialmente prefabricadas, con elementos de relleno que no soportan ninguna clase de carga en la dirección en que actúan las vigas o sin esos elementos; también quedan incluidos entre ellos, por ejemplo, los techos de elementos prefabricados de hormigón armado adosados unos al lado de otros. Los techos de vigas son la forma básica de los techos prefabricados. (Compárense con techos de vigas de madera.)

Vigas colocadas a cierta distancia unas de otras

Cada viga soporta la carga correspondiente a un tramo de viga a viga.

Los espacios que así se producen entre cada dos vigas se cierran mediante forjados que tienen resistencia transversal suficiente y transmiten a las vigas sus cargas actuando a modo de vigas secundarias, colocadas entre las principales.

El forjado entre las vigas puede ser macizo o hueco y puede estar hecho de una sola pieza o de varias. Su aptitud para soportar cargas es la que determina la distancia a que pueden colocarse las vigas.

Vigas adosadas unas al lado de otras

Cada viga soporta la carga de la porción de piso o techo que tiene encima o que la recubre. La forma de la sección de cada viga está dispuesta de manera que al recibir su carga haga colaborar a las inmediatas.

Pisos o techos de vigas-losas o vigas T

La forma de la sección de los pisos o techos de vigas-losas corresponde a una construcción típica del hormigón armado. La parte comprimida de la sección transversal está formada principalmente de hormigón y lleva la armadura de acero estrictamente indispensable para su enlace con la parte sometida a tracción y para la distribución transversal de las cargas. La parte de la sección sometida a tensión contiene únicamente hormigón en muy poca cantidad, pero lleva, en cambio, la parte principal de las armaduras de acero. De esta manera se logra una altura de vigas favorable y estáticamente eficaz, así como una relación ponderada entre la capacidad portante del piso o techo y su peso propio.

La línea neutra teórica cae debajo de la sección de la losa maciza, de manera que también se puede denominar losa comprimida con nervaduras de tracción; por lo demás, el piso o techo puede calcularse lo mismo que los pisos de placas o losas y a base de los mismos principios.

Pisos o techos de vigas-losas o vigas T sin piezas de relleno

Los pisos o techos que dejamos mencionados pueden considerarse como la forma básica de todos los demás de su clase. Las placas o losas comprimidas y las nervaduras tensadas permanecen visibles por la parte inferior, aun después de acabado el techo o piso. Si se desea que el techo presente una superficie plana cuando se mira desde abajo puede aplicársele un cielo raso suspendido, que si se ejecuta debidamente puede servir para mejorar el aislamiento acústico.

Vigas colocadas a cierta distancia



PISOS O TECHOS DE VIGAS

Vigas adosadas



PISOS O TECHOS DE VIGAS-LOSAS O VIGAS T

Sin piezas de relleno



Con piezas de relleno que no trabajen



Con piezas de relleno que trabajen longitudinal y transversalmente



PISOS DE LOSAS



PISOS DE LOSAS HUECAS



Pisos de vigas-losas o vigas T con piezas de relleno que no soportan cargas

Estos techos o pisos representan un perfeccionamiento constructivo de los pisos de vigas T hormigonados *in situ*. Las piezas de relleno sirven únicamente para dar una superficie plana a la parte inferior del techo rellenando los huecos existentes entre los nervios de tracción, pero sin contribuir a soportar las cargas que gravitan sobre el piso o techo. Por esta razón pueden ser de materiales ligeros poco resistentes y, como consecuencia de ello, aumentan el poder aislante del piso.

Pisos de vigas-losas o vigas T con piezas aptas para soportar esfuerzos longitudinales y transversales

Las piezas de relleno de estos pisos no sólo tienen la misión de proporcionar techos planos por la parte inferior, sino que al mismo tiempo sustituyen parcial o totalmente las losas de compresión hormigonadas *in situ*. Mediante un adecuado enlace con las nervaduras hormigonadas en obra cooperan al sostenimiento de las cargas del piso o techo, por lo que tienen que estar hechas de materiales suficientemente resistentes a la compresión (hormigón o cerámica).

Pisos o techos de losas

Los pisos de losas se hormigonan sobre encofrado liso y a base de sección llena o maciza, o se colocan como elementos prefabricados de un tamaño que puede llegar al de toda una habitación. Una prefabricación parcial consiste en construir en taller unos elementos armados que constituyen la parte sometida a tracción y empleada como encofrado perdido. Esto tiene la ventaja de que son menores los pesos de transporte y permiten máquinas elevadoras más simples que las que requiere y permiten máquinas elevadoras más simples que las que requiere el montaje de elementos completos del tamaño de las habitaciones. En este caso se hormigona *in situ* la zona sometida a compresión, una vez realizada una sustentación de montaje.

Los pisos de losas son los que tienen, debido a sus secciones cerradas y macizas, la mayor masa y el mayor peso propio. Por consiguiente ofrecen mayor insonorización que los otros pisos. Cuando un piso tiene una superficie casi cuadrada mediante un armado en cruz es como se consigue la más favorable relación entre el grueso y la luz del techo.

Pisos de losas huecas

Las luces importantes y solicitaciones fuertes hacen necesarias losas de gran canto o espesor. Para rebajar el correspondiente peso propio de tales losas se utilizan, siguiendo un sistema experimentado desde hace tiempo en la construcción de puentes, losas con huecos tubulares. Estos huecos se provocan en el seno de la masa mediante cilindros de cartón impregnados. Como armadura pueden utilizarse, al igual que en las losas macizas, emparrillados de acero montados a pie de obra o en fábrica. Frente a otros sistemas de forjados "sueños", la losa hueca presenta la ventaja de tener la cara inferior plana, menor flecha a flexión y mayor resistencia a cortadura.

Métodos o sistemas de construcción

Según el método o sistema que en la construcción se emplee, se distinguirán:

- los techos o pisos contruidos totalmente en el lugar de la obra, y
- los techos montados a base de piezas prefabricadas.

Depende de la clase y magnitud de las solicitaciones y cargas, de la forma de la planta del edificio y de las luces existentes entre apoyos, así como del grado de rigidez que se requiera, el que sea más apropiado uno u otro de ambos sistemas; también influye, no poco, el que en la región esté más extendido o popularizado uno u otro sistema y también puede influir la clase de materiales de que se disponga con más facilidad.

Muchas veces, la elección del sistema estático necesario obliga a un determinado tipo de construcción; los pisos o techos de vigas o de vigas-losas pueden en determinados casos ser contruidos a base de piezas prefabricadas; los de losas enteras, en cambio, deben construirse necesariamente en la misma obra.

Pisos contruidos totalmente en la misma obra

En esta categoría figuran todos aquellos pisos o techos macizos en que la totalidad del proceso de su construcción tiene lugar en la obra, a base de hormigón, pueden adaptarse a cualquier tipo de planta sin estar supeditados a un determinado módulo o patrón. Los pisos de hormigón moldeado en obra pueden adquirir la forma de losas monolíticas, que como losas continuas de varios tramos, proporcionan un perfecto anclaje y arriostramiento de las paredes. Tienen el inconveniente del elevado coste de los encofrados que con sus estructuras de soporte y apuntalamiento o apeo estorban el rápido avance de la obra durante los indispensables plazos antes de desencofrar; también es un inconveniente la gran humedad que acompaña a este tipo de construcción.

Pisos prefabricados

Lo que ha dado un gran impulso al progreso y perfeccionamiento de los pisos o techos prefabricados, ha sido el deseo de poderlos construir rápida y sencillamente, empleando pocos encofrados o ninguno, introduciendo en la obra escasa cantidad de humedad y gastando en armaduras la menor cantidad de acero posible. Las losas que forman los pisos están constituidas por piezas sueltas, preparadas en el taller al abrigo de las inclemencias del tiempo y en condiciones de lograr la máxima precisión en el trabajo; tales piezas son llevadas a pie de obra ya bien secas, pudiendo ser montadas rápidamente y el montaje de las piezas que integran los elementos de la obra puede ser más o menos necesaria y más o menos económica. Según predomine la fase del trabajo del taller o del de pie de obra cabe distinguir:

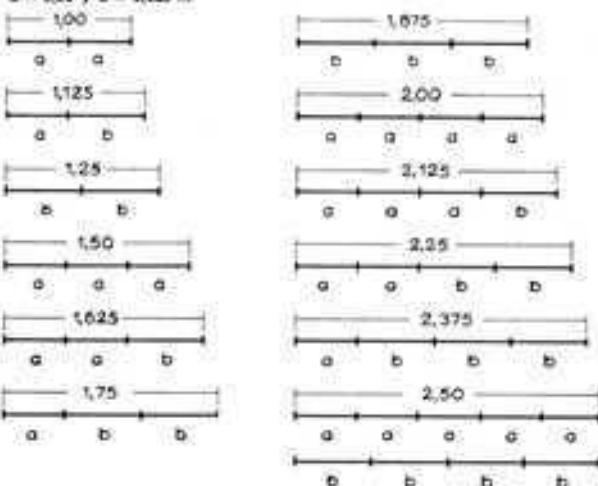
- Pisos parcialmente prefabricados, y
- Pisos totalmente prefabricados

La elección entre uno y otro grado de prefabricación depende por una parte, de las dimensiones del sitio disponible en la obra y de los aparatos elevadores de que se disponga, en relación con el tamaño de las piezas prefabricadas, así como de las posibilidades de avance en el curso de la obra.

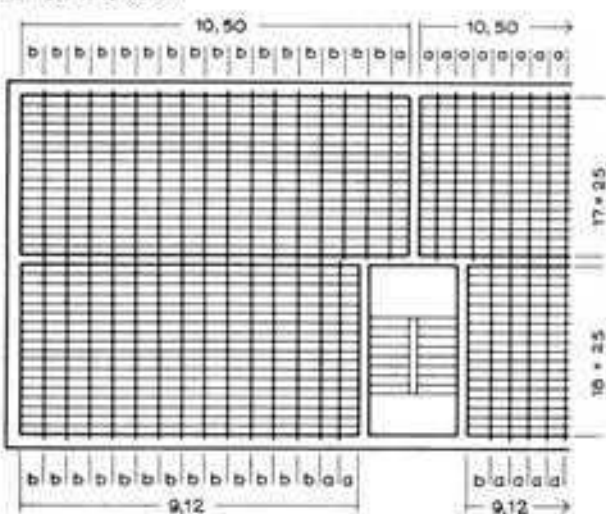
Separaciones disponibles entre nervios



Obtención de anchuras variables de habitación mediante combinaciones de ambas separaciones entre nervios: $a = 0.50$ y $b = 0.625$ m



Ejemplo de aplicación



$a = 0.50$ m
 $b = 0.625$ m Separación entre nervios

Pisos o techos parcialmente prefabricados (de montaje parcial)

Una de las características esenciales de este sistema es la de que las piezas prefabricadas que han de formar parte del piso sólo están calculadas para soportar parte de las cargas del piso y únicamente se alcanza la plena resistencia de éste cuando tales piezas unen su acción con la del hormigón fabricado en la obra. Los pisos parcialmente prefabricados representan una economía de encofrados, pero necesitan apuntalamientos o apeos provisionales durante su construcción y no pueden ser cargados hasta haber fraguado bien el hormigón hecho en obra y haber alcanzado un grado suficiente de endurecimiento. El enlace y ligazón entre los dos hormigones, el prefabricado y el moldeado en obra, depende, sin embargo, de circunstancias locales (contracción y retracción del hormigón hecho en la obra).

Pisos o techos totalmente prefabricados (de montaje total)

Todas las piezas que integran el piso, tanto si son de carácter portante como si son de forjado o enlace, son prefabricadas y están calculadas para soportar plenamente los esfuerzos y sollicitaciones a que puedan estar sometidas durante el montaje, así como para la carga que hayan de soportar de manera definitiva. Su montaje se hace en la obra sin necesidad de andamiajes ni apoyos auxiliares y lo máximo que puede tenerse que hacer en obra es el relleno de las juntas. Para aumentar la rigidez transversal de esos pisos o techos puede ser necesario recubrirlos con una capa de hormigón, pero desde luego no se cuenta para nada con éste para el cálculo de la resistencia del piso.

Desde el punto de vista estático, los pisos prefabricados o de montaje pueden ser de vigas rectangulares o de vigas en T. Los techos o pisos de vigas de forma de losas tampoco deben considerarse como pisos de losas, sino que en realidad son pisos de vigas. Los pisos de losas sólo pueden ser hormigonados en obra. La inclusión de vigas prefabricadas no produce ninguna debilitación de la obra de fábrica portante. Sin embargo, su efecto desde el punto de vista de la rigidez de la obra es relativamente reducido. Por consiguiente, es necesario poner especial cuidado en conseguir un eficaz anclaje de las vigas de hormigón armado con las paredes, p. ej. mediante zunchos de hormigón hecho en obra. Para dar rigidez transversal a las vigas o a las nervaduras de los pisos puede, en caso necesario, recurrirse a la disposición de nervios transversales o a una capa superior de hormigón con armadura transversal. Generalmente esta capa de hormigón resulta, sin embargo, antieconómica si sólo ha de servir para la rigidez transversal y no es necesaria para servir, al mismo tiempo, de base de apoyo para el solado o pavimento. Los detalles acerca de la colocación, anclaje, arriostramiento o consolidación transversal y embrochados en los pisos prefabricados están expuestos y determinados en la norma DIN 1045. El campo de aplicación de los pisos o techos prefabricados se extiende principalmente a la construcción de edificios para viviendas, oficinas y locales comerciales, en los que predominan las cargas fijas uniformemente repartidas. Para fábricas y talleres, donde es preciso contar con sollicitaciones dinámicas, no son adecuados; tampoco lo son para pisos de patios que cubren locales de sótanos ni donde puedan actuar cargas aisladas considerables o fuertes trepidaciones.

Al emplear los pisos prefabricados o de montaje en la construcción de casas de vivienda es conveniente que la pared portante central se halle exactamente centrada de manera que se obtengan luces iguales entre apoyos y, por consiguiente, un solo tipo de longitud de vigas. La profundidad de las habitaciones y locales se procura que sea un múltiplo de la longitud de las piezas de relleno, con lo cual se evita todo trabajo de adaptación. La anchura de las habitaciones se fija de manera que los tabiques, que no soportan cargas puedan estar siempre encima de alguna viga, que para soportar esta carga adicional tendrá que ir suficientemente armada. Cuando sólo se dispone de piezas huecas para entrevigados de 50 cm o de 62,5 cm, este módulo resulta demasiado grande para un dimensionado económico de las anchuras de las habitaciones. En tal caso es frecuente verse obligado a disponer los tabiques sobre algún espacio entre vigas o nervios. Pero como no conviene que dichos tabiques carguen sobre las piezas huecas de la entreviga, es necesario construir unas fajas macizas y armadas entre las vigas o nervios cosa que

aumentaría los gastos de encofrados y de construcción. Esas fajas macizas son casi siempre indispensables para soportar las cargas de las armaduras del tejado o cubierta de gravitan sobre el techo del piso superior. En los casos más favorables también puede solventarse, muchas veces, con dos vigas colocadas una junto a otra.

Sin embargo, cuando se dispone a la vez de piezas de relleno para entrevigados de 50 y de 62,5 cm, es posible una distribución racional para la anchura del local. Combinando esas dos distancias entre vigas se puede obtener, a partir de 1,50 m, anchuras que vayan aumentando de 12,5 cm en 12,5 cm. En los ejemplos de las figuras de la página de enfrente se indica como hay que distribuir los pisos de esa clase.

Pisos o techos de hormigón armado

La tecnología del hormigón y las disposiciones generales de la DIN 1045 referente al dimensionado y la ejecución de elementos constructivos de soporte y de rigidización de hormigón normal o pesado, armado o sin armar, en cuanto se refieren a la preparación y puesta en obra del hormigón, ya fueron expuestos en la sección "Paredes de hormigón".

Los artículos de la DIN 1045 que tratan especialmente del empleo del hormigón armado para elementos constructivos sometidos a flexión, para forjados de cerámica armada y para estructuras de hormigón armado con bloques de vidrio, y los párrafos de introducción a la norma, con las prescripciones oficiales se reproducirá a continuación, sólo en forma extractada. Además, la DIN 1045 remite en este contexto a las siguientes normas:

- DIN 488 Hoja 1: Acero para hormigón armado; definiciones, propiedades, designaciones
Hoja 2: Acero en barras; dimensiones
Hoja 3: Acero en barras; ensayos
Hoja 4: Emparrillados, para hormigón armado; composición
Hoja 5: Emparrillado para hormigón armado; ensayos
Hoja 6: (Propuesta) Control (Control de calidad)
- DIN 1050 El acero en la construcción; cálculo y ejecución de los trabajos
- DIN 1084 Hoja 1: Control de calidad en la construcción con hormigón y con hormigón armado;
Hormigón B II en las obras
Hoja 2: Elementos prefabricados
Hoja 3: Hormigón premezclado
- DIN 4028 Planchas de hormigón
Hormigón ligero
- DIN 4099 Hoja 1: Soldadura del acero para hormigón armado;
Acero para hormigón armado;
Prescripciones y ensayos
- DIN 4102 Hoja 2: Comportamiento frente al incendio de materiales y elementos de construcción;
Definiciones, prescripciones y ensayos de elementos constructivos
- DIN 4158 Elementos de relleno de hormigón para techos de hormigón armado y de hormigón pretensado
- DIN 4159 Piezas cerámicas para techos y placas de pared, que trabajan estáticamente
- DIN 4160 Piezas cerámicas para techos, que no trabajan estáticamente
- DIN 4224 Hoja 1: Medias auxiliares para el cálculo y el dimensionado de elementos de hormigón armado;
Magnitudes que actúan en cada sección
Hoja 2: Dimensionado
(flexión, pandeo, esfuerzo cortante, torsión, adherencia)
Hoja 3: Flecha
- DIN 4236 Mesa vibradora para compactar el hormigón; instrucciones para su aplicación.

- DIN 4239. Hoja 1: Vigas mixtas en la construcción; Instrucciones para el cálculo y la ejecución
- DIN 4243. Estructuras de vidrio y hormigón armado; prescripciones, ensayos
- Hormigón armado ligero; Instrucciones provisionales para el dimensionado y la ejecución.

Definiciones

DIN 1045, apartados 2.1 - 2.2

Hormigón armado

El hormigón armado es un material compuesto de hormigón y acero (generalmente acero especial para armaduras), apropiado para elementos constructivos en los que el hormigón y el acero deben trabajar conjuntamente para soportar los esfuerzos que se producen en las diferentes secciones.

Armaduras

Como armaduras definimos los conjuntos de barras de acero necesarias para la resistencia del hormigón armado. Las armaduras rígidas a la flexión son unas armaduras prefabricadas que se componen de un armazón de barras de acero o de vigas ligeras de acero laminado, en ciertos casos con platabandas de hormigón, hechas en taller; también se pueden emplear para resistir las cargas del forjado antes de fraguar el hormigón.

Piezas de relleno y elementos de forjado intermedios

Estas piezas son elementos prefabricados que colaboran o no colaboran estáticamente, hechas de hormigón normal o ligero, con armadura o sin ella, o bien de arcilla cocida, que se emplean para pisos de vigas, pisos de losas nervados de hormigón o pisos de cerámica armada (véanse DIN 4158, DIN 4159 y DIN 4160).

Las piezas de relleno y los elementos de forjado intermedios que actúan estáticamente deben dejar entre ellas unas juntas que se rellenarán de hormigón para asegurar la transmisión de las compresiones en la dirección de las vigas o nervios y en ciertos casos para colocar en ellas la armadura transversal. Pueden alcanzar toda la altura del forjado o sólo una parte de ésta.

2.2.1. Cargas

Esta norma distingue cargas o fuerzas aisladas y fuerzas repartidas por unidad de longitud o de superficie (kg/ml , ton/ml , kg/m^2). Estas fuerzas pueden producirse por el peso, o bien por el viento, fuerzas de frenado o causas parecidas.

2.2.2. Carga de servicio

Se entiende como carga de servicio la correspondiente a todos los estados de carga a que puede ser sometido un elemento constructivo en su uso previsto.

2.2.3. Carga de rotura

Como carga de rotura entendemos aquella carga bajo la cual se alcanzan en el cálculo los valores límites de alargamiento del acero o del hormigón, o de ambos simultáneamente.

2.2.4. Edificios de tipo corriente

Son construcciones que están dimensionadas principalmente para sobrecargas estáticas, uniformemente repartidas de $p \leq 500 \text{ kg/m}^2$ (véase DIN 1055, hoja 2) y en algunos casos también para sobrecargas aisladas de $p \leq 750 \text{ kg}$ y para cargas producidas por automóviles. Si actúan varias cargas aisladas, éstas no deben producir en conjunto una sobrecarga mayor de 500 kg/m^2 .

2.2.5. Estado I

Tenemos el estado I del hormigón armado cuando el hormigón colabora completamente en la zona de tracción.

2.2.6. Estado II

El estado II se produce en el hormigón armado cuando se desprecia la colaboración del hormigón en la zona de tracción.

2.2.7. Cooerción

La cooerción sólo se produce en sistemas de estructuras hiperestáticas a causa de la fluencia, retracción y variaciones de temperatura y debido a movimientos del terreno, etc.

(véase también DIN 1080)

Documentos de construcción

DIN 1045, apartados 3.1.-3.4.

Entre los documentos de construcción figuran los planos más importantes, los cálculos de estructura —en ciertos casos como generalmente en la construcción con elementos prefabricados de hormigón armado—, una memoria descriptiva adicional y, en algunos casos, unos certificados de ensayos y aprobación.

3.2. Planos

Las dimensiones de los elementos constructivos y sus armaduras deben representarse claramente en los planos. Los planos deben coincidir con los resultados de los cálculos estáticos y en ellos deben figurar todas las medidas necesarias para la ejecución de las obras y para la comprobación de los cálculos.

Habrá que indicar todos los planos complementarios. Correcciones posteriores en un plano también obligan a efectuar en todos los otros planos las rectificaciones correspondientes.

En los planos deben indicarse especialmente:

a) la clase de resistencia y, en ciertos casos, las propiedades especialmente del hormigón.

En los planos de armaduras deben indicarse además:

b) los tipos de acero;

c) número, diámetro, forma y situación de los redondos y de las soldaduras para hacer en obra (por ejemplo, la distancia entre los redondos, huecos para el vibrado, longitudes de solape en las uniones y longitudes de anclaje —por ejemplo en los apoyos—, la disposición y ejecución de las soldaduras, indicando los materiales de aporte en la soldadura, la ejecución de la costura, y las dimensiones de la misma);

d) el recubrimiento de hormigón de los redondos (también de los estribos) y los elementos de sustentación para la armadura superior;

e) el diámetro mínimo de los rodillos dobladores

Al emplear elementos prefabricados habrá que indicar además:

f) en un plano aparte, la armadura suplementaria a colocar en la obra;

g) la resistencia a la compresión que debe tener el hormigón en el momento del transporte o de la colocación;

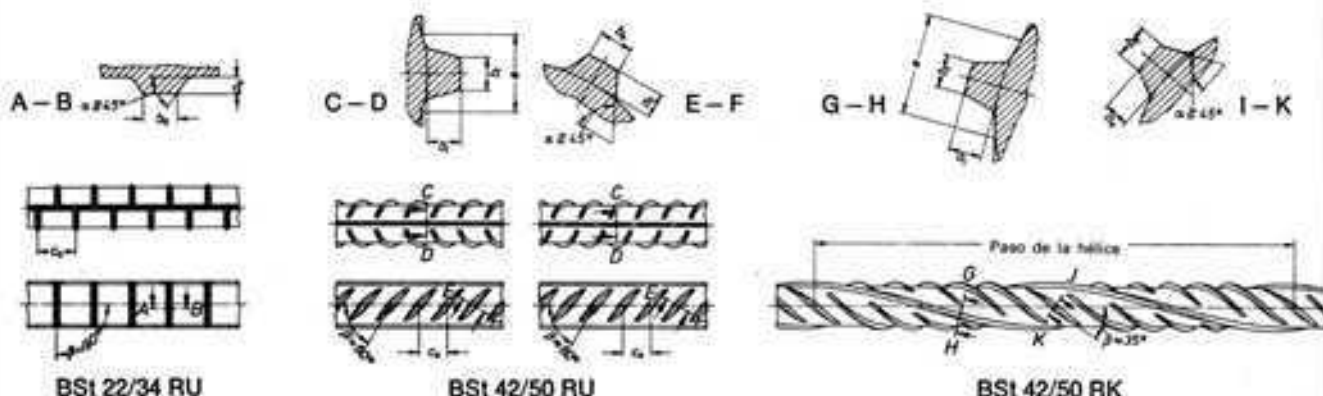
h) el peso de cada uno de los elementos prefabricados;

i) la tolerancia en la que estos elementos se insertan, en cuanto sea necesario;

j) el sistema de suspensión o de apoyo para el transporte y la colocación en obra.

3.2.2. Planos de colocación para los elementos prefabricados

En las construcciones a base de elementos prefabricados deben confeccionarse para la obra los planos de colocación de los elementos prefabricados, indicando los números de posición de cada elemento y una lista de posiciones. En este plano deben figurar también las profundidades de apoyo y en algunos casos el sistema de apuntalamientos necesarios para los elementos prefabricados.



3.2.3. Planos de encofrados y cimbras

Para aquellos encofrados y cimbras para los que es necesario un cálculo estático, por ejemplo encofrados o cimbras autosustentantes y de varias plantas, deben confeccionarse planos para su uso en la obra; también para encofrados que deben absorber una alta presión lateral producida por el hormigón antes del fraguado.

3.3. Cálculos estáticos

La estabilidad y el dimensionamiento correcto de la construcción y sus elementos deben comprobarse mediante unos cálculos estáticos, claros y fáciles de revisar.

3.4. Memoria descriptiva adicional

Todos los datos necesarios para la ejecución de la obra, la interpretación de los planos o la comprobación de los cálculos estáticos, pero que no se pueden sacar directamente de los documentos corrientes, deben ser incluidos en una memoria descriptiva adicional y explicados en cuanto sea necesario.

En las obras con elementos prefabricados se requieren datos sobre el procedimiento de montaje, incluso los apuntalamientos provisionales, sobre el ajuste y sobre los estados intermedios que se producen durante el montaje, y que tienen importancia para la seguridad. Con especial

Tabla 6: CLASIFICACIÓN Y PROPIEDADES DE LOS ACEROS PARA HORMIGÓN ARMADO

	1	2	3	4	5	6	7	8
Forma de elaboración	Tipos de acero para hormigón armado Acero en barras				Emperillado de acero soldado			no soldado
Estructuración de la superficie	Lisa G	Nervado R Resaltos transversales	Resaltos diagonales		Lisa G	Perforado P	Nervado R Resaltos diagonales	
Fabricación del acero	Sin tratamiento U			Estirado en frío K				
Abreviaturas	BSt 22/34 GU	BSt 22/34 RU	BSt 42/50 RU	BSt 42/50 RK	BSt 50/55 GK	BSt 50/55 PK	BSt 50/55 RK	BSt 50/55 RK
Número del material	1.0003	1.0005	1.0433	1.0431	1.0464	1.0465	1.0466	1.0466
Simbolos	I G	I R	III U	III K	IV G ²⁾	IV P ²⁾	IV R ²⁾	IV RX
1 Diámetro nominal d_n en mm	5 a 28	6 a 40	6 a 28	6 a 28	4 a 12	4 a 12	4 a 12	6 a 12
2 Límite elástico f_{yk} o $f_{yk,2}$ en kg/cm ² como mínimo	2200 ³⁾	2200	4200	4200	5000	5000	5000	5000
3 Resistencia a la tracción f_{tk} en kg/cm ² como mínimo	3400	3400	5000	5000	5500	5500	5500	5500
4 Resistencia a la fatiga por oscilaciones	1800	—	2300	2300	1200 ⁵⁾	1200 ⁵⁾	1200 ⁵⁾	2300
5 con una altura de cresta 2 a 4 mil " d_n " d_n en kg/cm ² D = 15 d_n	1800	—	2000	2000	1200 ⁵⁾	1200 ⁵⁾	1200 ⁵⁾	2000
6 Soldabilidad ≤ 12 garantizada para el diámetro nominal d_n en mm (véase también DIN 4099: *) ≥ 14	RA	RA	RA	RA, RP ⁶⁾	RA, RP ⁷⁾	RA, RP ⁷⁾	RA, RP ⁷⁾	RA, RP ⁷⁾
		RA, E		RA, E, RP ⁶⁾	—	—	—	—
7 Alargamiento de rotura a_{10} en %, como mínimo	18	18	10	10	8	8	8	8
8 Resistencia al esfuerzo cortante S en los nudos de mallas metálicas soldadas, en kg ⁴⁾	—	—	—	—	0,35 $F_e \cdot \beta_s$	0,30 $F_e \cdot \beta_s$	0,30 $F_e \cdot \beta_s$	—
9 Diámetro de mandril para ensayos de doblado; Ángulo de doblado, 180°	2 d_n	—	—	—	3 d_n	—	—	—
10 Diámetro del rodillo doblador ≤ 12	—	4 d_n	5 d_n	5 d_n	—	4 d_n	4 d_n	4 d_n
11 durante ensayo de doblado desdoblado para el diámetro	13 a 18	5 d_n	6 d_n	6 d_n	—	—	—	—
12 nominal d_n en mm	20 a 28	7 d_n	8 d_n	8 d_n	—	—	—	—
13	30 a 40	10 d_n	—	—	—	—	—	—

1 Para planos y cálculos estáticos.

2 En armaduras longitudinales y anulares pueden también emplearse como barras de armadura y como barras anulares en los armazones soldados de los tubos de alta o baja presión de hormigón armado según DIN 4035 y DIN 4036.

3 Aplicable para tolerancias de F_y hasta - 5% (según DIN 488, hoja 2, tabla 1), al tener tolerancias desde más de - 5% hasta - 12% debe aumentarse respectivamente el límite elástico.

4 $\beta_s \geq 1,05 \beta_s$ y además $\beta_s \leq 1,05 \beta_s$, donde hay que poner los valores hallados mediante ensayos.

5 Sólo necesario para mallas metálicas de armadura soldadas, que se empleen según el artículo 17.8 para cargas no exclusivamente estáticas; las comprobaciones deben realizarse según las prescripciones de las autoridades correspondientes.

6 RA = Soldadura resistente al tope por chapas. E = Soldadura por arco entre metales. RP = Soldadura resistente por puntos.

7 La soldadura resistente por puntos en mallas metálicas no debe ejecutarse en la obra sino bajo vigilancia en fábrica.

8 La soldadura resistente por puntos, teniendo soldaduras en puntos aislados, sólo debe ejecutarse bajo vigilancia en fábrica.

9 $\beta_s = 5000 \text{ kg/cm}^2$ es en este caso el límite elástico mínimo exigido para BSt50/55. Respecto a F_y véase la DIN 488, hoja 5.

exactitud debe explicarse el procedimiento de montaje cuando no es el mismo fabricante el que lo dirige.

Materiales

DIN 1045, apartados 6.6.-6.7

Los apartados 6.1.-6.5. que se refieren a los materiales y la composición del hormigón, ya se han incluido en el capítulo "Paredes".

6.6. Acero para hormigón armado

El diámetro, la forma, las propiedades de resistencias y la denominación del acero para las armaduras deben cumplir la norma DIN 488.

Las propiedades exigidas por ella figuran en la tabla 6, en todo cuanto es necesario para el empleo del acero para armaduras.

Cuando un acero para armaduras del grupo K se calienta al emplearlo, debe considerarse en los cálculos sólo como acero BSt 22/34 (II). Sin embargo, esta limitación no es precisa para el calor producido por soldaduras según DIN 4099. Los alambres recoídos (por ejemplo para estribos con un diámetro ≥ 3 mm) deben tener las propiedades del acero para hormigón BSt 22/34 (II).

6.7. Otros materiales y elementos constructivos

6.7.1 Mortero de cemento para relleno de juntas

El mortero de cemento para el relleno de las juntas de los elementos prefabricados y piezas intermedias debe cumplir las siguientes condiciones. Cemento, según DIN 1164, de la clase de resistencia 350 F o mayor. Cantidad de cemento: como mínimo 400 kg/m³ de mortero compactado;

Árido: arena limpia, de granulometría mezclada, 0 a 4 mm.

Variaciones de estos valores sólo pueden admitirse cuando, a los 28 días, puede comprobarse con probetas de 10 cm de canto, una resistencia de mortero de 150 kg/cm² como mínimo según la norma DIN 1048.

6.7.2. Piezas de relleno y elementos intermedios

Las piezas de relleno hechas con hormigón deben satisfacer a la DIN 4158 y las de cerámica deben cumplir con la DIN 4159 o la DIN 4160.

Puede prescindirse del dimensionado para la hipótesis de carga "transporte" cuando los elementos prefabricados no tienen una longitud mayor que 4 m. Sin embargo, los elementos en forma de barra hay que armarlos como mínimo con un hierro de armadura de 5 mm.

Para obtener suficiente rigidez lateral en los elementos prefabricados, cuya relación longitud/ancho es mayor que 20, deben colocarse dos hierros de armadura como mínimo, con la mayor distancia posible entre sí.

19.3. Dimensiones mínimas

El espesor mínimo de las piezas prefabricadas en taller puede tener 2 cm menos que los elementos constructivos correspondientes hechos de hormigón in situ; sin embargo, no puede ser menor que 4 cm. El espesor de la losa en los forjados nervados prefabricados debe ser de 5 cm como mínimo. Respecto a las dimensiones de los elementos sometidos a compresión véase el artículo 25.2.1.

Los fondos de casetones sin armaduras pueden ejecutarse, contra lo dicho anteriormente, con un espesor mínimo de 2,5 cm, siempre y cuando sólo estén pisados para realizar trabajos de limpieza y reparaciones, y cuando la distancia entre los nervios es como máximo de 65 cm en una dirección y en la otra es de 65 cm como máximo si el hormigón es de calidad Bn 250, de 100 cm como máximo si el hormigón es de calidad Bn 350 y de 150 cm para un hormigón Bn 450 o de mayor resistencia. Los fondos de los casetones no deben tener huecos.

19.4. Colaboración entre elementos prefabricados y hormigón in situ

Al dimensionar las secciones de los elementos prefabricados combinados con hormigón in situ, según los apartados 17.1 a 17.5 la sección total puede considerarse como homogénea desde el principio; esto también es válido para los empotramientos de estructuras, hormigonados posteriormente. Una condición para ello es que los esfuerzos de cizallamiento que actúan bajo esta sollicitación estén resistidos mediante armaduras según los artículos 17.5.4 y 17.5.5 y que las superficies de la junta entre las piezas que se unen sean rugosas o tengan un perfilado suficiente. El deslizamiento entre dichas superficies también puede impedirse mediante un entendado armado o con adecuadas uniones metálicas.

En el dimensionado para las fuerzas de cizallamiento, la reducción de los valores de cálculo t_0 indicada en el artículo 17.5.5, sólo debe aplicarse en los casos que cumplen con las prescripciones del artículo 19.7.2. El valor de cálculo t_0 no debe ser mayor que t_0 (véase tabla 14, líneas 2 o 4 respectivamente). Cuando en una misma sección se emplean elementos prefabricados y hormigón in situ, y también cuando hay piezas intermedias de distinta resistencia, al dimensionar la sección total debe aplicarse en el cálculo la menor resistencia de estas piezas, siempre y cuando no se tenga en cuenta la distinta capacidad de carga de cada uno de los elementos.

19.5. Montaje de las piezas prefabricadas

19.5.1. Seguridad en el estado de montaje

Los elementos prefabricados deben colocarse de tal forma, que se sostengan con seguridad en su posición desde el momento de depositarlos —incluso en caso de trepidaciones—. Por ejemplo, las vigas de alto canto deben asegurarse contra el vuelco.

19.5.2. Apoyos de montaje

Los elementos prefabricados deben dimensionarse de tal forma que, cuando se empleen placas de 100 cm, entre los apoyos de montaje no resulten distancias menores de 150 cm.

No es necesario comprobar la absorción de los momentos negativos que se producen sobre los apoyos de montaje, para techos de placas según el artículo 19.7.6, techos de vigas según el artículo 19.7.7, techos de vigas en T según el artículo 19.7.5, tabla 26, línea 5, y techos nervados según el 19.7.8, siempre y cuando los momentos de tramos puedan obtenerse bajo la hipótesis de tratarse de una viga sobre dos apoyos que permitan un giro libre. Los techos con armaduras rígidas a la reflexión deben calcularse para el estado de montaje según el artículo 2.1.3.7, siempre como una viga sobre dos apoyos.

19.5.3. Profundidad de apoyo

Para la profundidad mínima de apoyo en el estado definitivo rigen las mismas prescripciones que para los correspondientes elementos constructivos de hormigón in situ. Cuando la zona de apoyo se completa posteriormente mediante hormigón in situ, la profundidad de apoyo debe tener en consideración, en el estado de montaje, a las posibles variaciones de medidas, como mínimo 3,5 cm. Este apoyo puede sustituirse mediante unos elementos de sustentación auxiliar, situados muy cerca del apoyo definitivo.

La profundidad de apoyo de los elementos de relleno de los forjados debe ser 2,5 cm como mínimo. En las paredes de carga sólo deben empotrarse elementos de relleno que no tengan huecos y que tengan como mínimo la misma resistencia que la fábrica de que está hecha la pared.

Pisos o techos compuestos de elementos prefabricados de hormigón armado

Extracto de la DIN 1045, apartados 19.1-19.7.

19.1. Construcciones hechas con elementos prefabricados de hormigón armado

Para las construcciones a base de elementos prefabricados de hormigón armado y para los elementos prefabricados mismos rigen las mismas disposiciones que para las obras y elementos constructivos correspondientes hechos con hormigón in situ, en cuanto no se citan otras prescripciones en los artículos siguientes.

En las obras a base de elementos prefabricados deben tenerse en cuenta sobre todo los principios constructivos que se exponen en el artículo 15.8.1. Los elementos prefabricados de carga o de rigidización deben unirse entre sí o en algunos casos con elementos de hormigón in situ, mediante armaduras u otras medidas adecuadas, de tal forma que ni en caso de sollicitaciones extraordinarias (asientos de la obra, fuertes trepidaciones, incendios, etc.) sufran en su estabilidad.

19.2. Exigencias generales para los elementos prefabricados

Los elementos prefabricados de hormigón armado se consideran como tales cuando proceden de un taller de construcción de piezas prefabricadas que cumple con las exigencias del artículo 5.3.

Al dimensionar las piezas prefabricadas según los artículos 17.1, a 17.5 deben tenerse en cuenta las sollicitaciones más desfavorables, que pueden producirse durante el almacenaje y el transporte (por ejemplo por posición invertida, oblicuo o lateral o por un sólo apoyo en el centro de gravedad), o bien durante la ejecución de la obra o una vez terminada ésta. Cuando un especialista que conoce sus condiciones estáticas vigila constantemente el transporte y la colocación de los elementos prefabricados, al dimensionarlos es suficiente considerar sólo las condiciones de transporte y montaje fijadas en los documentos.

Para las sollicitaciones menos favorables que pueden producirse durante el transporte de los elementos prefabricados hasta su colocación definitiva, el coeficiente de seguridad γ para el dimensionado en los casos de flexión simple y de flexión con fuerzas longitudinales según el artículo 17.2.2 puede reducirse a $\gamma = 1,3$. Elementos prefabricados con daños importantes no deben emplearse.

19.5.4. Ejecución de apoyos y juntas sometidas a compresión. En su estado definitivo, los elementos prefabricados deben apoyarse sobre mortero de cemento o sobre hormigón. Puede prescindirse de esto cuando se trata de elementos constructivos de pequeño tamaño y con pequeñas fuerzas de apoyo, por ejemplo en el caso de piezas de relleno de los forjados y de elementos prefabricados de poco grueso para cubiertas. En lugar de mortero u hormigón pueden emplearse otras capas intermedias adecuadas para repartir los esfuerzos, siempre y cuando queden excluidas las consecuencias desfavorables respecto a la estabilidad (por ejemplo absorción de tensiones de tracción transversal), la deformación, la protección acústica y la seguridad contra el incendio. El cálculo de las juntas de mortero debe realizarse según el artículo 17.3.4. La composición de mortero de cemento debe cumplir con las exigencias de artículo 6.7.1, la del hormigón, con las del artículo 6.5. Las juntas sometidas a compresión, situadas entre elementos prefabricados, deberían tener un espesor mínimo de 2 cm, para poder rellenarlas cuidadosamente con mortero u hormigón. Cuando están macizadas con mortero deben tener como mínimo 0.5 cm de espesor. Las juntas horizontales pueden tener menos espesor si el elemento prefabricado superior se coloca sobre una capa fresca de mortero, asegurando la posición en altura del elemento prefabricado mediante unos dispositivos adecuados (distanciadores).

19.6. Designación

Sobre cada elemento prefabricado debe indicarse claramente el nombre del fabricante y la fecha de ejecución. Están permitidas las abreviaturas. Habrá que marcar la posición que deben ocupar cuando exista el peligro de confundirlas. Los elementos con las mismas dimensiones, pero con distintas armaduras, diferente calidad de hormigón o distinto cubrimiento de hormigón deben designarse distintamente.

Cuando los elementos prefabricados sólo pueden transportarse en una determinada posición, por ejemplo cuando no pueden ponerse de lado, hay que indicarlo de forma adecuada, por ejemplo mediante rótulos.

19.7. Forjados, cubiertas y elementos análogos hechos con elementos prefabricados

19.7.1. Campo de aplicación y prescripciones generales

Los forjados, cubiertas y elementos análogos compuestos de elementos prefabricados pueden emplearse, siempre que más adelante no se diga nada distinto (véase también artículo 19.7.5, tabla 26).

Para sobrecargas predominantemente estáticas uniformemente repartidas (véase DIN 1055, hoja 3).

para sobrecargas estáticas aisladas cuando respecto a su distribución cumplen con el primer párrafo del artículo 20.2.5.

y para cargas de ruedas hasta 750 kg (por ejemplo, automóviles de turismo).

pero no deben emplearse para fábricas y talleres.

Para techos hechos con elementos prefabricados rigen las prescripciones suplementarias y simplificaciones de los artículos 19.7.2. a 19.7.9. Las indicaciones sobre la ejecución normal de las uniones transversales entre elementos prefabricados del artículo 19.7.5, permiten la elección de unos medios de unión transversal suficientes en función del valor de la sobrecarga y del tipo de techo.

En los forjados de construcciones a base de losas prefabricadas de pared, cada una de las losas de forjado debe tener como mínimo un ancho tal que, en un local formado por paredes de carga o de rigidización, se dispongan sólo 2 juntas como máximo. Sin embargo, el ancho de las losas de techo no debería ser menor que 2.0 m. Menores anchos sólo se permiten para descansillos de escalera, galería y elementos parecidos.

19.7.4. Losas de techo compuestas de elementos prefabricados

Un forjado compuesto de elementos prefabricados puede considerarse como losa resistente cuando en su estado definitivo forma una superficie continua y lisa, los elementos del forjado están unidos entre sí mediante juntas resistentes a la compresión, y las cargas que actúan en el plano de la losa pueden ser absorbidas mediante efectos de arco o entramado por los elementos del borde y las barras de entramado que actúan a tracción, debidamente armados para este propósito. Las barras a tracción necesarias para producir los efectos de entramado pueden estar formadas por armaduras que se colocan en las juntas situadas entre los elementos prefabricados y que se anclan, según el capítulo 18, en los elementos del borde. La armadura de los elementos del borde y de las barras de entramado a tracción deben comprobarse mediante el cálculo. En las losas de forjado que sirven para absorber las fuerzas de viento correspondientes a una planta, puede prescindirse de la colocación de

barras de tracción, siempre que la longitud del lado menor de la losa tenga 10 m como máximo y la longitud del lado mayor tenga una longitud de una vez y media mayor que la del lado pequeño como máximo, y cuando la losa está abrazada totalmente por un zunchado de hormigón armado, cuya armadura, bajo cargas de uso, pueda absorber unos esfuerzos de tracción de 3 ton como mínimo (por ejemplo, 2 barras de 12 mm de diámetro o una armadura con la misma superficie de sección). Las juntas atravesadas por tornapuntas de esta estructura resistente (arcos o entramado), deben ejecutarse según el artículo 19.4, siempre que la tensión cortante de cálculo, bajo la hipótesis de distribución uniforme, en las juntas, sea mayor de 1 kg/cm².

Losas de forjado en construcciones con paredes y techos compuestos por placas prefabricadas

En construcciones con paredes y techos compuestos por placas prefabricadas, donde no existe un esqueleto sustentante, aparte de la armadura de la losa exigida por el artículo 19.7.4.1., deben disponerse además en todas las juntas sobre tabiques de carga o de rigidización, unas armaduras que deben resistir unas fuerzas de tracción de 1.5 ton como mínimo. Estas armaduras deben enlazarse con las de la losa según el artículo 19.7.4.1. y entre sí, según las prescripciones de los artículos 18.3 y 18.4.1. Cuando las losas de forjado no cubren toda la superficie del techo de una habitación, en las juntas intermedias deben disponerse también unas armaduras que estarán dimensionadas para absorber unas fuerzas de tracción de 1.5 ton, como mínimo, y que se enlazarán con las otras armaduras según los artículos 18.3 y 18.4.1. Si estas armaduras, antes mencionadas, no pueden colocarse en línea recta debido a esquinas entrantes, debe garantizarse la transmisión de sus fuerzas de tracción con medidas adecuadas.

19.7.5. Uniones transversales entre elementos prefabricados

Sin un forjado, una rampa o un elemento constructivo parecido están compuestos por piezas prefabricadas unas al lado de otras; debe garantizarse, con unas medidas adecuadas, que no se produzcan diferencias de flecha en las juntas a causa de las diferencias de carga de cada uno de los elementos prefabricados.

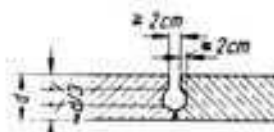
Puede suponerse sin comprobación una suficiente distribución transversal de las sobrecargas siempre que se cumplan las exigencias mínimas de la tabla 26; las necesarias medidas constructivas pueden sustituirse también por medidas aún más efectivas (por ejemplo IV en lugar de III).

En todos los demás casos debe comprobarse la transmisión de las fuerzas de cortadura en las juntas, prescindiendo de la resistencia a la tracción del hormigón (véase artículo 17.2.1) En esta comprobación tienen que suponerse las cargas en las posiciones menos favorables. En los forjados calculados bajo la hipótesis de estar sometidos a sobrecargas uniformemente repartidas, la comprobación mediante el cálculo de la unión transversal puede efectuarse para una fuerza transversal que actúe a lo largo de la junta y que tenga una magnitud igual a la sobrecarga que actúa sobre una franja de 0.5 m de ancho. La transmisión de esta fuerza a las piezas constructivas situadas a continuación normalmente no es necesario comprobarla. Sólo cuando en los forjados formados por vigas en T la junta se sitúa en la losa, debe comprobarse si el momento de voladizo, producido por la fuerza de la junta, supera el momento que se produce bajo plena carga.

Cuando se trata de elemento prefabricados inestables bajo cargas asimétricas (por ejemplo vigas en T, que no pueden resistir momentos de torsión) la unión transversal necesaria para asegurar el equilibrio debe ejecutarse de forma que resista a la flexión.

Los símbolos I a V de la tabla 26 representan, ordenados según su eficacia como medios de unión transversal, las siguientes medidas constructivas.

I Disponer en los elementos prefabricados en el lado de las juntas, unas ranuras de 2 cm de profundidad como mínimo, según la figura, y rellenarlas después con un mortero según artículo 6.7.1 o con hormigón de



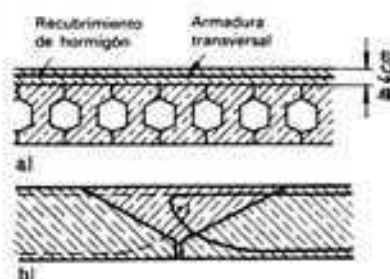
Ejemplo de junta entre elementos prefabricados.

la clase de resistencia Bn 150 como mínimo, de modo que las fuerzas transversales también pueden transmitirse sin contar con la adherencia entre el mortero y el cemento prefabricado. Cuando $p \geq 275 \text{ kg/m}^2$ debe disponerse siempre un zunchado.

Tabla 26. MEDIDAS CONSTRUCTIVAS NECESARIAS PARA LA UNIÓN TRANSVERSAL ENTRE ELEMENTOS PREFABRICADOS

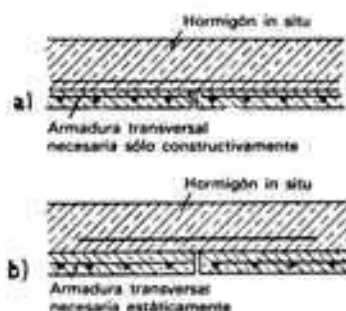
1	2	3	4	5
Tipo de techo:	Sobrecargas predominantemente en reposo:			Sobrecargas predominantemente y no predominantemente en reposo
	$p \leq 350 \text{ kp/m}^2$ 1)	$p \leq 500 \text{ kp/m}^2$	$p \leq 1000 \text{ kp/m}^2$	$p = \text{sin límite}$
	No en fábricas y talleres	Incluso en fábricas y talleres con servicio corriente	No en fábricas con servicio pesado	Incluso en fábricas y talleres con servicio pesado
1	I	II	Solo con estudio especial	
2	III	III	III	III Solo con armadura transversal continua
3	IV	IV	No admisible	
4	V	V	No admisible	
5	Ninguna medida constructiva, excepto la comprobación de que la losa actúa como losa continua y de que su unión con la viga es resistente a la flexión y al cizallamiento.			
6	Según las prescripciones para elementos constructivos de hormigón in situ.			

II Armaduras transversales según el artículo 20.1.6.3., tercer párrafo, en una capa de hormigón in situ de un espesor de 4 cm como mínimo (a) o en un elemento prefabricado con juntas a tope (b).



EJEMPLOS PARA LA DISPOSICIÓN DE UNA ARMADURA TRANSVERSAL

III Armaduras transversales según el artículo 20.1.6.3., primer párrafo, colocadas en hormigón in situ lo más cerca posible del borde inferior según el artículo 13.2. (a) o con juntas a tope según el artículo 19.7.6.



EJEMPLOS PARA LA DISPOSICIÓN DE UNA ARMADURA TRANSVERSAL

IV Nervios transversales según el artículo 21.2.2.3. Cuando las sobrecargas son mayores de 350 kg/m^2 , los nervios transversales deben dimensionarse para unas acciones en las secciones iguales a la totalidad de las acciones en las secciones de las vigas longitudinales; en caso contrario se dimensionarán para la mitad de estas acciones. Deben tener aproximadamente la misma altura que los nervios longitudinales.

V como IV; sin embargo, luces mayores de 4 m requieren por lo menos un nervio transversal.

19.7.6. Losas prefabricadas con una capa de hormigón in situ que colabora estáticamente

La capa de hormigón in situ debe tener por lo menos el mismo espesor que la losa prefabricada, con un mínimo de 5 cm. Normalmente las losas prefabricadas deberían tener un ancho de por lo menos 1,5 m. Su superficie debe ser rugosa. A no ser piezas de ajuste, las losas prefabricadas con anchos menores de 1,5 m sólo pueden emplearse cuando se coloca en el hormigón in situ una armadura transversal continua según el artículo 20.1.6.3.

En las losas que actúan en una sola dirección la armadura principal debe colocarse siempre en la losa prefabricada. La armadura transversal se dispone según el artículo 20.1.6.3. Puede colocarse en la losa prefabricada o en el hormigón in situ. Cuando está colocada en la losa prefabricada, debe tener uniones en las juntas entre las losas según los artículos 18.3 y 18.4.1., por ejemplo mediante la colocación de barras de armadura adicionales en el hormigón in situ o de barras allí ancladas con longitudes de solape l_{sa} en ambos lados según el artículo 18.4.1.2. Si la armadura transversal se coloca en el hormigón in situ, también en la losa prefabricada debe disponerse una armadura transversal mínima según el artículo 20.1.6.3, tercer párrafo. Cuando las losas actúan en dos direcciones, la armadura correspondiente a una de ellas se colocará en la losa prefabricada, y la correspondiente a la otra dirección se colocará en el hormigón in situ. En el cálculo de la sección de estas losas no deben considerarse los efectos favorables de una rigidez a torsión.

En las losas prefabricadas al tamaño de una habitación, la armadura en las dos direcciones puede disponerse en la losa prefabricada. Respecto a la comprobación de la resistencia a los esfuerzos cortantes que se producen entre la losa prefabricada y el hormigón in situ véase el artículo 19.7.2.

PISOS O TECHOS DE LOSAS

DIN 1045 Apartado 10.1. Espesores mínimos de losas

a) en general	7 cm
b) para losas con tránsito de automóviles para vehículos pesados	10 cm 12 cm
c) para losas que se pisan pocas veces, por ejemplo, sólo para trabajos de limpieza y reparaciones, como ocurre en las losas de tejado	5 cm

ARMADURA PRINCIPAL EN UNA SOLA DIRECCIÓN

Piso hormigonado en obra

Losa de hormigón macizo con armadura de barras aisladas
o de tejido metálico¹⁾, hormigonada sobre encofrado cerrado.

Valores de aislamiento de una losa de hormigón ordinario

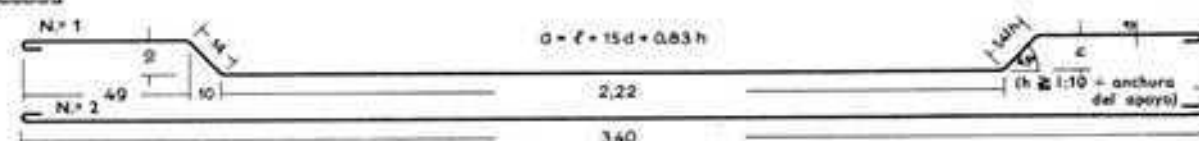
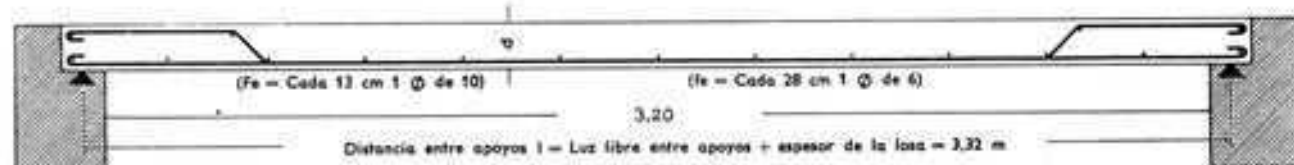
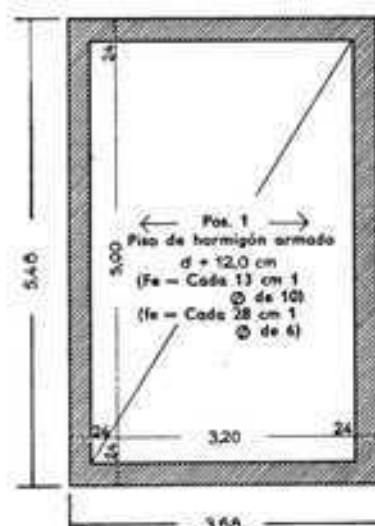
$\gamma = 2500 \text{ kg/m}^3$ B 250, con 312 kg/m^3 :

Protección contra sonido aéreo = 1 dB

Protección contra ruido pisadas = 16 dB

Forjados del grupo I DIN 4109

Coefficiente de aislamiento térmico = $0,15 \frac{\text{m}^2 \text{h}^\circ\text{C}}{\text{kcal}}$



En las barras de la armadura principal sólo se requiere un tipo de curvado



LISTA DE HIERROS						
Núm.	Pieza	Ø	Forma	Longitud	Longitud total	Peso kg/m
1	20	10		3,63	72,60	0,62
2	31	10		3,55	74,55	0,62
3	17	6		5,28	89,76	0,22
+ 5% de recortes						5,55
Peso total						116,53

Valores mínimos exigidos por la Policía de Obras para pisos y techos:

Protección contra sonido aéreo mínimo 0 dB

Protección contra ruido pisadas mínimo 0 dB

Coefficiente de aislamiento térmico: $\geq 0,73 \frac{\text{m}^2 \text{h}^\circ\text{C}}{\text{kcal}}$

Observación

2. La representación de la armadura, el dimensionado y la forma de los ganchos tienen su base en el acero I, todavía poco corriente

1) Baustahlgewebe GmbH, Düsseldorf.

19.7.7. Techos de vigas con elementos de relleno y sin ellos

Los techos de vigas se componen de vigas, parcial o totalmente prefabricadas, que se colocan a una distancia entre ejes de 1,25 m como máximo, y de unos elementos intermedios, que no colaboran estáticamente en la dirección longitudinal de las vigas. También puede tratarse de techos de vigas sin estos elementos intermedios o de relleno, por ejemplo techos compuestos por elementos prefabricados de hormigón armado, colocados inmediatamente unos al lado de otros.

Cuando los extremos por los que se apoyan las vigas quedan debajo de paredes que cargan sobre ellos (excepto si son tabiques ligeros según la DIN 4103) y la distancia luz entre las almas de las vigas es menor que 25 cm, los huecos entre las vigas, en los apoyos, deben llenarse con hormigón, no con fábrica de ladrillo. Las vigas con aleta superior y las vigas huecas deben fabricarse por consiguiente de modo que en toda la parte que va sobre el apoyo la sección sea completamente maciza o bien deben ejecutarse de tal forma que, quitando por ejemplo una parte de la aleta superior, el espacio en los apoyos, entre las almas, pueda rellenarse con hormigón, una vez colocadas las vigas. El hormigón que se añade in situ para aumentar por los lados el área de la zona de compresión, puede considerarse en el cálculo para la absorción de cargas como colaborando estáticamente hasta un ancho de vez y media el espesor del techo y no mayor que 35 cm, siempre que el hormigón in situ tenga la resistencia a compresión de un hormigón Bn 150 como mínimo, y la viga tenga la superficie suficientemente rugosa para asegurar la adherencia con el hormigón añadido. Respecto a la unión entre las vigas prefabricadas y hormigón in situ véase el artículo 19.7.2.

19.7.8. Techos nervados de hormigón armado con nervios parcial o totalmente prefabricados

Prescripciones generales

Respecto a las definiciones y a las sobrecargas admisibles véase el artículo 21.2.1. Las piezas prefabricadas que forman los techos nervados deben llevar un nervio en cada borde transversal y en cada borde longitudinal.

Techos nervados de hormigón armado con elementos intermedios que colaboran estáticamente

Las juntas a tope entre los elementos intermedios que colaboran estáticamente (véase su definición en el artículo 2.1.3.8.) deben rellenarse cuidadosamente con hormigón, a la vez que con los nervios longitudinales. En los techos nervados (véase el artículo 21.2.) con elementos intermedios que colaboran estáticamente, una capa de compresión de hormigón in situ, situada encima de los elementos intermedios, no debe tomarse en consideración en el cálculo de la estructura. Como sección eficaz a compresión intervienen las secciones comprendidas en la zona de compresión de los elementos de hormigón armado, del hormigón in situ y de las partes que colaboran estáticamente en la zona a compresión y que se rellenan adicionalmente con mortero. Para el espesor de la losa de compresión debe tomarse en el cálculo la medida s_1 (véase DIN 4158 y DIN 4159); para el espesor del alma, en el dimensionado respecto a la flexión se toma sólo el ancho del nervio de hormigón; y para el dimensionado respecto a los esfuerzos cortantes, el ancho del nervio de hormigón más 2,5 cm.

Cuando en un tramo donde la zona de compresión está en la parte inferior y los elementos intermedios se consideran en el cálculo como colaborando estáticamente, sólo deben emplearse elementos que tengan

Tabla 27: RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN DE LOS ELEMENTOS INTERMEDIOS Y DEL HORMIGÓN

	1	2	3
	Clase de resistencia del hormigón en los nervios y juntas a tope	Resistencia a la compresión necesaria de los elementos intermedios según	
		DIN 4158	DIN 4159
		kg/cm ²	kg/cm ²
1	Bn 150	200	225
2	Bn 250	—	300

juntas a tope totalmente rellenables con mortero según DIN 4158, o bien placas de encofrado inferior de forma GM según la DIN 4158. En la transición con este tramo deben encofrarse las partes abiertas de las secciones de los elementos intermedios de hormigón que alcanzan todo el espesor del techo. Las placas de encofrado deben poseer también juntas a tope que puedan rellenarse por completo con mortero. En estos casos las juntas a tope deben rellenarse con hormigón con especial cuidado. La altura estáticamente útil de los techos nervados debe reducirse en este tramo, para el cálculo, en 1 cm.

Según el apartado 17, el dimensionado debe realizarse de tal forma, como si toda la losa de compresión que colabora estáticamente fuera de hormigón de la clase de resistencia que indica la tabla 27, columna 1. Respecto a la colaboración entre hormigón in situ y los elementos prefabricados debe tenerse en cuenta el artículo 19.4.

La armadura mínima transversal según el artículo 21.2.2.1, debe colocarse en las juntas a tope situadas entre los elementos intermedios. Respecto a los nervios transversales véase el artículo 21.2.2.3.

19.7.9. Planchas huecas de hormigón armado

En las planchas huecas de hormigón armado (dimensionado mínimo, véase artículo 19.3.3, con anchos hasta 50 cm y sobrecargas hasta 350 kg/m² puede prescindirse de la armadura transversal y de los estribos) la tensión de cizallamiento no debe exceder los valores de la tabla 14, línea 1b.

19.7.10. Techos prefabricados de cerámica armada

Cuando un techo se compone de varias franjas prefabricadas de cerámica armada, hay que tomar precauciones para que la unión lateral entre estas franjas sea equivalente a lo indicado en el artículo 19.7.5.

20.1. Losas

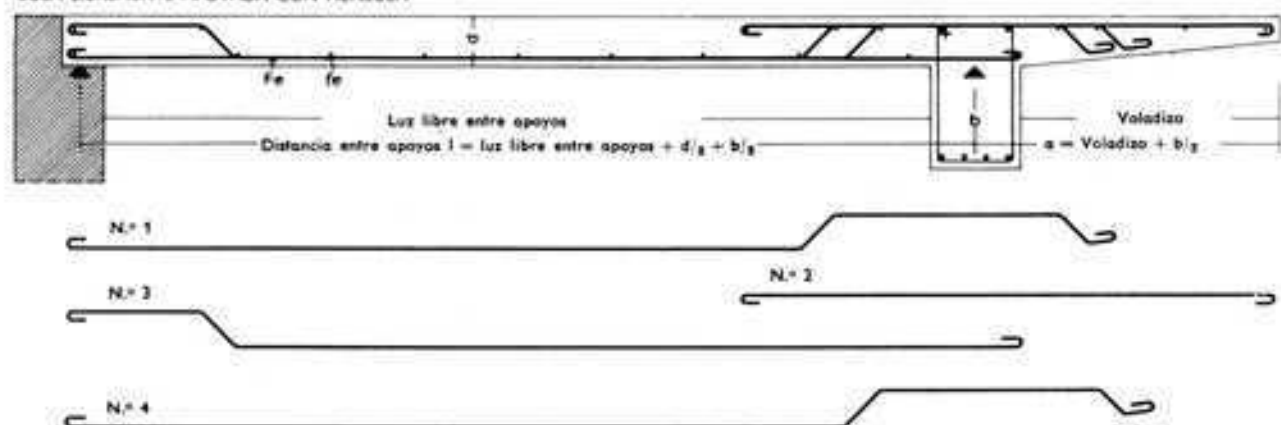
Las losas son estructuras bidimensionales planas sometidas a cargas que actúan transversalmente a su plano; pueden tener apoyos lineales o puntiformes.

La forma y la disposición de los apoyos, lineales o puntiformes determinan magnitud y dirección de los esfuerzos que actúan en las secciones. Los artículos siguientes se refieren a losas rectangulares. Para losas de forma distintas (por ejemplo losas oblicuángulas o circulares), con apoyos lineales continuos, estas prescripciones deben aplicarse con las correspondientes modificaciones. Respecto a las placas con apoyos puntiformes y las placas con apoyos mixtos en la zona de apoyos puntiformes véase también el capítulo 22 "Techos sobre columnas de cabeza de hongo".

Según su actuación estática se distingue entre losas resistentes en una sola dirección y losas resistentes en dos direcciones.

Las losas resistentes en una sola dirección absorben sus cargas principalmente en una dirección (dirección en que actúa el forjado). Las solici-

LOSA LIBREMENTE APOYADA CON MENSULA



taciones transversales a esta dirección, que se producen a causa de la imposibilidad de dilatarse transversalmente, del reparto transversal de cargas aisladas o lineales o de la existencia de un apoyo paralelo a la dirección en que actúa el forjado que no se consideró en el cálculo, no es necesario comprobarlas. Sin embargo, estas solicitaciones deben tenerse en cuenta mediante medidas constructivas adecuadas. En las losas que actúan en una sola dirección debe disponerse una armadura transversal cuya sección debe tener como mínimo un 20% de la armadura principal necesaria para las cargas uniformemente repartidas en el tramo. Cuando la armadura transversal está constituida por un acero de clase distinta al de la armadura principal, debe mayorarse su sección en un valor igual a la inversa de la relación de sus límites de fluencia. Pero como mínimo deben disponerse por metro, con BSt 22/34 (I), 3 barras de diámetro $d_s = 7$ mm; con BSt 42/50 (III), tres barras de diámetro $d_s = 6$ mm; y con BSt 50/55 (IV), cuatro barras de diámetro $d_s = 4$ mm, o bien un mayor número de barras más delgadas que den la misma sección total por metro lineal.

Normalmente esta armadura transversal es suficiente para absorber las tensiones transversales por tracción según el artículo 18.3.1. En las zonas de los apoyos intermedios de las losas continuas debe colocarse una adecuada armadura transversal superior.

En las placas que actúan en las dos direcciones, las acciones se consideran en ambas direcciones para los efectos sustentantes. Las placas rectangulares apoyadas por sus cuatro bordes (cuya mayor dimensión no excede al doble de la dimensión más pequeña, así como placas apoyadas por tres de sus bordes o las placas apoyadas por dos bordes adyacentes) deben calcularse y ejecutarse generalmente como placas de dos crujeles.

Para simplificar el sistema estático pueden calcularse como losas actuantes en una sola dirección, siempre que las solicitaciones que se producen por los efectos sustentantes de que se ha prescindido se absorben mediante una adecuada armadura constructiva.

Respecto a las luces entre apoyos véase el apartado 15.2.

Respecto a los elementos prefabricados véase parágrafo 19; en particular, para las losas prefabricadas con capa de hormigón in situ estática-

mente activa, el artículo 19.7.6; para los techos de vigas con elementos de relleno o sin él, el artículo 19.7.7.

20.1.2. Apoyos

La profundidad de apoyo debe dimensionarse de tal forma que no se excedan las compresiones admisibles en la superficie de apoyo y de tal manera que se pueden disponer las necesarias longitudes de anclaje de la armadura.

Esta profundidad debe tener como mínimo, en apoyos

- sobre fábrica de ladrillo y hormigón Bn 50 o Bn 100 7 cm
- sobre elementos constructivos de hormigón Bn 150, Bn 550 y sobre acero 5 cm
- sobre vigas de hormigón armado o acero, si se impide el desplazamiento lateral de los apoyos mediante medidas constructivas y el lado apoyado de la losa es mayor que 2,50 m 3 cm

Sobre apoyos inclinados no se admiten apoyos sin amortecer.

15.2. Luces entre apoyos

Cuando la luz entre apoyos no está determinada claramente mediante el tipo de apoyo (por ejemplo apoyos basculantes o puntuales) se considera como luz entre apoyos:

- Si se admite que el apoyo permite que el extremo de la viga gire libremente en el plano vertical, se tomará como luz entre apoyos la distancia entre los puntos situados a una distancia del borde del apoyo igual al tercio de la profundidad del mismo (centro de gravedad del diagrama de presiones sobre el apoyo, supuesto que tal diagrama es triangular); o bien, si las longitudes de los apoyos son muy grandes, la distancia libre entre los apoyos aumentada en un 5%. Se tomará el menor de estos valores.
- Cuando los apoyos son empotrados se tomará como luz entre apoyos la distancia entre los puntos medios de los apoyos o la distancia libre aumentada en un 5%. Se tomará el menor de estos valores.
- En elementos constructivos continuos se tomará la distancia entre los centros de los apoyos, soportes o jácenas.

ARMADURA PRINCIPAL CRUZADA (LOSAS APOYADAS EN TODO SU PERÍMETRO)

(DIN 1045 § 23).

(Losas armadas en dos direcciones cruzadas).

Pisos o techos de hormigón hecho en obra.

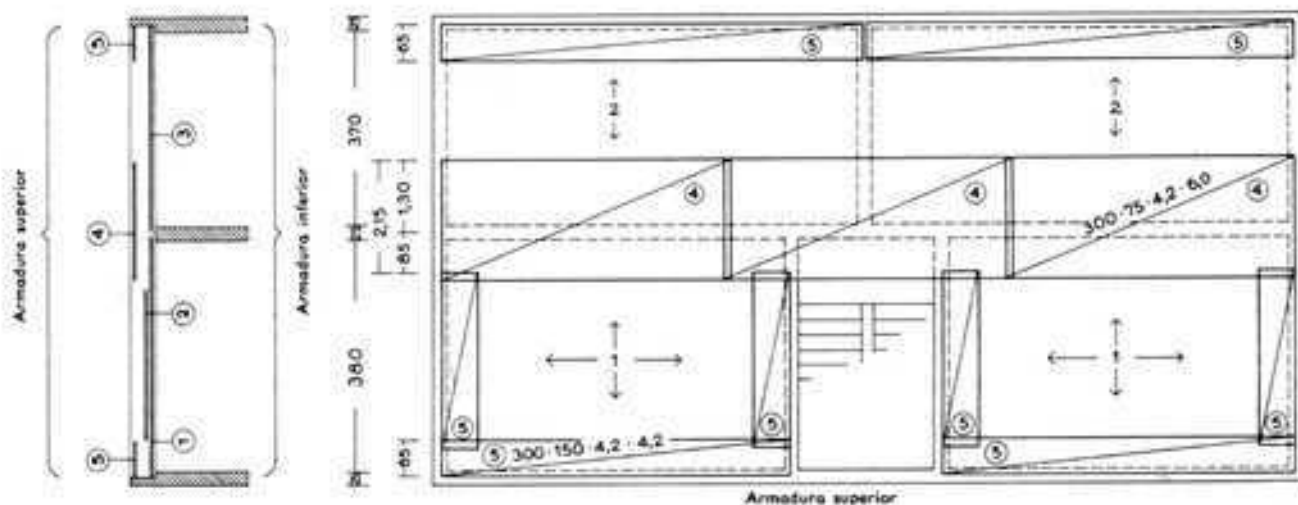
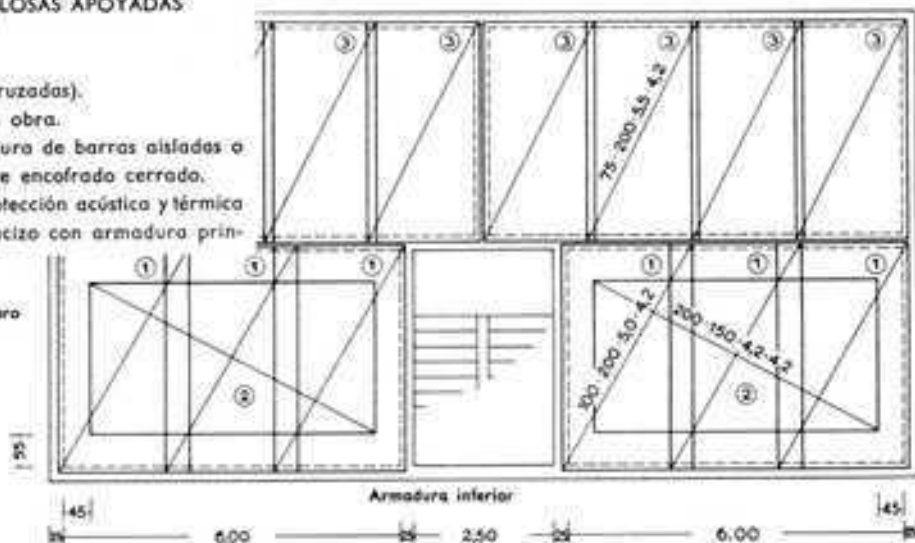
Losa de hormigón macizo con armadura de barras aisladas o de tejido metálico, hormigonado sobre encofrado cerrado.

Espesores mínimos y valores de la protección acústica y térmica como en las «Losas de hormigón macizo con armadura principal en una sola dirección».

Armado de pisos con tejido de varilla de acero

Tramo 1
Armadura principal cruzada

Tramo 2
Armadura principal en una sola dirección



LISTA DE TEJIDOS METÁLICOS PARA ARMADURAS

Parte de la obra	Situación	Piezas	Tejido metálico				Longitud	Anchura	Sup. total	Peso						
			Distancia entre barras		Diámetro de las barras					unif.	total					
			long.	trans.	long.	trans.						kg/m ³	kg			
mm												m	m	m ²		
Techo sobre planta baja																
Armadura de trazo (cara inferior)																
Tramo 1	1	6	100	200	5,0	4,2	4,05	2,35	57,11	2,08	118,79					
Tramo 1	2	2	200	150	4,2	4,2	5,15	2,45	25,24	1,27	32,05					
Tramo 2	3	8	75	200	5,5	4,2	3,90	2,00	62,40	3,02	188,45					
Armadura sobre apoyos (cara superior)																
Apoyos 1-2	4	3	300	75	4,2	6,0	5,15	2,15	33,22	3,32	110,29					
Borde	5	3	300	150	4,2	4,2	4,55	1,95	26,62	1,23	32,74					
											482,32					

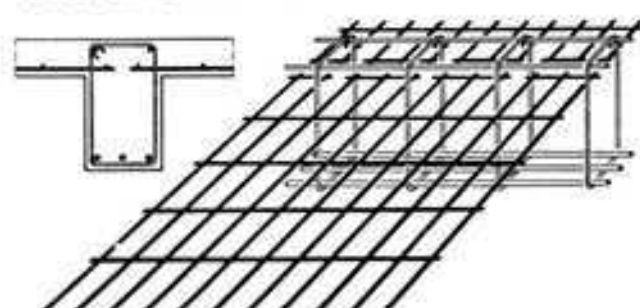
Distanciadore para armadura superior



para armadura inferior



VIGA DE HORMIGÓN ARMADO PARA SUSTENTACIÓN DEL PISO



Otros elementos constructivos a modo de losas, según DIN 1045

Extracto de los parágrafos 20.2.; 20.3.; 22.

20.2. Techos de cerámica armada

20.2.1. Definición

Los techos de cerámica armada son techos compuestos por bovedillas cerámicas, hormigón o mortero de cemento, y hormigón armado, en los que dichos materiales deben actuar conjuntamente para absorber los esfuerzos que se producen en las secciones. El mortero de cemento debe compactarse como el hormigón.

Los techos de cerámica armada se construyen con bovedillas cerámicas de una resistencia a la compresión en dirección de las barras de 225 kg/cm² o 300 kg/cm² según DIN 4159, y con hormigón de la clase de resistencia Bn 150. La distancia entre los ejes de las barras de la armadura debe ser de 25 cm como máximo.

Los techos de cerámica armada sólo se calcularán como losas resistentes en una sola dirección.

Se aplican para ellos las prescripciones del apartado 20.1., siempre que a continuación no se diga lo contrario. Los techos de cerámica armada que cumplen con las prescripciones de este apartado se consideran como techos con suficiente reparto transversal de cargas en el sentido de la DIN 1055, hoja 3.

20.2.2. Campo de aplicación

Los techos de cerámica armada pueden emplearse para las sobrecargas uniformemente repartidas y predominantemente estáticas, indicadas en a), b), y c), según DIN 1055, hoja 3; y para techos o pisos con cargas de automoviles sólo de turismo. Los techos con armadura transversal según b) y c) también pueden emplearse en fábricas y talleres con servicio ligero.

- $p \leq 350 \text{ kg/m}^2$ incluso en los pasillos correspondientes en techos sin armadura transversal, amortecidos parcial o totalmente
- $p \leq 500 \text{ kg/m}^2$ en techos parcialmente amortecidos y con armadura mínima transversal superior, según el artículo 20.1.6.3., colocada en las juntas entre las piezas que componen las bovedillas
- $p = \text{sin límite}$ en techos completamente amortecidos con armadura transversal mínima inferior según el artículo 20.1.6.3., colocada en las juntas entre las piezas que componen las bovedillas.

20.2.3. Apoyos

Respecto a la profundidad de los apoyos véase el artículo 20.1.2. Cuando los techos de cerámica armada llevan encima de los bordes por donde se apoyan unas paredes que cargan sobre ellos (excepto si son tabiques ligeros, según DIN 4103) los apoyos de los techos deben hacerse con hormigón de la clase de resistencia Bn 150 como mínimo. Cuando los techos se apoyan sobre vigas de acero, la franja de apoyo sobre las aletas inferiores debe ser completamente de hormigón. Si se disponen acatelmientos en los apoyos, deben ejecutarse simultáneamente con el techo de cerámica armada. Los acatelmientos altos y esbeltos habrá que armarlos.

20.2.4. Espesor de techo

El espesor de los techos de cerámica armada debe ser como mínimo de 9 cm.

20.2.7. Ejecución

Las bovedillas deben colocarse sin amortecer, dejando juntas a tope continuas. Antes de verter el hormigón deben estar suficientemente humedecidas para que absorban poca agua del hormigón o mortero. Debe cuidarse el completo relleno de las juntas y nervios, especialmente cuando la zona de compresión está situada en la parte inferior.

En las partes donde la zona de compresión está en el lado inferior, deben emplearse bovedillas con una junta a tope completamente rellenable con mortero, según DIN 4159, a no ser que allí se empleen piezas de hormigón en vez de bovedillas cerámicas. Debe impedirse, con medidas adecuadas, que el hormigón penetre en los huecos de las bovedillas, a fin de que puede conseguirse una suficiente compactación del hormigón y de que no se exceda el peso de cálculo del techo.

Los techos de cerámica armada situados entre vigas metálicas sólo pueden considerarse como techos continuos cuando sus cantos superiores quedan 4 cm como mínimo sobre el canto superior de la viga metálica, de modo que las armaduras superiores pueden llevar suficiente recubrimiento de hormigón.

20.3. Hormigón armado, con bloques de vidrio

20.3.1. Definiciones y campo de aplicación

Se trata de un material de construcción compuesto por hormigón, bloques de vidrio y acero para hormigón armado, materiales que deben actuar conjuntamente para poder absorber los esfuerzos que actúan en las secciones.

Para el hormigón armado con bloques de vidrio se aplican las mismas prescripciones que para las losas de hormigón armado, siempre que en los artículos siguientes no se diga nada en contra. Los bloques de vidrio deben satisfacer a la DIN 4243.

Los elementos de hormigón armado con bloques de vidrio sólo pueden emplearse para cierras contra la atmósfera (claraboyas, cubiertas de patios de luz, etc.) con una sobrecarga de 500 kg/m² como máximo, y, en general, sólo se usan para elementos sometidos predominantemente a flexión. Sin embargo, también los elementos constructivos que limitan espacios pueden ejecutarse con hormigón armado con bloques de vidrio, cuando se emplean piezas de vidrio de forma cilíndrica que alcanzan todo el espesor. No deben emplearse para pasajes ni para techos transitable para vehículos.

Cuando, en casos especiales, debe circularse sobre elementos constructivos de hormigón armado con bloques de vidrio, sólo pueden emplearse bloques de vidrio según la DIN 4243, tabla 1, forma C. Sin embargo, estos elementos no debe considerarse que colaboran estáticamente.

Los elementos de hormigón armado con bloques de vidrio pueden emplearse con hormigón in situ o en forma de elementos prefabricados. Respecto a esto véase el párrafo 19, en particular el artículo 19.7.9.

20.3.2. Exigencias mínimas, disposición constructiva y ejecución

Los bloques de vidrio deben colocarse directamente sobre el hormigón, sin capas intermedias de materiales elásticos como asfalto, etc., de modo que esté garantizada una suficiente adherencia entre vidrio y hormigón.

Los bloques de vidrio huecos deben alcanzar todo el espesor de la losa. Cuando son estructuras que actúan en una sola dirección, los nervios de hormigón deben tener una altura de 6 cm, como mínimo; cuando son estructuras que actúan en dos direcciones, deben tener como mínimo 8 cm; y a la altura de la armadura debe tener un ancho de 3 cm como mínimo.

En todos los nervios longitudinales y transversales debe colocarse como mínimo un redondo de armadura de un diámetro mínimo de 6 mm. Los elementos de hormigón armado con bloques de vidrio deben llevar siempre una viga anular periférica con armadura anular cerrada. Esta viga puede quedar incluida dentro de un elemento de hormigón armado continuo. El ancho y el espesor de la viga deben ser, como mínimo, iguales al espesor del elemento constructivo. La armadura anular debe tener la misma sección que la de los nervios longitudinales. Las armaduras de todos los nervios deben alcanzar hasta las caras exteriores de la viga anular periférica.

Los elementos constructivos de hormigón armado con bloques de vidrio deben protegerse mediante medidas especiales, por ejemplo mediante juntas elásticas, contra las considerables fuerzas de coacción que se producen en la construcción.

22. Techos sobre columnas de cabeza de hongo

Estos techos están constituidos por losas sustentadas directamente por pilares sin capitel o con él, y unidas rígida o articuladamente con los pilares. Todas las losas que no cumplen estas condiciones no se consideran según la norma como techos de este tipo.

22.2. Dimensiones mínimas

Las losas deben tener un espesor mínimo de 15 cm.

Para los pilares se aplica el artículo 25.2.

22.5. Seguridad al punzonamiento

22.5.1.1. Techos sobre columnas de cabeza de hongo sin capitel

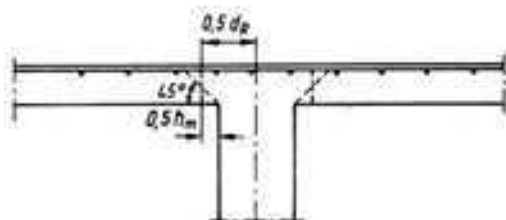
Para comprobar la seguridad de la losa al punzonamiento deben hallarse los mayores esfuerzos cortantes en una sección anular (véanse figura 55 de la norma), según la fórmula (43)

$$\tau_{\text{an}} = \frac{\text{máx. } Q_{\text{a}}}{u \cdot h_{\text{m}}} \quad (43)$$

donde representan

- máx. Q_{a} la mayor fuerza transversal en la sección anular del pilar
- u u_{s} para pila. es centrales $0,6 u_{\text{s}}$ para pilares en el borde
- $0,3 u_{\text{s}}$ para pilares en las esquinas
- u_{s} el perímetro de la sección circular de diámetro d_{a}
- d_{a} $d_{\text{s}} + h_{\text{m}}$
- d_{s} el diámetro de los pilares circulares
- d_{s} $1,13 \sqrt{b \cdot d}$, d en el caso de pilares rectangulares con los lados de longitudes b y d ; no debe aplicarse en el cálculo para el lado mayor un valor mayor que vez y media al lado menor
- h_{m} Canto útil de la losa en la sección circular considerada. Valor medio de las dos direcciones

En la fórmula (43) también debe sustituirse u por u_{s} cuando la distancia entre el eje de un pilar perimetral y el borde de la losa es, como mínimo, de $0,5 l_{\text{s}}$ o $0,5 l_{\text{sv}}$, respectivamente. Cuando esta distancia es menor, pueden adaptarse para u unos valores obtenidos por interpolación lineal.



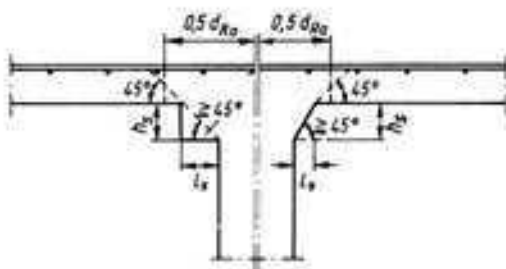
TECHO SOBRE COLUMNAS DE CABAÑA DE HONGO SIN CAPITEL

En el cálculo de τ_{a} debe tenerse en cuenta el efecto que producen los esfuerzos de flexión que no tienen simetría radial de la placa. Cuando existen las condiciones supuestas en el método de aproximación según el artículo 22.3.1., puede prescindirse de una determinación exacta en el caso de los esfuerzos de flexión que resultan en los pilares de borde por una carga perpendicular uniformemente repartida, siempre que se mayor la tensión de cizallamiento dada por la ecuación (43) en un 40%. En el caso de los pilares centrales puede prescindirse en este caso del estudio de los esfuerzos de flexión, por consiguiente puede calcularse con τ_{a} .

22.5.1.2. Techos sobre columnas de cabeza de hongo con capitel

a) Cuando se dispone un capitel, cuyo saliente es de $l_{\text{s}} \leq h_{\text{s}} \leq h_{\text{a}}$ (véase fig. 56 de la norma), no es necesaria en la zona del capitel una comprobación de la seguridad al punzonamiento. Según el artículo 22.5.1.1, τ_{a} debe calcularse para la parte de la losa que cae fuera del capitel, en una sección circular con el diámetro d_{a} según la figura 56. Para hallar u rigen las prescripciones del artículo 22.5.1.1. con

$$d_{\text{a}} = d_{\text{s}} + 2 l_{\text{s}} = h_{\text{m}} \quad (44)$$



TECHO SOBRE COLUMNAS DE CABAÑA DE HONGO CON CAPITEL SEGÚN EL PÁRRAFO a) CON $l_{\text{s}} \leq h_{\text{a}}$

Para pilares de sección rectangular con lados de longitudes b y d ,

$$d_{\text{a}} = h_{\text{m}} + 1,13 \sqrt{(b + 2 l_{\text{sv}})(d + 2 l_{\text{sv}})} \quad (45)$$

l_{s}
 l_{sv} y l_{sv}

Saliente del capitel en los pilares circulares.

Salientes del capitel en las dos direcciones, en los pilares rectangulares.

En la ecuación (45) no debe tomarse para el paréntesis de mayor valor más que vez y media el valor del paréntesis de valor más pequeño.

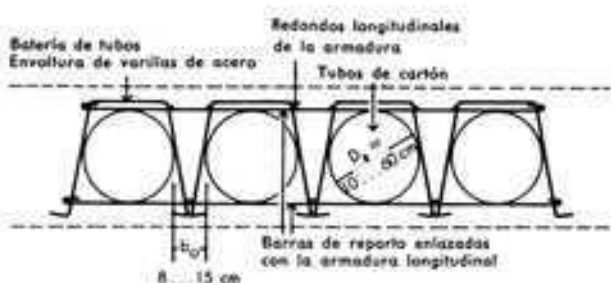
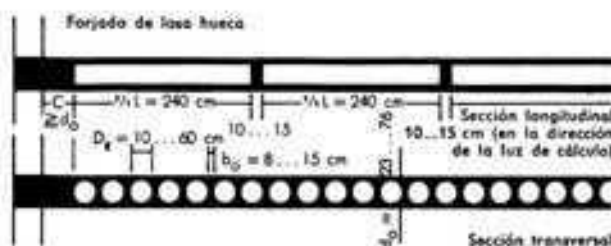
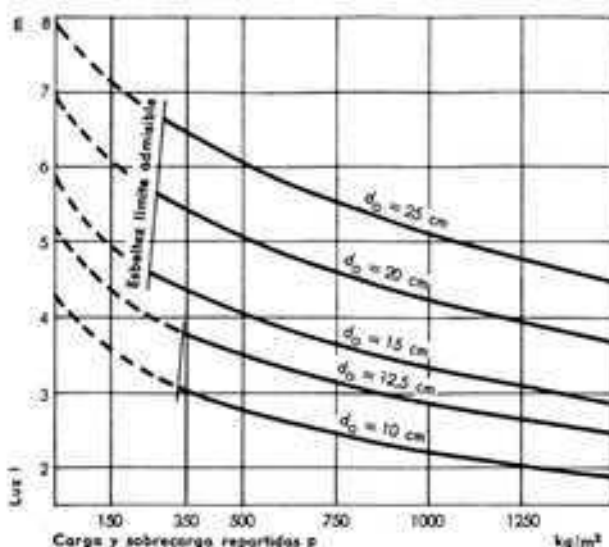
b) Cuando se dispone un capitel cuyo saliente es $l_{\text{s}} > h_{\text{s}}$ y $l_{\text{s}} \leq 1,5 (h_{\text{m}} + h_{\text{s}})$ los esfuerzos cortantes τ_{a} de cálculo deben determinarse como si fuera, según el párrafo a), $l_{\text{s}} = h_{\text{s}}$.

c) Cuando se dispone un capitel cuyo saliente es $l_{\text{s}} = 1,5 (h_{\text{m}} + h_{\text{s}})$, debe determinarse p_{p} tanto en la parte del capitel como en la parte de la losa que queda fuera de él. Para ambas secciones circulares debe comprobarse la seguridad al punzonamiento por desgarramiento (cortadura).

LOSA MACIZA DE HORMIGÓN ARMADO

ESPESOR DE LA LOSA d QUE CORRESPONDE A LA LUZ l Y A LA CARGA p TENIENDO EN CUENTA EL CANTO ÚTIL MÍNIMO h ESTABLECIDO POR LA NORMA DIN 1045

B 225 $\sigma_b = 80 \text{ kg/cm}^2$ Grupo de calidad del hormigón BST IVb



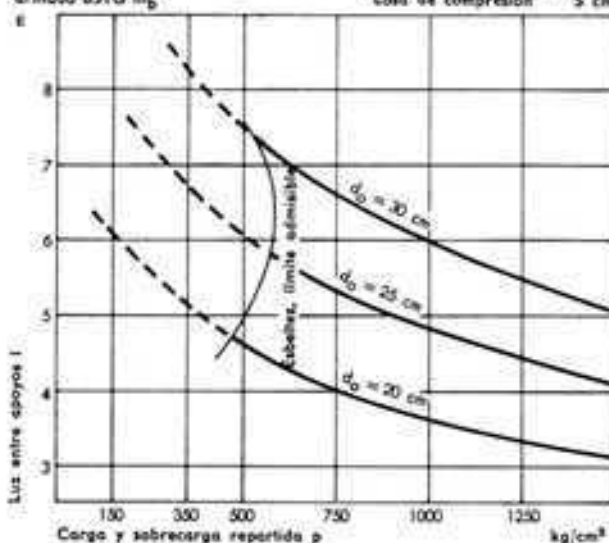
LOSA NERVADA DE HORMIGÓN ARMADO

ESPESOR d DE LA LOSA CORRESPONDIENTE A LA LUZ l Y UNA CARGA p TENIENDO EN CUENTA EL CANTO MÍNIMO h ESTABLECIDO POR LA NORMA DIN 1045

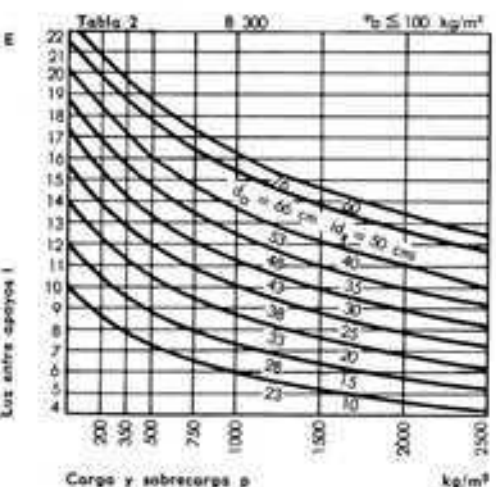
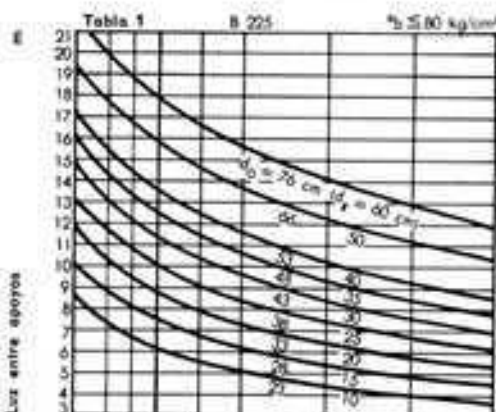
B 225 $\sigma_b = 70 \text{ kg/cm}^2$

Grupo de calidad del hormigón armado BSTG IIIb

Distancia entre nervios 50 cm
Losa de compresión 5 cm



ESPESOR TOTAL DE UN FORJADO DE LOSA CON HUECOS TUBULARES ($\sigma_b = 1400 \text{ kg/cm}^2$)



LOSAS ARMADAS HUECAS

Forjado de la casa Baustahlgewebe-GmbH

Espeor total ≥ 23 hasta 76 cm

Diámetro de los huecos cilíndricos ≥ 10 hasta 60 cm

Longitud del módulo $l/L = 2,40 \text{ m}$

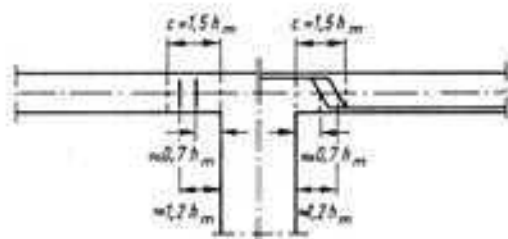
Los huecos (tubos de cartón) antes de hormigonar se rodean como de una cesta formada con varillas entrelazadas que los unen en batería y los enlazan con la armadura resistente fijando, asimismo, su posición dentro del encofrado.

En lugar de tubos huecos pueden emplearse también plásticos esponjados como material de relleno.

Téngase en cuenta el canto útil mínimo según la norma DIN 1045, véase página 257. Para solado y mortero de igualación hay que contar con $g_1 = 100 \text{ kg/m}^3$ de carga repartida

22.6. Huecos en el forjado

Cuando se desea disponer huecos en zonas del forjado donde según la figura 58 debe colocarse una armadura que resista a los esfuerzos cortantes, sus dimensiones en planta, en dirección tangencial en el caso de pilares circulares, o en las direcciones de los lados en el caso de pilares rectangulares, no deben ser mayores que $1/3 d_v$ [véase el significado en la explicación de la ecuación (43)], y la suma de las superficies de los huecos no debe exceder a un cuarto de la sección del pilar. La distancia entre dos huecos, en el caso de pilares circulares, debe ser como mínimo d_v , medida en la periferia del pilar. En pilares de sección rectangular los huecos sólo pueden disponerse en el tercio central del lado mayor y, como máximo, en dos caras opuestas.



TECHO SOBRE COLUMNAS DE CABEZA DE HONGO SIN CAPITEL EN EL CASO DE EXISTIR EL PELIGRO DE PERFORACIÓN (EJEMPLO DE ARMADURA RESISTENTE A LOS ESFUERZOS CORTANTES)

La tensión transversal $\tau_{\perp}$ hallada según la ecuación (43) debe mayorarse en un 50%, siempre que se alcanza el máximo admisible de la suma de las superficies de los huecos. Cuando la suma de las superficies de huecos es menor que un cuarto de la sección del pilar, puede reducirse proporcionalmente el aumento de $\tau_{\perp}$.

Vigas, vigas en T y forjados nervados

Extracto de la DIN 1045, apartados 21.1., 21.2.

21.1. Vigas en general y vigas en T

Las vigas son barras de cualquier sección, sometidas predominantemente a flexión.

Las vigas en T son elementos de carga en forma de barra, compuestos de losa y nervio que actúan conjuntamente, mediante una unión apta para transmitir esfuerzos, para absorber los esfuerzos que actúan en sus secciones. Pueden utilizarse en forma de vigas individuales o como forjados de vigas en T.

Para la profundidad de apoyo de vigas rectangulares y vigas en T se aplica la primera parte del artículo 20.1.2.; sin embargo, debe tener 10 cm como mínimo. El espesor de la losa de las vigas en T se determina según el artículo 20.1.3.; sin embargo, como mínimo debe tener 7 cm.

Cuando se trata de elementos constructivos muy esbeltos debe tenerse en cuenta la seguridad al pandeo y al abollamiento.

21.1.2. Armadura

En las vigas corrientes y en las almas de las vigas en T que tienen un canto mayor de 1 m deben disponerse cerca de las caras laterales unas barras longitudinales que se distribuirán en toda la altura de la zona de tracción. La sección total de este refuerzo debe tener como mínimo un 8 % de la sección de la armadura que actúa a flexo-tracción. Esta armadura puede considerarse como formando parte de la armadura a tracción cuando se tiene en cuenta su distancia a la fibra neutra, y cuando está ejecutada según el artículo 18.5.2.

21.2. Forjados nervados de hormigón armado

21.2.1. Definiciones y campo de aplicación

Estos forjados son techos que se componen de vigas en T con una luz máxima entre los nervios de 70 cm, en los cuales no se precisa una comprobación estática para la losa. Debajo de la losa pueden colocarse, entre los nervios, unos elementos intermedios según DIN 4158 o DIN 4160 que no actúan estáticamente. En lugar de la losa pueden disponerse parcial o totalmente elementos intermedios según DIN 4158 o DIN 4159 o bovedillas cerámicas según DIN 4159, que actúen en la dirección de los nervios. Se admiten estos forjados para sobrecargas de $p \leq 500 \text{ kg/m}^2$ e incluso para fábricas y talleres con servicio normal, pero no están permitidos para techos transitados por vehículos de mayor peso que los coches de turismo. Las cargas aisladas mayores de 750 kg

deben transmitirse directamente a los nervios mediante sistemas constructivos adecuados (por ejemplo, nervios transversales).

Respecto a los forjados nervados con nervios total o parcialmente prefabricados véase el artículo 19.7.8., que rige también para los casos comprendidos en el apartado 21.2., cuando a continuación no se diga nada en contra.

21.2.2. Forjados nervados de hormigón armado

21.2.2.1. Losa

Para la losa de compresión no se precisa comprobación estática. Su espesor debe ser, como mínimo, un $1/10$ de la luz entre nervios, en todo caso 5 cm como mínimo. Como armadura transversal deben disponerse por metro: con BSt 22/34 (I), tres barras de diámetro $d_s = 7 \text{ mm}$; con BSt 43/50 (III), tres barras de diámetro $d_s = 6 \text{ mm}$; y con BSt 50/55 (IV), cuatro barras de diámetro $d_s = 4 \text{ mm}$; o un mayor número de barras más delgadas que den la misma sección total.

21.2.2.2. Nervios longitudinales

Los nervios deben tener un ancho mínimo de 5 cm. En los lugares en que se ensanchan en su parte inferior, para absorber los momentos negativos, del aumento del ancho de nervio b_v se tendrá en cuenta en el cálculo sólo con la inclinación de 1:3. La armadura longitudinal debe distribuirse lo más uniformemente posible en los nervios.

En los apoyos puede levantarse una barra de cada dos, siempre que cada nervio lleve dos barras como mínimo. En los apoyos centrales de los forjados nervados continuos sólo puede considerarse en el cálculo la armadura del tramo continuo como armadura de compresión con $\mu \leq 1\%$ de F_{st} .

La armadura de compresión debe asegurarse contra el pandeo, por ejemplo mediante estribos.

En los nervios deben colocarse estribos según el artículo 18.5.3.3. Puede prescindirse del estribado cuando la sobrecarga no alcanza los 275 kg/m^2 y el diámetro de la armadura longitudinal no excede de 16 mm, la armadura del tramo es continua de apoyo a apoyo y el esfuerzo cortante $\tau_0 \leq \tau_{\text{est}}$ cumplen con el artículo 17.5.4., tabla 14, fila 1b.

En la zona de los apoyos centrales de los forjados continuos y en los forjados que deben ser resistentes al fuego, habrá que colocar siempre estribos.

La profundidad de apoyo de los nervios longitudinales se dimensiona según el artículo 21.1.1.

Cuando sobre los extremos por donde se apoya el forjado existan paredes que cargan sobre ellos (excepto tabiques ligeros), debe disponerse en el apoyo, entre los nervios, una franja de hormigón cuya altura sea igual a la de los nervios y cuyo ancho sea igual a la profundidad del apoyo. También puede ejecutarse esto en forma de zunchado, según el artículo 19.7.4.1.

21.2.2.3. Nervios transversales

En los forjados nervados deben disponerse nervios transversales cuya distancia entre centros o cuya distancia hasta el borde de la franja de hormigón no debe exceder de los valores a_0 de la tabla 29.

En los forjados que tienen sobrecargas $p \leq 275 \text{ kg/m}^2$ y luces entre apoyos o entre los bordes de las franjas macizas de hormigón de hasta 6 m, y pasillos correspondientes con $p \leq 350 \text{ kg/m}^2$, puede prescindirse de los nervios transversales. Cuando las sobrecargas son $p > 275 \text{ kg/m}^2$, o las luces entre apoyos son mayores de 6 m, debe disponerse como mínimo un nervio transversal.

Los nervios transversales, cuando las sobrecargas son superiores a los 350 kg/m^2 deben dimensionarse para esfuerzos iguales a los que actúan en los nervios longitudinales; en caso contrario se toma la mitad de estos esfuerzos. La armadura debe colocarse en la parte inferior de la sección o mejor en las partes inferior y superior. Los nervios transversales deben tener aproximadamente la altura que los nervios longitudinales y en ellos habrá que disponer también estribos.

Tabla 29. DISTANCIA MÁXIMA ENTRE NERVIOS TRANSVERSALES

	1	2	3
Sobrecarga		Distancia entre nervios transversales con	
kg/m^2		$a_0 \leq \frac{l}{8}$	$a_0 > \frac{l}{8}$
1	≤ 275	—	$12 d_0$
2	> 275	$10 d_0$	$8 d_0$

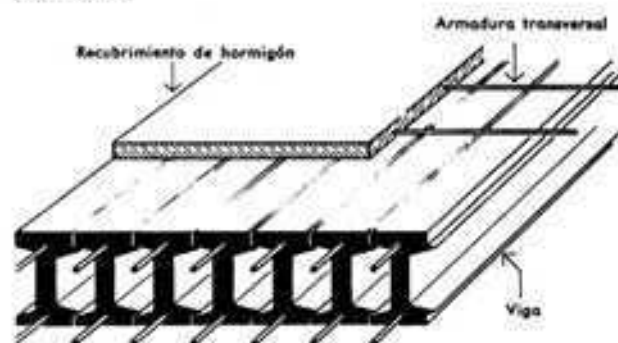
En donde

a_0 : Distancia entre ejes de los nervios longitudinales

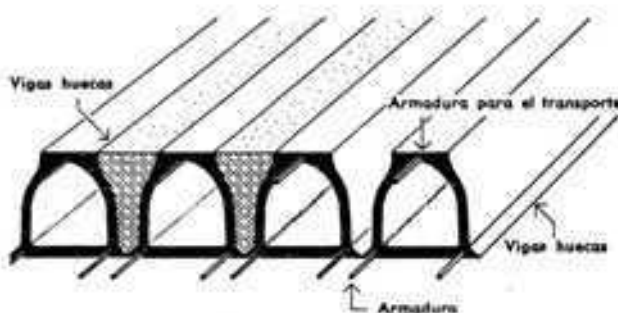
l : Luz entre apoyos de los nervios longitudinales

d_0 : Espesor del forjado nervado

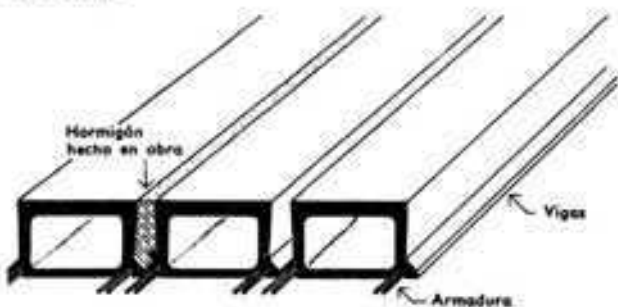
PISO «RAPID»



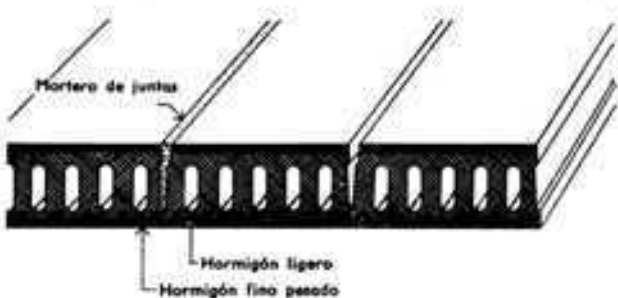
PISO «SEIBERT STINNES»



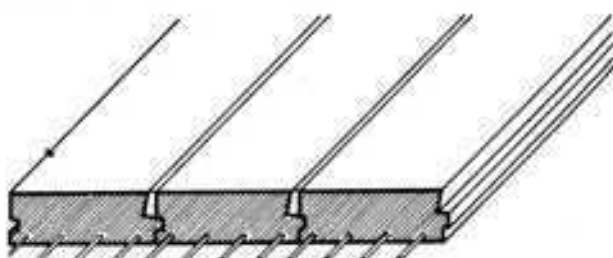
PISO BÜCKLE



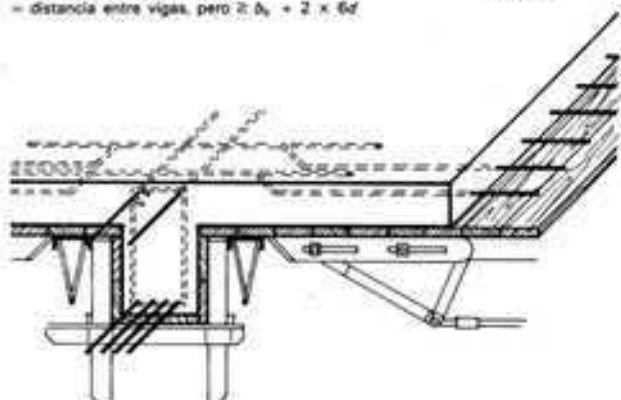
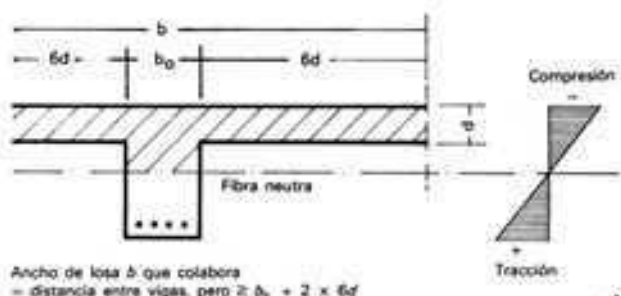
PISO «SCHÄFER»



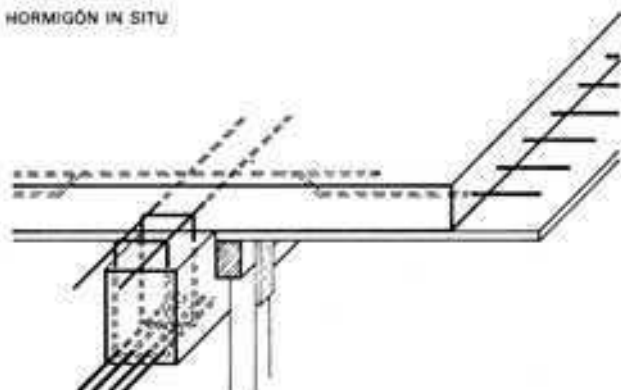
ELEMENTOS DE HORMIGÓN GASEOSO



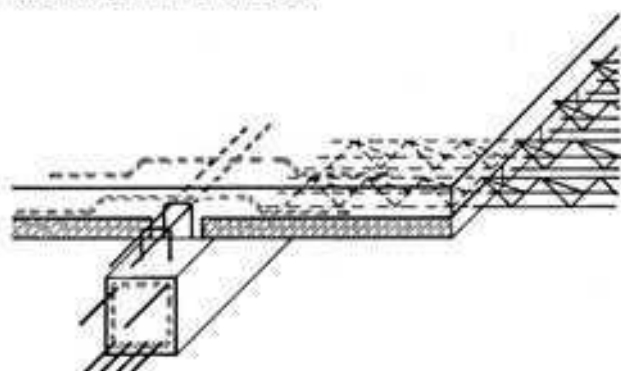
MODO DE ACTUAR Y SISTEMAS DE CONSTRUCCIÓN DEL FORJADO DE VIGAS EN T SEGÚN HENNEBIQUE



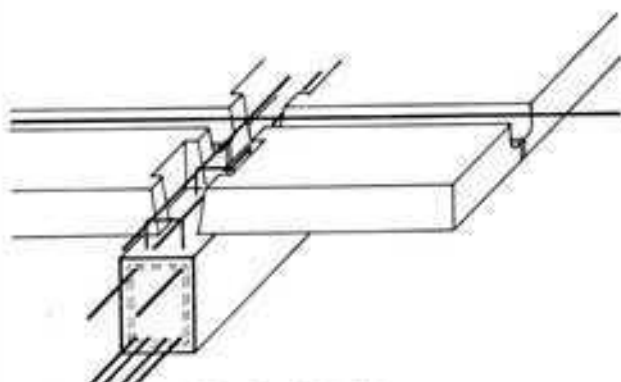
HORMIGÓN IN SITU



VIGA PARCIALMENTE PREFABRICADA



VIGA Y LOSA PARCIALMENTE PREFABRICADAS



Prefabricación completa (sólo relleno de juntas)

21.2.3. Forjados nervados de hormigón armado que actúan en dos direcciones

Para estos forjados deben aplicarse debidamente las mismas prescripciones que para los forjados nervados que actúan en una sola dirección. En particular deben cumplirse en las dos direcciones las distancias máximas y las dimensiones mínimas de los nervios y de las losas según los artículos 21.2.2.1. a 21.2.2.3.

Los esfuerzos que actúan en las secciones deben hallarse según el artículo 20.1.5. Los efectos favorables de los momentos de torsión no se consideran en el cálculo.

Pisos o techos nervados de hormigón armado

Distancia entre los nervios ≤ 70 cm (> 70 cm = Pisos o techos de vigas-losas).

Grueso de los nervios ≥ 5 cm.

Piezas de relleno estáticamente inactivas.

Espesor de la losa comprimida, $1/10$, como mínimo, de la luz entre nervios y nunca menor de 5 cm.

Profundidad de apoyo de los nervios ≥ 15 cm. Las piezas de relleno no deben ser empotradas en las paredes.

Pisos o techos nervados de hormigón armado sin piezas de relleno

Pisos Koenen

Pisos o techos de hormigón in situ.

Armadura principal en una sola dirección y en dos direcciones cruzadas. Encofrado: de fajas dispuestas en la dirección de los nervios. La chapa metálica para ese encofrado está normalizada en la DIN 4238. Las distancias usuales entre los nervios son: 50 y 62,5 cm.

Por razones de protección acústica, el cielo raso debe fijarse en el techo bruto a distancias grandes. Peso propio del piso o techo bruto para un espesor de éste de 18,75 cm = 190 kg/cm². El aislamiento de un piso o techo de 18,75 cm de espesor, sin cielo raso es:

Grado de protección contra el sonido aéreo — 6 dB
Grado de protección contra el ruido de pisadas — 20 dB
Techos del grupo I según DIN 4109

Coefficiente de aislamiento térmico: $0,05 \frac{\text{m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C}}{\text{kcal}}$

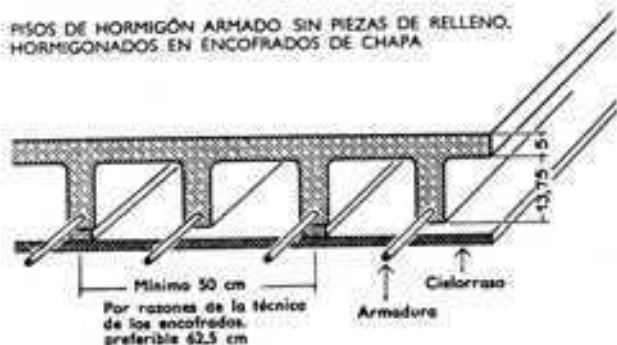
El aislamiento de un piso o techo de 18,75 cm de espesor de hormigón B 160 con cielo raso enlucido es:

Grado de protección contra el sonido aéreo + 2 dB
Grado de protección contra el ruido de pisadas — 9 dB
Techos del grupo II según DIN 4109.

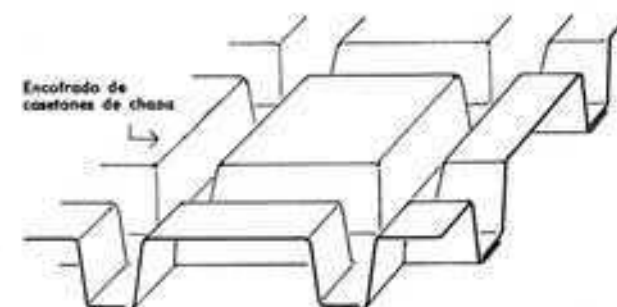
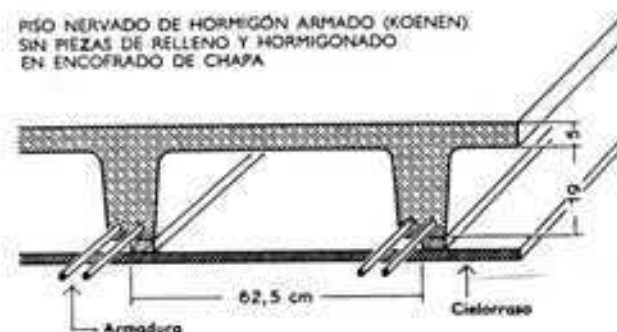
Coefficiente del aislamiento térmico:

con el cielo raso de enlucido sobre soporte 0,30 $\frac{\text{m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C}}{\text{kcal}}$
con placas de material ligero 0,45-0,60 $\frac{\text{m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C}}{\text{kcal}}$

PISOS DE HORMIGÓN ARMADO SIN PIEZAS DE RELLENO, HORMIGONADOS EN ENCOFRADOS DE CHAPA



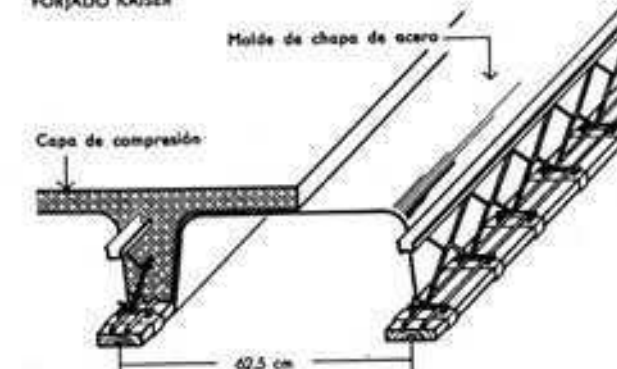
PISO NERVADO DE HORMIGÓN ARMADO (KOENEN) SIN PIEZAS DE RELLENO Y HORMIGONADO EN ENCOFRADO DE CHAPA



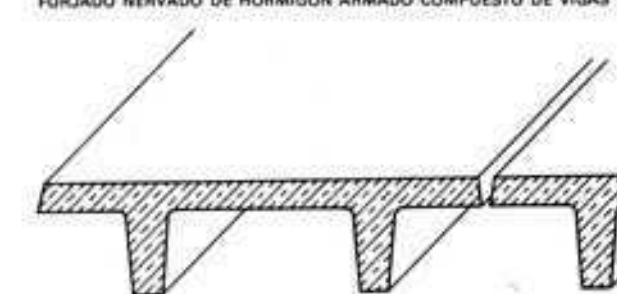
PISO ZECH

LOSA NERVADA DE HORMIGÓN ARMADO CON PIEZAS DE RELLENO

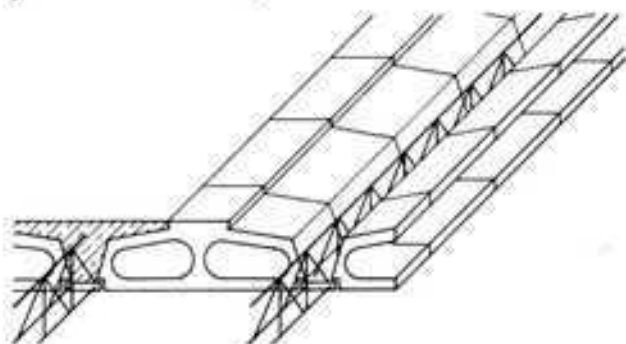
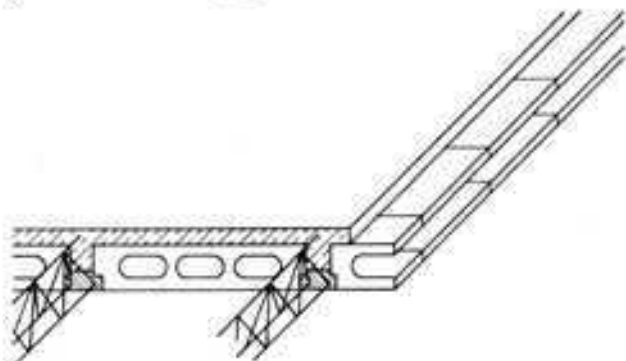
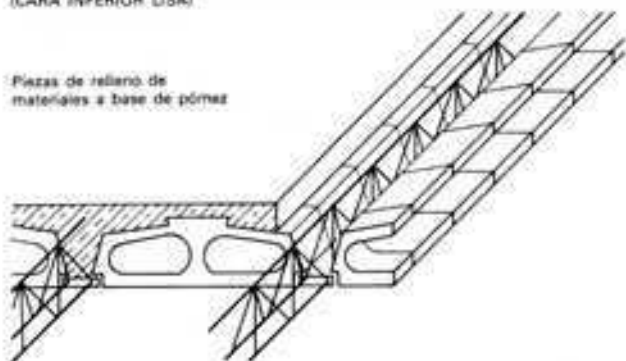
FORJADO KAISER



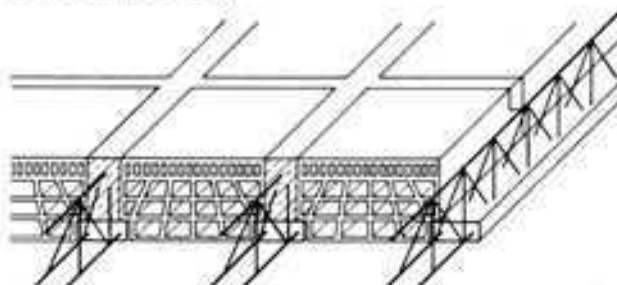
FORJADO NERVADO DE HORMIGÓN ARMADO COMPUESTO DE VIGAS TT



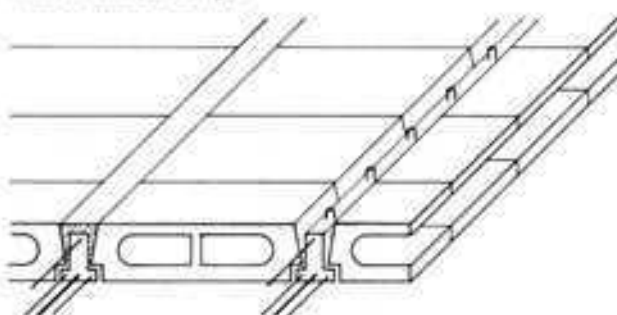
Piezas de relleno de
materiales a base de pómez



Piezas de relleno de cerámica



Piezas de relleno de hormigón



Pisos o techos de vigas de acero

A pesar del elevado consumo de acero que representan, los pisos de vigas de acero todavía se emplean, tanto en las construcciones industriales como en las casas de vivienda. Son apropiados, sobre todo, para grandes superficies continuas destinadas a una finalidad homogénea, en las que todas las vigas pueden situarse a iguales distancias, o cuando menos no varían dentro de cada una de las crujeas. En la construcción industrial, los pisos de vigas metálicas son convenientes en todos aquellos sitios en que los procesos de fabricación requieran con frecuencia modificaciones constructivas o estructurales. Entonces es posible conectar a las vigas sin dificultad alguna, toda clase de cargas, conducciones, transmisiones, etc. y en caso necesario pueden posteriormente reforzarse o sustituirse y después de un derribo o demolición volverse a emplear en otro sitio. Las vigas continuas que abarcan varios tramos pueden, sin limitación, utilizarse con todo su efecto de continuidad. Mediante vigas cortas se pueden formar vigas continuas haciendo empalmes a tope de plena eficacia. Los pisos o techos de vigas metálicas son utilizables en los casos de elevadas cargas útiles y también en caso de cargas rodantes, como p. ej. en los patios cuyo piso cubre sótanos o bodegas y por el que han de circular carruajes. Los inconvenientes de los pisos de vigas metálicas son principalmente el elevado consumo de acero y el peligro de la corrosión. Las vigas de alma llena y sección constante no constituyen un caso de utilización integral del costoso acero, ni transversalmente ni en sentido de la longitud.

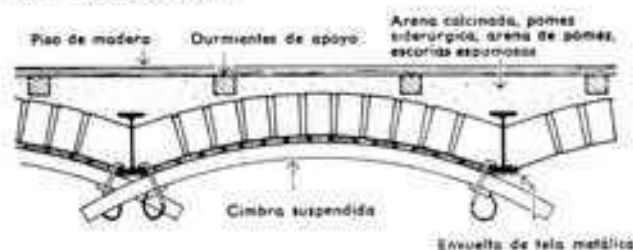
En techos de locales húmedos, como los lavaderos y especialmente sobre establos y cuadras (vapores amoniacales) la capa de cemento mencionada no es suficiente; las vigas han de protegerse antes de su colocación en obra con una pintura bituminosa.

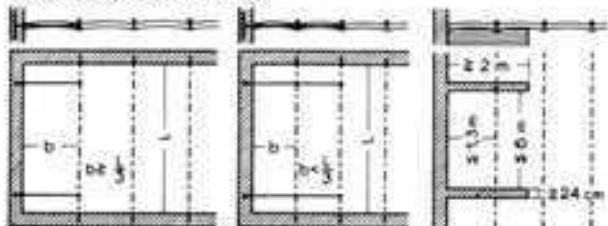
Cuando se emplea hormigón de escorias hay que tener cuidado de que las escorias no contengan azufre. El acero tampoco debe ponerse en contacto con pavimentos de magnesita. Si los huecos entre vigas reciben forjados de hormigón de pómez, es necesario proteger las vigas contra la oxidación, a causa de la permeabilidad de tales forjados; en tal caso puede ser suficiente un pintado con lechada de cemento. En los apoyos sobre obra de fábrica, las vigas de acero deben colocarse siempre encima de capas de barrera o aislamiento que intercepten el paso a la humedad de la obra.

Las vigas son suministradas según longitudes exactas de acuerdo con catálogos y listas de tamaños. Suelen encontrarse en el mercado con longitudes de 4 a 15 m.

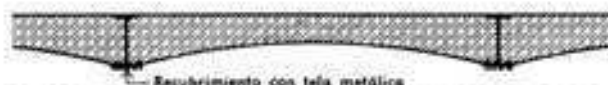
Con objeto de economizar acero sin tener que renunciar a las ventajas constructivas que ofrecen las vigas ya prefabricadas para pisos y techos se elaboraron estos últimos años series completas de vigas ligeras de acero. Estaban hechas, en parte, de fleje de acero laminado en caliente y amoldado a su forma en frío y, en parte, de varilla de acero redondo o cuadrado, ambas debidamente soldadas. La mayoría de esas vigas ligeras de acero no pueden utilizarse inmediatamente después de su colocación en obra como capaces de soportar su plena carga; más bien han de considerarse como armaduras rígidas prefabricadas para hormigón armado. La mayoría de ellas requieren un apuntalamiento o apeo adicional durante la construcción de la obra y no alcanzan su plena aptitud portante hasta que pueden trabajar en cooperación con el hormigón fraguado. El empleo de vigas ligeras de acero es recomendable cuando se desea ejecutar un tipo de construcción más económico que el que resultaría del empleo de vigas laminadas de alma llena.

BÓVEDA CONSTRUÍDA CON LADRILLO MACIZO ENTRE VIGAS DE HIERRO





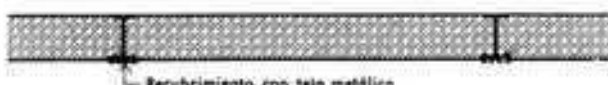
Bovedillas de hormigón ligero sobre cimbras de cañizo perdidas, reforzadas con camones de tabla de madera verde que sirven al mismo tiempo para fijar el soporte del cielo raso. Al secarse esta madera se produce una separación del piso en dos capas con ventaja para el aislamiento acústico. Esta ventaja se aumenta todavía interponiendo trozos del aislante «Sillares».



BOVEDILLA DE HORMIGÓN ORDINARIO, ENTRE VIGAS DE ACERO



LOSA DE HORMIGÓN ORDINARIO CON ACARTELAMIENTOS EN LOS APOYOS



LOSA DE HORMIGÓN ORDINARIO Forjado de toda la altura de la viga



Losa continua de hormigón armado entre vigas de acero



Losa continua de hormigón armado sobre vigas de acero



Losa prefabricada apoyada; en algunos casos con anclajes en las juntas a rellenar

Forjados sin armar

En su forma antigua, los pisos o techos de vigas de acero venían a ser una modificación o evolución de las bóvedas rebajadas. Las vigas de hierro vienen a sustituir los arcos de apoyo de aquellas bóvedas y, como ellos, tienen la misión de soportar el empuje de la bóveda. Como pueden estar colocadas a distancias menores que los voluminosos arcos de piedra, resulta posible hacer las bovedillas de unión muy aplanadas y de poco espesor, con lo cual la altura de construcción disminuye y se reduce el peso propio de los pisos o techos. Además, resulta posible trabajar con cimbras suspendidas o colgantes.

Al ser inventado el hormigón resultó superflua la laboriosa construcción de las bovedillas tabicadas. Los forjados de hormigón abovedados o adintelados entre las vigas de acero, apisonados sobre cimbras suspendidas, resultan en la actualidad, todavía, los pisos de construcción más rápida y sencilla que pueden hacerse hormigonando en obra.

Con objeto de poder forjar sin encofrados ni cimbras los espacios entre vigas se hicieron unas piezas prefabricadas, que forman, además de proporcionar una construcción sumamente seca, una superficie plana de techo, o cielo raso, que puede ser enlucida de modo inmediato.

Forjados armados

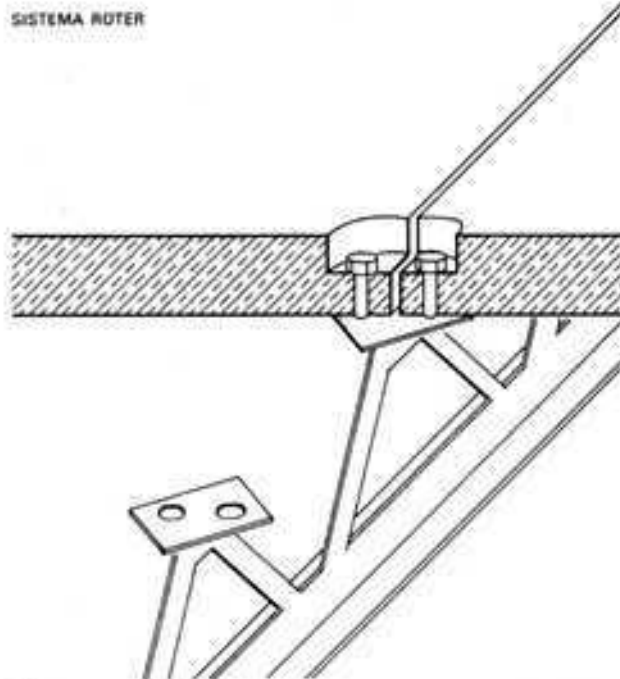
Para el forjado armado de los espacios entre vigas son de aplicación los principios y prescripciones que regulan la construcción con hormigón armado. Se emplearán siempre que las distancias entre las vigas sean tan grandes que los forjados sin armar ya no sean suficientemente resistentes. Al principio se hacía con ladrillo macizo o hueco armando las juntas de mortero; posteriormente han ido ejecutándose a base de los modernos pisos de cerámica armada y de hormigón armado.

Según la norma DIN 1045, los apoyos extremos de las losas o placas de hormigón armado sobre la obra de fábrica deben ser por lo menos iguales al espesor de las losas en las parte central del tramo, y en todo caso no deben bajar de 7 cm. Este valor puede ser menor si el apoyo de las placas o losas tiene lugar sobre vigas de acero, tanto si llevan refuerzos en forma de acartelamientos como si no los llevan. Sin embargo, en general son inadmisibles apoyos de menor anchura que los correspondientes a las vigas doble T del perfil 16. Puede hacerse una excepción en el caso de pisos entre vigas de acero doble T del perfil 14, si la carga accidental o de tráfico no sobrepasa los 275 kg/m², la luz que entre apoyos han de cubrir las placas no pasa de 1,80 m, y las vigas están cargadas por ambos lados o bien están apoyadas o ancladas de manera que no puedan sufrir desviaciones ni torcerse.

Para el cálculo de losas continuas de hormigón entre vigas de acero, pueden determinarse los momentos según las reglas para vigas continuas sobre apoyos de libre rotación, a condición de que los bordes superiores de las losas se hallen por lo menos 4 cm por encima del borde superior de las vigas. En las construcciones de tipo industrial que no requieran ningún recubrimiento de las vigas como protección contra el fuego, es perfectamente admisible que la losa continua quede en todo su espesor por encima de las vigas de acero. Con ello se logra la máxima simplificación de los encofrados, las vigas de acero se mantienen a la vista y existe siempre la posibilidad de fijar en ellas construcciones auxiliares.

Construcciones a base de vigas mixtas de acero y hormigón

En los pisos de vigas de acero hasta ahora expuestos, el forjado de los espacios entre vigas se dimensiona sólo para las sobrecargas que actúan en él y en algunos casos para las producidas por la protección anticorrosiva de los elementos metálicos. Prescindiendo del aumento del peso propio de la viga debido al recubrimiento de hormigón existe el otro inconveniente de que en la zona de tracción las tensiones del acero deben limitarse en la forma que exigen las limitaciones de la deformación del hormi-



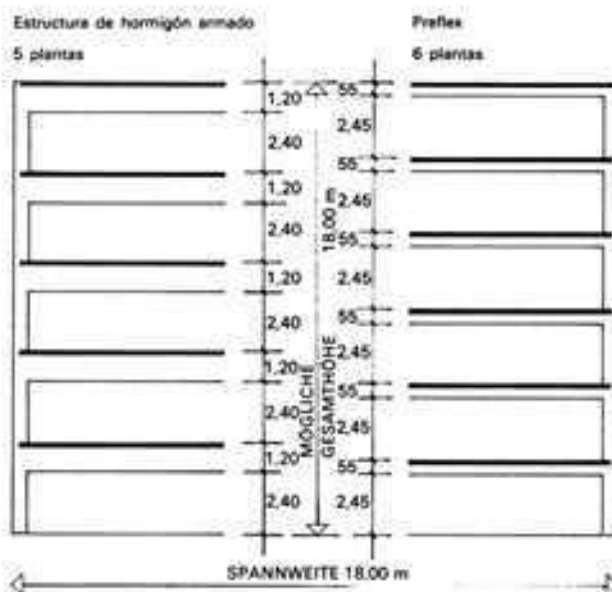
Altura total
del techo h
45–60 cm
70–90 cm

Diagrama que ilustra un elemento prefabricado (Elemento prefabricado) integrado en el hormigón in situ (Hormigón in situ).

Diagrama de diseño de una viga de hormigón prefabricado. El eje vertical representa la "Relación de carga" (q/Q) y el eje horizontal la "Altura" (h). Se muestran tres zonas:

- ① Zona del sistema Preflex
- ② Zona del hormigón pretensado
- ③ Zona del hormigón armado

Las curvas indican la distribución de la carga y la altura de la viga.

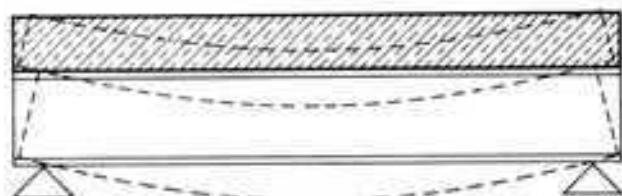


240

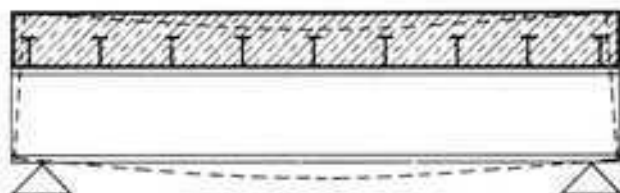
FORJADOS COMPUESTOS DE VIGAS MIXTAS

Colaboración del acero con el hormigón armado:
acción conjunta de viga y losa.
Aumento de la altura eficaz de la viga.

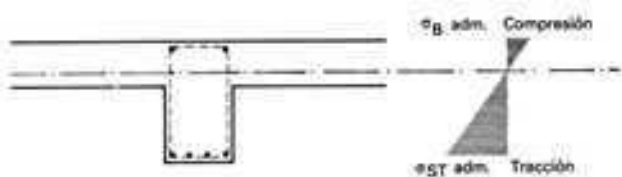
Forjado de vigas metálicas sin acción conjunta
Acción independiente de cada una de las vigas.



Forjado con vigas mixtas de acero y hormigón



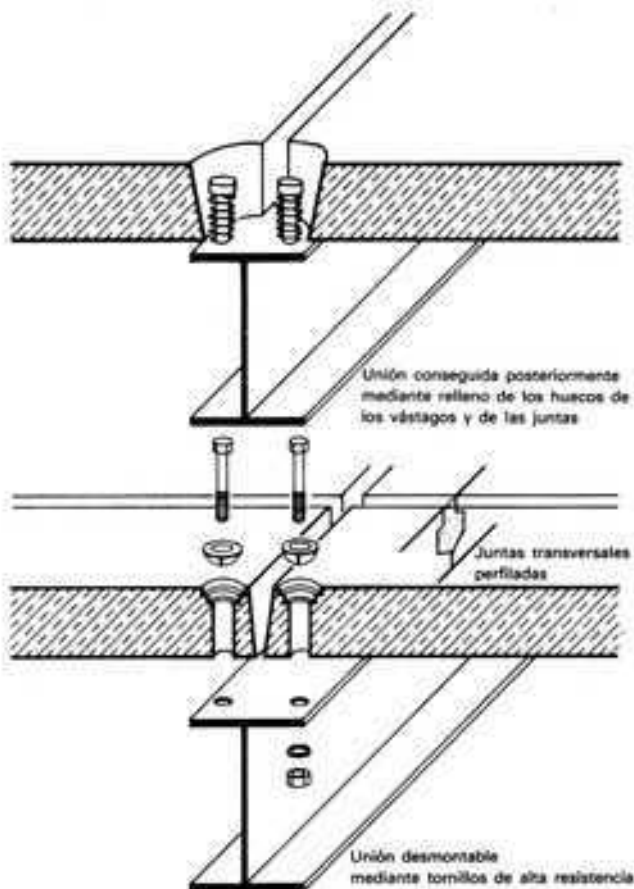
Distribución de las tensiones por tracción y compresión:



gón y la seguridad de que no se producirán grietas en el mismo. De este modo no pueden aprovecharse totalmente los aceros de alta calidad.

En cambio, en los techos compuestos de vigas mixtas de acero y hormigón la sección de hormigón trabaja también en la dirección en que actúan las vigas para absorber las cargas. Esto permite un dimensionado más ajustado de las vigas, lo que tiene importancia en el caso de grandes sobrecargas y grandes luces a cubrir. Los techos actúan como forjados de vigas en T, en donde la zona de tracción se sitúa en el perfil metálico y la de compresión en la losa de hormigón. Con este fin deben unirse el perfil metálico y la losa de hormigón mediante elementos de anclaje. En la DIN 4239 "Vigas mixtas en la construcción" se exponen varios tipos de vigas mixtas que han dado buen resultado. Se distinguen entre los anclajes mediante vástagos rígidos, y los anclajes elásticos (estribado); véase hoja 2 de la DIN 4239.

FORJADO DE VIGAS MIXTAS CON PIEZAS PREFABRICADAS SISTEMA KRUPP



Los elementos de unión del acero con el hormigón se disponen según los esfuerzos cortantes que se producen en las secciones del forjado. Hacia los apoyos deben colocarse por consiguiente con menos distancia entre sí. A los vástagos rígidos de gran superficie colocados a mayores distancias deben preferirse los vástagos rígidos de menor tamaño dispuestos a pequeñas distancias entre ellos. El primitivo sistema de emplear armaduras de unión para las estructuras mixtas está cayendo en desuso a medida que avanza la mecanización de la fabricación de vigas mixtas, que emplea anclajes a base de vástagos y pletinas. En el procedimiento de soldadura de vástagos todo el proceso es automático, desde el encendido del arco eléctrico de soldadura, pasando por la regulación del tiempo invertido en la soldadura, hasta la introducción del vástago en el baño de fusión. Hoy día se emplea la construcción con elementos mixtos no sólo para forjados de hormigón in situ sino también para forjados prefabricados, que se adaptan mejor al proceso de la construcción.

con entramado de acero. En el sistema Krupp se garantiza la unión mediante tornillos de alta resistencia o mediante anclajes en las juntas a rellenar con hormigón. El sistema Rüter emplea vigas de celosía, cuyo cordón superior se monta con elementos de hormigón armado en la obra misma. En cambio, en el sistema Rheinstahl, los cordones superiores de unas vigas de celosía completas, están empotrados en los elementos de forjado.

La aplicación del principio de la acción conjunta del acero y el hormigón en una viga de perfil laminado totalmente envuelta en hormigón, ofrece aún más posibilidades de aprovechamiento de las propiedades, distintas pero complementarias, del acero y del hormigón. Mediante un pretensado y una sobreflecha de la viga revestida pueden reducirse tanto las deformaciones y la formación de grietas, bajo las cargas de uso, que nada se opone al aprovechamiento de las mayores tensiones admisibles en el acero (St-52). La característica de estas vigas es que en ellas se ha producido un pretensado mediante una deformación elástica (preflexión). Una viga de acero laminado se flecha en fábrica; luego, bajo la carga total, se aplica a su cordón inferior un recubrimiento de hormigón, con armadura y anclajes de unión. Una vez endurecido el hormigón y descargada la viga se produce en el hormigón del cordón inferior una tensión de compresión, que impide que bajo la carga normal se produzca una deformación mayor que la admisible y aparezcan grietas de cualquier tipo. La viga mixta del sistema Preflex llega a la obra en forma de elemento prefabricado, compuesto por una viga laminada con un recubrimiento de hormigón en su cordón inferior —en algunos casos con anclajes también en el cordón superior—. Esta viga es tan apropiada para construcciones con estructura de hormigón armado como para construcciones con estructura de acero. Su campo específico de aplicación está formado por todos los casos en que con grandes luces y grandes cargas debe conseguirse un mínimo de grueso para los forjados.

Forjados a base de chapa de acero ondulada

La ejecución tradicional de losas de rigidización de hormigón armado vertidas in situ significa un retraso inoportuno para el montaje de una construcción de entramado de acero. Se necesitan unas diez operaciones desde la colocación del encofrado hasta su reutilización, en cada planta, para insertar estos forjados en el entramado de acero ya montado. En los forjados a base de chapa de acero ondulada, los elementos de chapa de acero con ondulación trapecial conformados en frío y galvanizados constituyen al mismo tiempo:

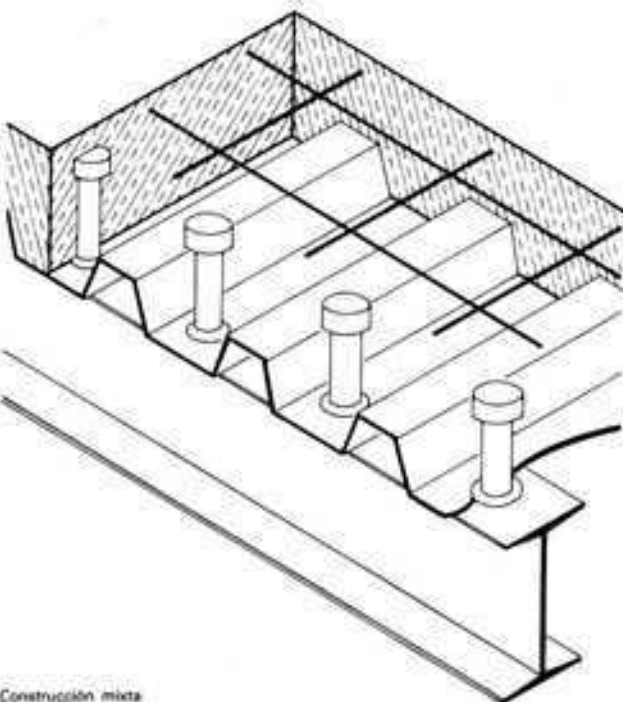
- encofrado perdido
- andamio de trabajo y elemento de rigidización transversal
- armadura de un forjado, que puede hormigonarse en cualquier momento.

Debido a la ondulación de la chapa de acero, en la sección del forjado quedan unos huecos que pueden completarse con poco gasto para convertirlos en conductos para las instalaciones. Se han aprovechado los huecos del forjado incluso como conductos de aire. Estos forjados tienen además las siguientes ventajas: poco peso propio, poco espesor, rápido montaje a mano, inmediata capacidad de carga y simplificación de la suspensión del forjado y del posterior acabado; también se consigue que el forjado trabaje como losa para transmitir las cargas del viento mediante los elementos de conexión de montaje. Con una unión resistente al deslizamiento entre las piezas de chapa de acero y la estructura en que se apoyan, obtenida mediante soldadura

eléctrica por puntos con el empleo de vástagos soldados, es como se obtiene la altura total más favorable del forjado mixto. Este forjado actúa como una losa ya durante el montaje, cuando las chapas onduladas se unen entre sí por su junta lateral de solape, mediante una unión, estampada o de otra clase, apta para transmitir esfuerzos. Con estas condiciones, la dirección en que se han colocado las chapas no influye en la actuación del forjado como losa. Por consiguiente puede despreciarse en la determinación por el cálculo tanto de la capacidad de carga como de la actuación como losa, la capa de recubrimiento de hormigón de calidad Bn 150 y de un espesor mínimo de 5 cm. Por el mismo motivo puede interrumpirse y debilitarse mediante conductos transversales para instalaciones de ancho < 60 cm. Sin embargo, esta capa de hormigón cumple la función de distribuir transversalmente las cargas y de proteger contra la corrosión y contra los incendios (F 90). La protección contra incendios de la cara inferior debe garantizarse mediante un cielo raso o mediante un revoque aplicado con pistola.

Un pavimento colocado directamente sobre los elementos de chapa de acero, sin el intermedio de una capa de hormigón, no produce suficiente reparto transversal de fuerzas. Esto obliga a que las cargas aisladas o lineales sólo puedan actuar sobre un forjado de esta clase, cuando, como mínimo, se dispone una franja de distribución de cargas mediante un relleno de hormigón. Además, en este caso, debe exigirse una protección adicional anticorrosiva del forjado de acero en todas las partes que quedan huecas por la parte superior. Los forjados a base de chapa ondulada de acero no sólo pueden colocarse sobre una estructura de acero, sino también sobre estructuras de hormigón armado y de madera. Sólo son distintas las posibilidades de anclaje. La luz máxima entre apoyos es siempre de 4 m. El montaje de estos forjados sólo lo realizan las empresas cuya aptitud ha sido acreditada según DIN 4115 y que tienen autorización y los derechos para el correspondiente forjado.

FORJADO A BASE DE CHAPA DE ACERO ONDULADA



Construcción mixta

Escaleras

La escalera es un elemento de unión transitable entre dos distintas plantas. Las escaleras se denominan generalmente según su situación, su importancia o su forma, por ejemplo, escalera de casa de pisos, escalera de sótano, escalera exterior, escalinata, escalera que sube al desván, escalera principal, escalera de servicio, escalera de uno o varios tramos, escalera de caracol, etc. La mayor parte de las escaleras reglamentarias están ubicadas por razones de protección contra incendios en un espacio propio, relacionado con la caja de escalera. En este caso, además, deben ser ejecutadas a prueba de fuego. Como materiales para la construcción de escaleras pueden disponerse: madera, piedra natural y artificial, hormigón, hormigón armado y hierro.

En la Edad Media, las escaleras se trataron únicamente en forma técnica o utilitaria y, con frecuencia, con evidente negligencia y descuido. Hasta la llegada del Renacimiento no se les dio un lugar más digno en el centro de los edificios, como en la construcción de los palacios aristocráticos italianos. Vasari recomienda: "Vogliono le scale in ogni sua parte avere del magnifico attescho molti veggiono le scale e non il rimanente della casa", que debidamente traducido viene a decir: "Demos a las escaleras la mayor magnificencia posible porque la mayor parte de la gente guardan el recuerdo de las escaleras y no del resto de la casa". Este concepto acabó por conducir a las máximas realizaciones del barroco. Por lo demás, esas escaleras tan hermosas no resultaban cómodas. Generalmente tenían poca altura de peldaño para una excesiva anchura de la huella. Pero esto no importaba demasiado a los dueños de esos edificios y a sus arquitectos. Las escaleras en cuestión (o mejor, escalinatas) se subían o bajaban lentamente (ceremoniosamente), de manera que había tiempo y ocasión de admirar la magnífica arquitectura y al mismo tiempo de dejarse admirar por el pueblo.

El concepto, en nuestro tiempo, es esencialmente distinto. El ritmo general de la vida exige que una escalera pueda ser recorrida de modo rápido y seguro y con el menor gasto de energía posible.

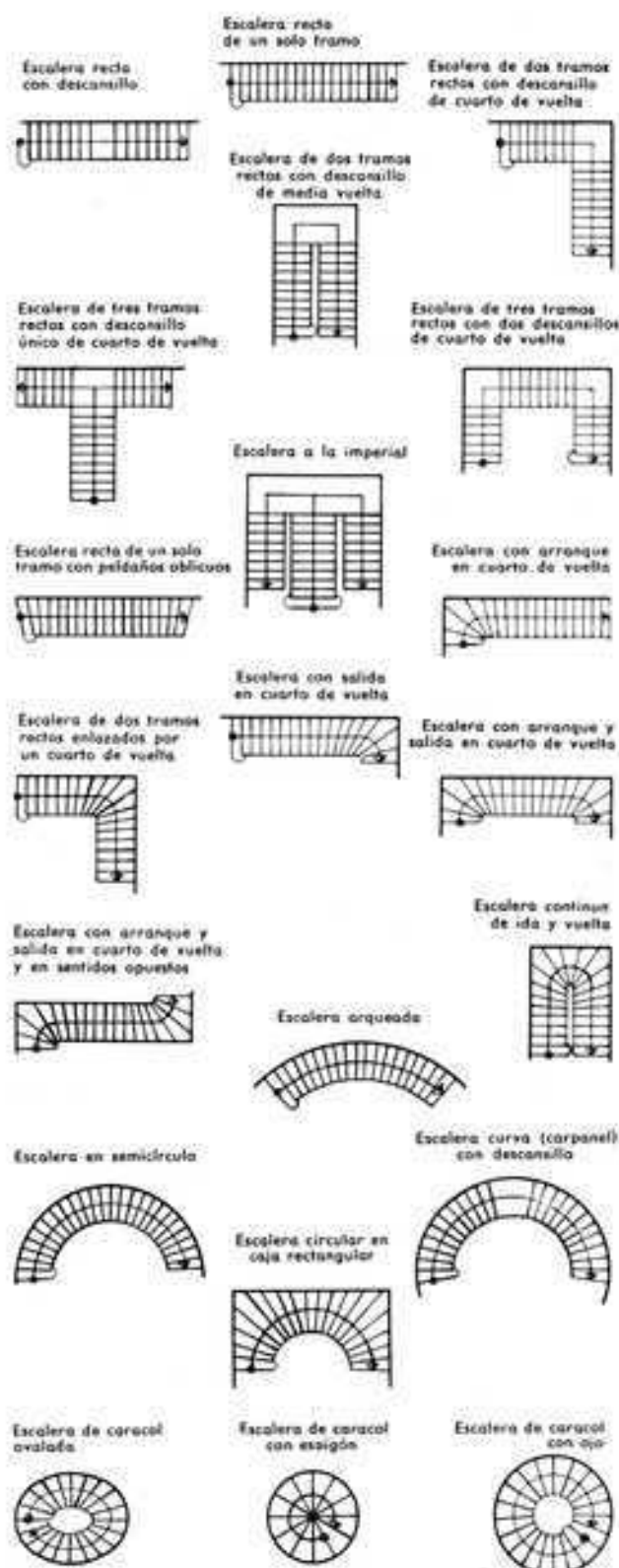
Al subir las escaleras debe desplazarse el peso total del cuerpo hacia arriba. Si se sube aprisa, este gasto de energía corresponde a un consumo calórico de ~ 900 kcal por hora. Al bajar las escaleras el cuerpo se mantiene en equilibrio inestable. Por esto, la mayor parte de los accidentes en escaleras y en la montaña se producen durante la bajada. Tampoco las bajadas en rampa están adaptadas al cuerpo humano.

Cuando el tránsito es muy intenso, los ascensores y las escaleras automáticas ahorran el esfuerzo humano. Sin embargo, por razones de seguridad, deben existir además escaleras normales. Los ascensores, montacargas y escaleras automáticas deben ser, pues, considerados como medios auxiliares para facilitar el servicio.

Actualmente evitamos gastar en escaleras sumas injustificadas; pero, no obstante, hay que dedicarles la necesaria atención para que resulten seguras y eficaces.

Formas fundamentales de las escaleras

La forma y disposición que damos a una escalera depende principalmente de las dimensiones e importancia del edificio, del



sitio disponible y, finalmente, del material y tipo de construcción escogidos. La anchura de los tramos de una escalera viene determinada, en la mayor parte de los casos, por las normas DIN o por las Ordenanzas. Cuanto más escaso es el local destinado a la escalera tanto más difícil es construirla en condiciones de seguridad y comodidad. En tales casos, y sobre todo al construir casitas de reducidas dimensiones, la situación y emplazamiento de la escalera constituye la clave de la distribución de la planta de la obra. Cuanto más se economice el sitio en la escalera, más costosa será generalmente su construcción, por lo cual, muchas veces, la comparación y estudio de lo que representa la economía de sitio y el coste de su construcción es lo que puede decidir un determinado sistema para la misma. Las escaleras rectas parten los locales en sentido inclinado y afectan, por consiguiente, mucho su visualidad. Aun cuando los conceptos que de ello se tenía en las épocas del Renacimiento y del barroco ya apenas tienen valor para nosotros y no podemos permitirnos aquel lujo en la ocupación de sitio para las escaleras, nos vemos, sin embargo, obligados siempre a destinarles el espacio indispensable para su desarrollo en las mejores condiciones.

Nuevos materiales y nuevas construcciones nos permiten actualmente dar a esas estructuras una ligereza y una elegancia a la que tenían que renunciar los antiguos sistemas de construcción. Las formas fundamentales de las escaleras, sin embargo, siguen siendo las mismas que antiguamente.

El aspecto de una escalera depende esencialmente de la forma de su planta. Se distinguen:

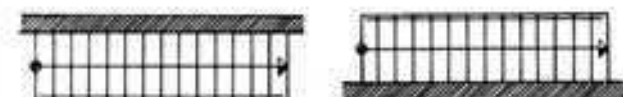
Las escaleras con peldaños rectangulares.

Las escaleras con peldaños rectangulares y de forma de cuña, y finalmente,

Las escaleras con peldaños únicamente en forma de cuña.

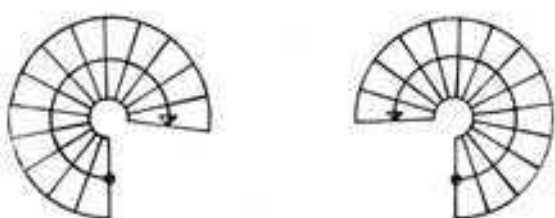
Tramos de las escaleras

Lo que sirve para distinguir si una escalera debe denominarse de mano derecha o de mano izquierda es la situación del pasamanos respecto del que sube por ella. Si al subir se tiene el pasamanos de la barandilla a la derecha, es decir se apoya sobre él la mano derecha, la escalera recibe esta denominación. Si, por el contrario, es la mano izquierda la que en él se apoya, la escalera se denominará de mano izquierda. Las escaleras de caracol o de planta circular se llaman de mano derecha o de mano izquierda según se gire, al subir, como las saetas del reloj o en sentido contrario.



Escalera de mano derecha

Escalera de mano izquierda

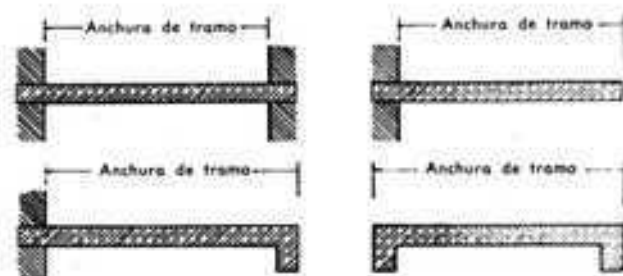


Cuando se hace el proyecto de una obra y ya se ha resuelto si va a disponerse una escalera con uno o varios tramos hay que fijar, de acuerdo con el uso a que la escalera va a ser destinada, la anchura útil de la misma y con ella la de la caja de la escalera. En la norma DIN 18065 se fijan las anchuras mínimas necesarias para las cajas de escalera según la naturaleza de los edificios (casas de pisos para viviendas, casas para una sola familia) así como también la anchura útil mínima de los tramos.

La anchura de las escaleras en escuelas, hospitales, locales públicos, teatros, cines, etc. no ha sido normalizada. Las anchuras se fijan de acuerdo con el número de personas que tienen que pasar a la vez por ellas, y el tiempo que se desea emplear en

desocupar el local. Las reglas y normas para la instalación de tales escaleras son distintas en las diversas ordenanzas dictadas para la construcción. Oportunamente se tratará este punto, al redactar el anteproyecto, con las autoridades de la Inspección o Policía de Obras local.

En las ordenanzas bávaras se exige, p. ej., para las escaleras de las escuelas una anchura mínima de los tramos de 1,30 m. Cuando una escalera es utilizada por más de 250 escolares, su anchura de tramo debe ser de más de 1,80 m. Las escaleras cuya anchura de tramo es superior a 1,40 m deben tener un pasamanos adicional adosado a la pared. En el caso de anchuras superiores a 2,50 m deberían dividirse, por medio de un pasamanos central, en dos mitades. Únicamente las escaleras de tramos rectos deben disponerse con descansillos intermedios. La estructura de la escalera debe ser resistente al fuego.



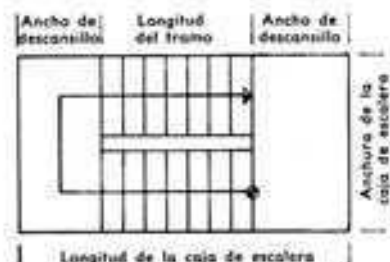
Según la norma DIN 18064 se define como anchura de tramo: En escaleras de zancas, la distancia entre los bordes exteriores de las zancas.

En los peldaños encajonados entre paredes, la distancia entre ambas paredes.

En peldaños que tienen pared por un lado, la distancia entre la pared y el borde del peldaño libre o el borde exterior de la zanca.



La anchura útil de un tramo es la distancia entre la superficie del enlucido de la pared y el borde interior del pasamanos, o entre los bordes interiores de ambos pasamanos.



La longitud que es necesario dar a la caja de la escalera se deduce de la huella y del número de peldaños y de la profundidad de las mesetas o descansillos.



ALTURAS DE PASO:

En viviendas pequeñas y casas para una sola familia, por lo menos, 1,80 m

En casas de pisos, por lo menos, 2,00 m

En escaleras de edificios públicos y comerciales, como mínimo 2,20

Al proyectar una escalera hay que tener en cuenta, además, que la altura libre de paso (altura de la cabeza) para las escaleras de las casas de una sola familia, o casitas pequeñas, sea por lo menos de 1,80 m y que en las casas de viviendas por pisos sea como mínimo de 2,00 m. Se entiende por altura libre de paso, la distancia del borde anterior del peldaño hasta la parte inferior del tramo de escalera que hay encima, o del techo que lo cubra, medida verticalmente.

Pendiente de las escaleras

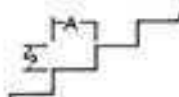
El que una escalera sea cómoda y segura depende de su pendiente o relación de dimensiones de los peldaños, es decir, de la relación entre la tabica o contrahuella y la huella de los mismos. Sirve de base a la determinación de tales relaciones la longitud media del paso de un hombre adulto, que en terreno plano y caminando lentamente es de 60 a 65 cm, por lo regular. Se hace caso omiso, en esos cálculos, del tamaño medio del paso de los niños y de los adultos de gran estatura y corpulencia. Cuando el terreno sube, el paso se acorta y la reducción es del doble del desnivel a vencer. En tanto que una subida o una rampa, mientras no pasa de unos 15°, es todavía relativamente cómoda de subir y la longitud del paso se acomoda individualmente a la inclinación, las pendientes más fuertes requieren la formación de escalones, a fin de que, sobre todo al bajar, el pie pueda ser apoyado con la indispensable seguridad.

Suponiendo que los escalones han de salvar un desnivel de 17 cm cada uno, la longitud del paso normal, supuesta de 63 cm, deba también reducirse en $2 \times 17 = 34$ cm, de manera que quedará en $63 - 34 = 29$ cm, que será el avance del que sube, considerado en la proyección horizontal. Esta será, pues, la huella del peldaño correspondiente.

Considerado el problema de un modo general se tendrá, para una determinada altura de peldaño o contrahuella S, una huella A:

$$A = 63 \text{ cm} - 2 \times S$$

o lo que es lo mismo $2 \times S + A = 63 \text{ cm}$



Esta es la regla según la cual desde tiempo muy antiguo se rige el cálculo de los peldaños de las escaleras y sus proporciones. En el caso de pendientes poco pronunciadas, las huellas son extensas, y cuando la subida es muy empinada, las huellas son cortas.

p. ej. $S = 14 \text{ cm}$
 $A = (63 \text{ cm} - 2 \times 14 \text{ cm}) = 35 \text{ cm}$
 o bien: $S = 20 \text{ cm}$
 $A = (63 - 2 \times 20 \text{ cm}) = 23 \text{ cm}$

Según una investigación acerca de la seguridad contra accidentes, llevada a cabo por Geisenhöner, los que se producen al circular por escaleras dependen, principalmente al bajar, más de la anchura de la huella que de la altura de la contrahuella. Con huellas de más de 32 cm es fácil, al bajar, tropezar con el tacón del zapato en el borde del peldaño anterior. En los de menos de 26 cm, ya no puede sentarse el pie de una manera completa. De investigaciones realizadas en el Instituto del Emperador Guillermo, de Dortmund (Dr. G. Lehmann y Dr. Döll), con más de 1000 personas y con proporciones muy diferentes en los peldaños, se dedujo que generalmente las proporciones más favorables, en las que se alcanza la subida con el mínimo de fatiga, son las de los peldaños de 17/29 cm.

A medida que las proporciones de los peldaños, calculados según la regla $2S + A = 63 \text{ cm}$, se apartan de las proporciones ideales 17/29 cm, va disminuyendo la seguridad de tránsito por la escalera.

Se indica asimismo que la regla de la "longitud media del paso" sólo es de aplicación limitada. Da buenos resultados cuando se trata de determinar las dimensiones más favorables de los peldaños para una escalera de pendiente dada.

En todos los otros casos, y siempre que haya que apartarse de las proporciones ideales, debería guardarse la llamada regla de la comodidad:

$$A - S = 12 \text{ cm}$$

La proporción 17/29 cm antes citada se acomoda también a esta regla:

$$29 - 17 = 12 \text{ cm}$$

Si las proporciones son de 18/27 cm, la regla de la comodidad da $27 - 18 = 9$ y si son de 16/31 se tiene $31 - 16 = 15 \text{ cm}$; es decir no resultan los 12 cm en cuestión. Para que las proporciones se ajustasen a la regla de la comodidad no tendrían que ser, en tales casos, 18/27 ni 16/31, según da la regla del paso normal, sino 18/30 cm (pues $30 - 18 = 12 \text{ cm}$) o bien 16/28 cm ($28 - 16 = 12 \text{ cm}$). Esto demuestra que la regla del paso normal: $2S + A = 63 \text{ cm}$ y la regla de la comodidad: $A - S = 12 \text{ cm}$ sólo conducen a iguales resultados en circunstancias ideales. Al apartarse de la proporción 17/29 cm puede ofrecer ventaja seguir un camino intermedio entre ambas reglas, como el que puede expresarse por la siguiente fórmula:

$$A + S = 46 \text{ cm}$$

Esta, que es la llamada regla de seguridad, garantiza un tránsito seguro por la escalera así construida.

En tanto que no existan prescripciones o reglamentos de la Policía de Obras o normas DIN acerca de las proporciones de los peldaños se darán a éstos las siguientes contrahuellas:

Escaleras de jardines, al exterior de edificios, escaleras de pocos peldaños (escalinatas) de 14 a 16 cm,

Escaleras de teatros, escuelas, etc. de 16 a 17 cm,

Escaleras de casas de vivienda para una o para varias familias; de 17 a 18 cm,

Escaleras de poco tránsito en casas de una sola familia; hasta 20 cm,

Escaleras menos usadas, para desvanes o sótanos, hasta 22 cm. Aún puede utilizarse inclinaciones mayores, pero con escaleras de mano o escalas como las de los barcos.

Los peldaños deben ofrecer un apoyo seguro al pie. La distancia entre peldaños depende de la inclinación de la escalera, que suele ser de 75°. Las escaleras verticales, como p. ej. las de las chimeneas, escalas de incendio, etc., que no cuentan con una huella de extensión apreciable, suelen tener peldaños situados a distancias no superiores a 30 cm.

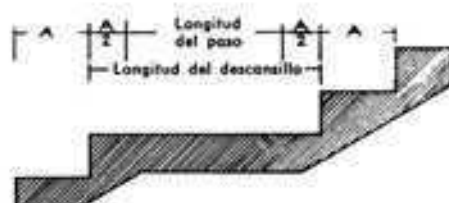
En la norma DIN 18065 se dan las proporciones de los peldaños para escaleras de un solo tramo en casas para una sola familia y en casitas pequeñas con un máximo de 3 viviendas, y para escaleras de dos tramos en casas de pisos.

Para la construcción de viviendas de tipo social se ha dispuesto que desde 1952 sea obligatorio el mantenimiento de las medidas que fija la norma DIN 4174.

En las escaleras que ofrecen un buen grado de seguridad, en casas de varios pisos, deben conservarse las mismas proporciones de peldaños en todos los pisos.

También la forma de la escalera y las longitudes de los tramos deberían ser uniformes para ofrecer seguridad en caso de huida. Los ojos de escalera abiertos en escaleras de tres o más tramos, en edificios elevados pueden provocar vértigo y por lo tanto no están admitidos.

Los tramos largos de escaleras tienen después de 15 a 18 peldaños un descansillo cuya longitud mínima es $L =$ una huella + un paso normal $= A + 63 \text{ cm}$.



En general, la longitud del descansillo para n pasos será:

$$L = A + n(2S + A).$$

- Regla de la longitud media del paso (N)
 - - - Regla de la comodidad (B)
 ····· Regla de seguridad (S)

N = 20/23
 B = 20/32
 S = 20/26

N = 18/27
 B = 18/30
 S = 18/28

N = 17 1/2/29
 B = 17 1/2/29
 S = 17 1/2/29

N = 16/31
 B = 16/28
 S = 16/30

N = 15/33
 B = 15/27
 S = 15/31

peldaños. La proporción entre las dimensiones de los mismos se mantiene invariable también durante el curso de la desviación sobre la "línea de huella". Esta línea, también llamada de paso, puede considerarse que se halla a 55 cm del borde interior del pasamanos, en las escaleras normales y en los tramos rectos, y a 35 ó 45 cm en las escaleras estrechas o de trazado curvo. Una vez tomadas las huellas de los peldaños sobre la línea de huella se "falsean" dichos peldaños, es decir, se procura hallar una forma adovelada que conservando las dimensiones del paso normal en la "línea de huella" permita un buen trazado de las zancas y barandillas.

Para la representación gráfica de las escaleras a escala de 1:10 se escoge uno de los muchos métodos que existen para la compensación. Sin embargo, en la práctica, estos dibujos no tienen gran importancia, pues la experiencia y el golpe de vista del constructor experto de escaleras lo resuelve de modo más rápido y seguro. Traza sobre el terreno que sirve de planta a la escalera y en tamaño natural los peldaños y hace su distribución por medio de listones, que en la parte del cambio de dirección va desplazando hasta hallar una solución armónica para esa zona de transición. Sólo tiene que seguir algunas reglas fundamentales; lo demás es una pura cuestión de práctica y buen sentido. Por consiguiente, al arquitecto lo que hay que recomendarle es que cuando vaya a construir una escalera de madera se dirija al taller del carpintero constructor y junto con el operario que va a hacerla tracen sobre el suelo la compensación de los peldaños, o bien si se trata de una escalera de hormigón, vigile la construcción de los encofrados para evitar dificultades posteriores. En la disposición de la planta de la escalera debe tenerse cuidado de que el ojo de la misma sea suficientemente amplio y permita el acoplamiento de los tramos rectos de la zanca y la barandilla con las piezas curvas de transición. Estas piezas helicoidales, tanto las de la zanca (cubillo), como las del pasamanos, requieren un cuidado especial para evitar los "garrotes" y el peligro de un trazado antiestético. Un ojo o hueco de amplitud suficiente evita no sólo esos inconvenientes sino, además, que los peldaños adovelados resulten demasiado puntiagudos en su extremo interior.

Sobre la línea de huella se marcan los peldaños, con la longitud de huella calculada, evitando que algún borde de peldaño vaya a parar a la esquina del ojo porque se produciría un trazado feo de zanca y barandilla. En las escaleras de madera, esto daría lugar, además, a grandes dificultades para el enlace de los peldaños con la zanca en dicha zona. Es necesario que los escalones compensados tengan por lo menos un ancho de 12 cm en su parte estrecha. Pero en escaleras de edificios públicos o comerciales deben tener 20 cm como mínimo. La máxima longitud de huella en el lado exterior no deben ser mayor de 40 cm.

Los diferentes métodos de compensación parten siempre de la fijación previa del número de peldaños que hay que compensar. El número más adecuado se escogerá en cada caso de acuerdo con la experiencia del que los proyecta.

Para poder tener en cuenta todos los requisitos mencionados e indispensables para la buena construcción de una escalera, es necesario muchas veces trazar gran número de dibujos de tanteo a la escala de 1:10.

Entre los muchos métodos de compensación, los más usados son los tres siguientes:

Compensación por el método del semicírculo

Se distribuyen las huellas sobre la línea de huella y con centro en M, punto de intersección del eje de la escalera con la prolongación del último peldaño recto, se traza un semicírculo tangente al borde interior de la pieza curva de la zanca, o en las escaleras desprovistas de zanca tangente al borde exterior de los peldaños; luego se divide el semicírculo en el número de peldaños cuya compensación desea hacerse, los puntos de división se proyectarán (perpendicularmente a la dirección de las zancas rectilíneas) sobre la zanca libre correspondiente para enlazar luego estos puntos con los de división uniforme de la línea de huella.

Compensación de las escaleras

Al cambiar de dirección una escalera, sin intercalar una meseta o descansillo, se le da un progresivo cambio a la dirección de los

ALTURAS DE PISO Y NÚMERO Y CONTRAHUELLA DE LOS PELDAÑOS (DIN 4174)

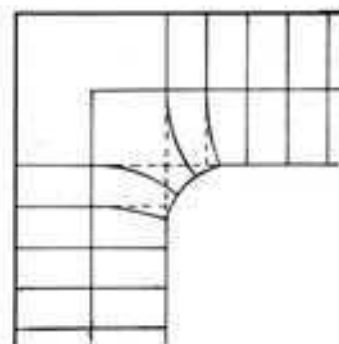
Altura de piso en mm	Escaleras de dos tramos mm				Escaleras de un tramo, de tres tramos y de planta curva (Núm. de peldaños igual que en las columnas b a e, o bien:)			
	Subida cómoda		Subida fuerte		Subida cómoda		Subida fuerte	
	Núm. de peldaños	Contrahuella	Núm. de peldaños	Contrahuella	Núm. de peldaños	Contrahuella	Núm. de peldaños	Contrahuella
a	b	c	d	e	f	g	h	i
1 2250	—	—	12	187,5	13	173,0	—	—
2 2500	14	178,5	—	—	15	166,6	13	192,3
3 2625	—	—	14	187,2	15	174,7	—	—
4 2750	16	172,0	14	196,4	—	—	15	183,3
5 3000	18	166,6	16	187,5	17	176,4	—	—

Compensación por el método de división proporcional

Se distribuyen las huellas sobre la línea de huella de tal manera que el borde de un peldaño venga a caer en el eje medio del cubillo de la zanca; los bordes anteriores del primer peldaño de la compensación y del peldaño central del mismo lado se prolongan hasta el eje medio; la distancia entre ambos puntos se divide en partes proporcionales a 1 : 2 : 3 : 4 : 5 : 6, según el número de peldaños comprendidos, y los puntos de división del eje medio se unen con los de la línea de huella. La división proporcional se suele también emplear cuando en los tramos rectos de las escaleras, por razones de sitio haya que falsear algunos peldaños.

Compensación con peldaños redondeados

En las escaleras de tramos rectos con descansillos en cajas de escalera estrechas, se redondean un poco los bordes de algunos peldaños de los tramos que concurren en el descansillo. Si el último peldaño del tramo inferior viene a estar exactamente debajo del primer peldaño del tramo superior, el trazo del pasamanos de la barandilla resulta defectuoso. La intercalación de una curva en el pasamanos y el redondeo de algunos de los peldaños solventan o disminuyen ese inconveniente.

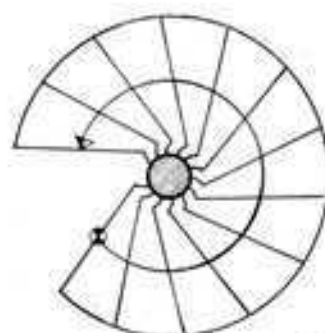
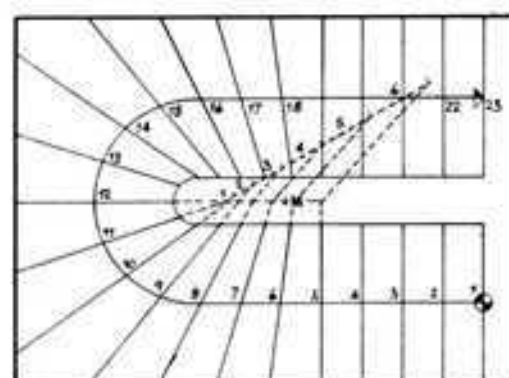
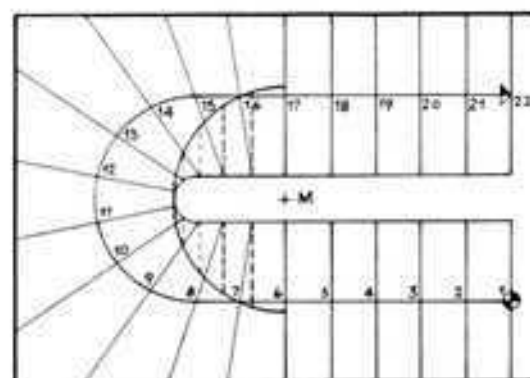


El mejor trazado para pasamanos se logra cuando la meseta o descansillo se amplía lo suficiente para que la distancia entre los bordes de los peldaños sea, en la curva del cambio de dirección, de la misma amplitud que la de los demás peldaños curvados.

Escaleras de caracol

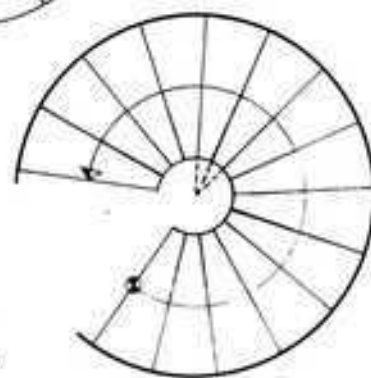
En las escaleras de caracol con ojo, los bordes de los peldaños se trazan según radios.

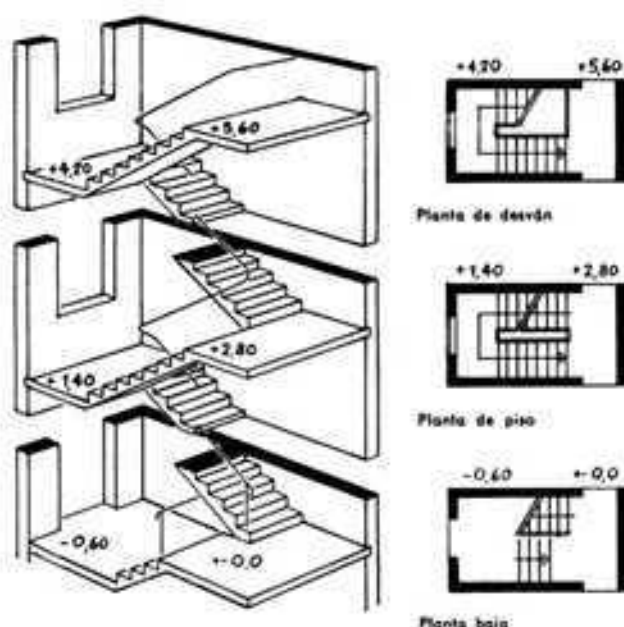
En las de piedra con espigón, los bordes de los peldaños se trazan tangentes al cilindro que forma dicho espigón. Sin embargo, si se quiere que su trazado resulte más claro y agradable a la vista se recorta el borde de los peldaños junto al espigón.



ESCALERA DE CARACOL CON ESPIGÓN

ESCALERA DE CARACOL CON OJO





Representación de las escaleras en los planos

El que una escalera tenga que representarse con pocos detalles o que se haya de dibujar con muchos datos y cotas, depende de la escala en que se dibuje. Para los planos de presentación del proyecto a escala 1:100 bastan los detalles y datos que exige la Policía de Obras para la concesión de permisos y comprobación de la obra, y que se refieren a materiales de construcción, dimensiones de la caja de la escalera, altura de techo de los pisos, anchura de los tramos, número de peldaños y relación de pendiente de los mismos, altura de la barandilla y, finalmente, la altura de paso. Para que queden puestas en claro todas estas características concernientes a las escaleras es preciso que además de las plantas se acompañen cortes longitudinales y transversales. A escala de 1:100, una escalera sólo se puede dibujar simplificada. Como una escalera siempre enlaza dos plantas y únicamente el primer peldaño del tramo correspondiente debería figurar en la planta dibujada, en tanto que el último corresponde ya a la planta superior inmediata, se divide la escalera aproximadamente por la línea de altura media entre ambos pisos y se marca la divisoria por una línea oblicua.

Así, pues, en la planta de un piso se indica también la entrada del tramo de escalera que va hacia arriba y la salida al tramo que va hacia abajo. La dirección de subida se señala con una flecha y la entrada por un pequeño círculo. La numeración de los peldaños parte del nivel del terreno de la planta baja, que se marca ± 0 y el primer peldaño se marca con un 1. Los números correspondientes a los peldaños se escriben detrás del borde de su huella y el último número se escribe detrás del borde del descansillo.

En los planos para la obra se agregan a los datos procedentes las dimensiones exactas del descansillo, la anchura del ojo de la escalera, las dimensiones totales de la caja y demás datos necesarios para la construcción; y para las restantes aclaraciones de los problemas constructivos se recurre a los dibujos de detalle a escala 1:10.

Planta y fachada

Las condiciones de la planta de la escalera en las casas destinadas a una sola familia difieren tanto entre sí, que pueden ser empleadas en ellas las más variadas formas. Tampoco es posible decidir la cuestión de cuál sea, p. ej. en las casas de alquiler, la escalera más racional, porque siempre la planta en su conjunto tiene que ser supeditada a la escalera, que viene a constituir el núcleo de la misma.



Si las escaleras están adosadas a una pared exterior hay que atender a la distribución de la fachada y procurar que las ventanas aparezcan en forma armoniosa sin perjuicio de su cometido principal, que es el de iluminar la escalera. Las ventanas de la caja de la escalera, en cuanto sea posible, deben estar a la misma altura que las demás ventanas correspondientes al mismo piso, es decir, deben hallarse a la entrada o a la salida. En la parte del tramo propiamente dicho es preferible que no haya ventanas, iluminándolo si fuera necesario con paneles de vidrio, pudiéndose incluso dejar que todo el tramo se halle detrás de una pared acristalada.

En casas grandes para una sola familia, residencias, edificios públicos, etc., se construyen escaleras de tipos más valiosos. Es del mejor efecto la escalera construida en un vestíbulo o sala de grandes dimensiones. En tal caso, la escalera se valoriza al máximo cuando va adosada a una pared interior, cosa que, de todos modos, dificulta la abertura de pasos practicables con los locales que se hallan detrás de dicha pared; otra solución es la de hacer que la escalera suba aislada en el centro de la sala o vestíbulo, pero esto supone siempre cierta grandiosidad en las proporciones del local.

Las escaleras situadas en locales grandes están mejor adosadas a uno de los lados longitudinales porque, si se adosaran a los lados más cortos, sus líneas en diagonal cortarían el local en forma inconveniente.

En las casas de vivienda de varios pisos, la instalación de las escaleras dispone de un grado mínimo de libertad.

En el curso de los últimos decenios se ha generalizado la escalera de ida y vuelta con descansillo como la más adecuada y más económica de sitio cuando se trata de la construcción de casas de alquiler.

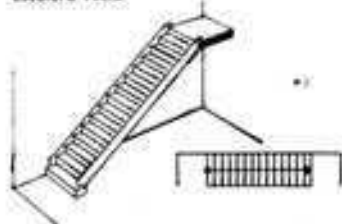
En la construcción de casas unifamiliares predominan las escaleras rectas, con uno o con dos cambios de dirección, porque son las que más economizan el sitio en planta.

La escalera de tramo recto es la de construcción más económica. Exige, sin embargo, una caja de gran longitud, pues además de la longitud del tramo necesita los espacios para los descansillos de entrada y de salida, que por lo menos tienen que ser tan anchos como la misma escalera en su tramo de peldaños.

Las escaleras con 1/4 de vuelta a su entrada o a su salida, aunque su tramo de peldaños sea algo más largo que en el caso de tramo recto, requieren una caja más corta por tener un descansillo menos. Aún son menos largas las cajas de las escaleras acodadas dos veces 1/4 vuelta; en tal caso desaparecen los dos descansillos de entrada y de salida. Las dos acodaduras, sin embargo, aumentan el coste de la construcción.

Las más económicas de sitio son las de 1/2 vuelta y las de vuelta entera, que en las casas pequeñas para una sola familia se suelen usar mucho.

Escalera recta



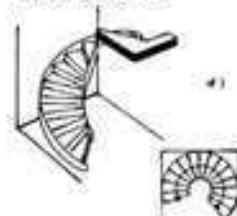
Escalera con arranque en cuarto de vuelta



Escalera con arranque y salida en cuarto de vuelta



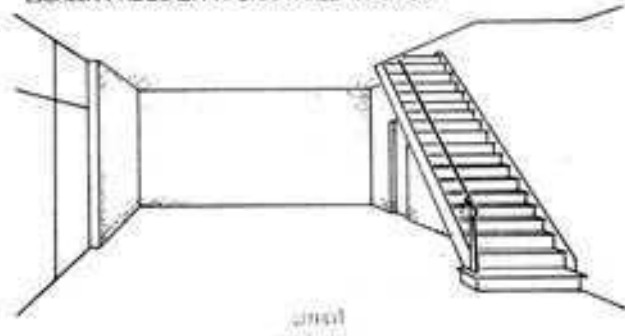
Escalera arqueada



ESCALERA ADOSADA A UNA PARED DE FACHADA



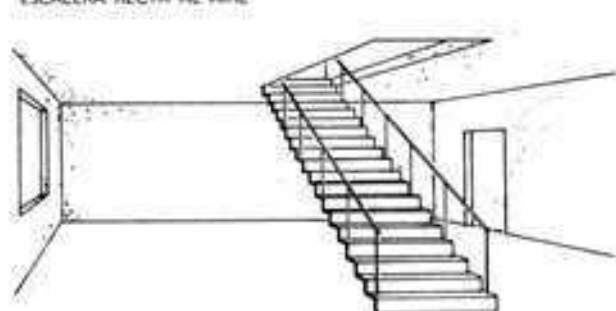
ESCALERA ADOSADA A UNA PARED INTERIOR



ESCALERA ADOSADA A UNA PARED DE FACHADA



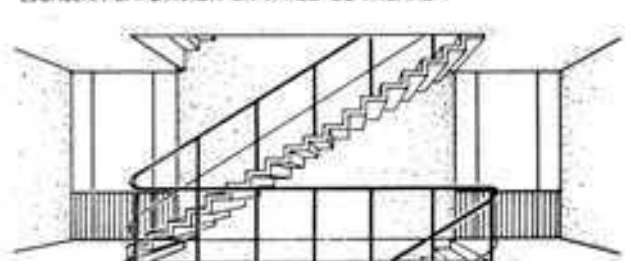
ESCALERA RECTA AL AIRE



ESCALERA ARQUEADA AL AIRE



ESCALERA EMPOTRADA EN PARED DE FACHADA



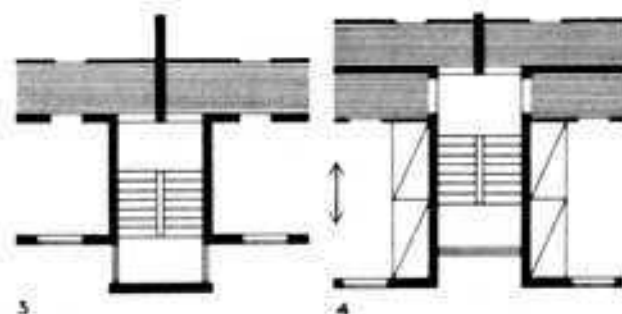
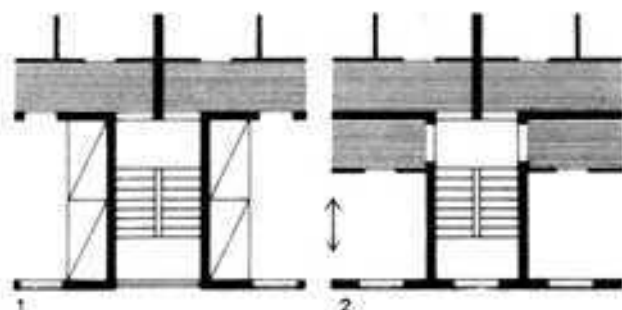
La anchura de la caja de la escalera oscila por lo regular entre 2,20 m y 2,40 m. Estas dimensiones resultan del empleo de una anchura de tramos de 1,00 a 1,10 m y una anchura del ojo de la escalera de unos 20 cm. La longitud de la caja de la escalera resulta de la adición de la longitud del tramo con la anchura del descansillo intermedio (de 1,10 a 1,15 m) y con la anchura del descansillo del piso (de 1,10 a 1,30 m). La altura de techo en la construcción de viviendas de tipo social, que es de 2,75 m, exige por lo regular de 14 a 16 peldaños.

En una escalera de ida y vuelta racionalmente construida, los tramos deben ser de igual longitud. La longitud de un tramo suele corresponder a la de 6 ó 7 peldaños, con lo cual la caja de la escalera vendrá a tener de 4,25 a 4,50 m, que es una dimensión semejante a la de un dormitorio o cuarto de estar corriente. Como la caja de escalera no debe interrumpir la pared intermedia del cuerpo de edificio, esta medida de 4,25 ó 4,50 m y la situación del pasillo son las que deben determinar la distancia entre esa pared de carga y la pared exterior del edificio. Hay una posibilidad de alargar un poco la caja de la escalera, ya en toda su anchura ya únicamente en la parte del antepecho de una ventana, que puede reducirse a un espesor de 1/2 asta; claro está que esto solamente puede hacerse por la pared que da al exterior. Si se añade una placa aislante de unos 3 cm de espesor puede llegarse hasta unos 15 cm de espesor total de pared. Como según sea el grueso de la pared exterior de la obra ésta podrá variar de 24 a 36,5 cm, con el mencionado recurso se podrán ganar de 9 a 22 cm para el alargamiento de la caja de escalera. Si se sustituyese ese frente de pared por un vano acristalado se podrían ganar hasta 20 ó 30 cm para la longitud mencionada.

Para el mejor aprovechamiento de las anchuras de descansillos y peldaños no todos los tipos de escaleras ofrecen las mismas facilidades. Respecto del ancho de los descansillos, las que dan mejores resultados son las escaleras sobre losa o bóveda tabicada, con vigas para los descansillos, siempre que las barandillas se fijen en los cantos exteriores de los peldaños.

Ofrecen casi iguales ventajas las escaleras de madera con montantes o cubillos en los ángulos.

Algo más desfavorables para el aprovechamiento del sitio son aquellas escaleras cuyas barandillas se apoyan sobre los peldaños y que por la misma razón tienen que ocupar un ancho igual sobre el descansillo substraéndolo de su anchura libre. Las escaleras de zancas hechas con piezas prefabricadas de hormigón armado y que ofrecen muchas ventajas para su construcción o montaje, necesariamente tienen que coger algo más de sitio al descansillo.



Observaciones

A la figura 1:

En las plantas con dos viviendas por rellano, de tipo más corriente, a ambos lados de la caja de escalera hay cuartos de estar o dormitorios. La profundidad de esos locales es la misma que la de la caja y determina la posición de la pared de carga intermedia. Las cocinas y cuartos de baño se hallan al otro lado de dicha pared intermedia.

A la figura 2:

Esta distribución de planta es apropiada tanto para dos viviendas como para 3 ó 4. Las cocinas y baños con los pasillos situados detrás tienen la misma profundidad que la caja de la escalera y están situados en la crujía delantera. Si la planta es para dos viviendas, las puertas de entrada a los pasillos ocupan dos de las paredes que delimitan el descansillo; si es para tres o para cuatro vecinos, tales puertas ocupan las tres paredes del descansillo.

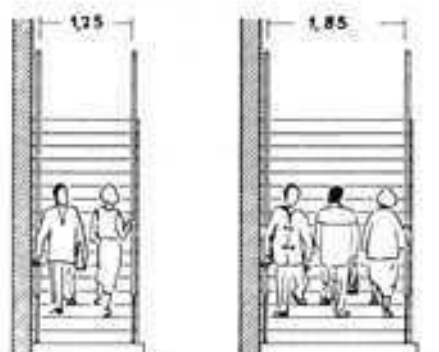
A la figura 3:

En este ejemplo de planta, que sólo es apropiada para dos viviendas por rellano, en la crujía delantera sólo hay las cocinas y baños. La caja de la escalera sobresale de la fachada y puede recibir luz tanto de frente como por los lados.

A la figura 4:

Esta planta es adecuada para dos, tres o cuatro viviendas por rellano. Como los dormitorios o cuartos de estar, lo mismo que los pasillos, se hallan en la crujía delantera resulta ésta de una gran anchura, innecesaria para la caja de la escalera, por lo cual ésta puede quedar algo retirada hacia atrás. Los descansillos pueden hacerse algo más amplios.

La situación de la caja de escalera presentada en los precedentes ejemplos tiene considerable influencia en la forma y disposición de la fachada.



La anchura de tramo en las escaleras para que dos personas puedan cruzarse, sin molestarse, ha de ser de 1,25 m por lo menos; y si han de ser tres, 1,85 m.

En edificios cuya caja de escalera es utilizada simultáneamente por centenares de personas, la anchura de los tramos se regirá por el tiempo disponible para la evacuación de los locales. Como valores mínimos pueden admitirse los siguientes (según Neufert):

Con anchuras de escalera $\geq 1,00$ m, hay que contar:

- + 0,7 m por cada 100 personas, entre 100 y 500 personas
- + 0,5 m por cada 100 personas, entre 500 y 1000 personas
- + 0,3 m por cada 100 personas, para más de 1000 personas

Hay que tener en cuenta, además, que aun la escalera de mayor anchura no llena su objeto cuando pueden producirse acumulaciones o embotellamientos en las puertas de acceso. En todos los edificios, la anchura de las puertas debe ser, por lo menos, igual al ancho de la escalera en sus tramos.

La distancia de la caja de la escalera al extremo del edificio debe ser, como máximo, de 25 m; las distancias entre dos cajas de escalera sucesivas serán, como máximo, de 50 m; o sea que el camino para llegar a la escalera, desde cualquier punto del edificio, no ha de exceder de 25 m.



Las paredes de las cajas de escalera, por razón del aislamiento térmico o acústico o de la protección contra el fuego y en la mayor parte de los casos también por razones estáticas, deben tener un espesor mínimo de 24 cm. Sólo en las casas para una sola familia son admisibles paredes más delgadas, siempre y cuando no resulten cargadas por la propia escalera. Sobre la protección acústica en las cajas de escalera, véase la página

Construcciones de escaleras

Entre las diferentes construcciones de escaleras, hay que distinguir la de peldaños apoyados y la de peldaños volados.

Peldaños apoyados

El apoyo puede consistir en paredes, zancas o losas. Los peldaños apoyados por ambos lados en paredes de fábrica se construyen o colocan al levantar las paredes.

El apoyo sobre zancas puede hacerse tanto por un solo lado como por los dos. Los peldaños descansan entonces por sus extremos ensamiados en las zancas, como ocurre p. ej. en las escaleras de molinero, hechas de madera, o en las de piezas prefabricadas de hormigón armado, o también apoyados sobre las zancas, como en ciertas escaleras de madera.

Las zancas van de descansillo a descansillo o de una pared de la caja de escalera a la pared opuesta (zancas acodadas).

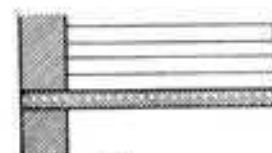
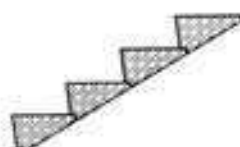
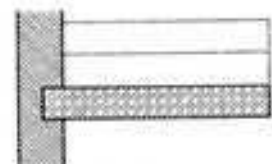
Peldaños volados

Estos peldaños van empotrados en la pared de la caja de la escalera. No exigen, pues, apoyo alguno en zancas ni en placas.

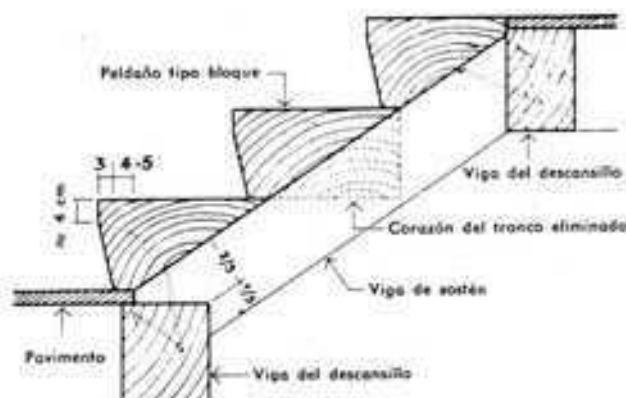
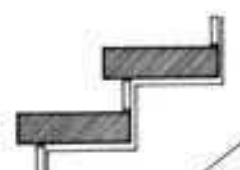
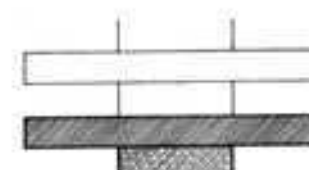
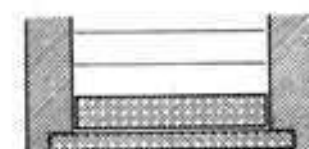
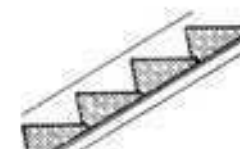
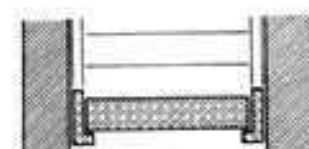
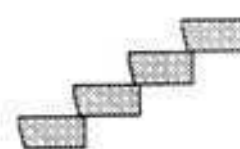
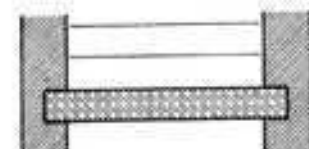
Escaleras de madera

Mientras predominaron en la construcción de viviendas los pisos de madera, fue corriente este material para la construcción de las escaleras. Con la preponderancia de los pisos de obra maciza fue retrocediendo el uso de las escaleras de madera. Éstas, actualmente, casi sólo se emplean, en combinación con los techos de vigas de madera, en casitas para una sola familia y de pequeñas dimensiones, en tanto que en las casas de varios pisos para viviendas se emplean casi exclusivamente las escaleras y techos de construcción maciza (hormigón o materiales cerámicos).

Las escaleras de madera, en la mayoría de los casos las hace el carpintero, si bien hay localidades en que el ebanista también coopera a su construcción. Como elementos constructivos sometidos a solicitaciones estáticas corresponden, sin embargo, a la carpintería de armar, que tiene que intervenir en muchos de los problemas de la resistencia de la casa o edificio. Las escaleras de madera que por su cara inferior van revestidas con cielo raso de cañizo y yeso son consideradas como poco



REDAÑOS APOYADOS



atacables por el fuego. Durante la guerra se demostró que las escaleras de roble protegidas en dicha forma ofrecían resistencia al fuego durante largo tiempo, por ser la madera de roble difícilmente inflamable.

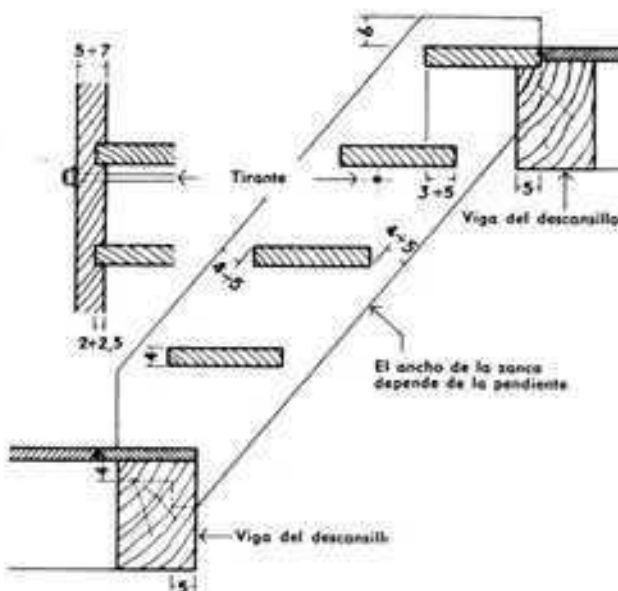
Escaleras con peldaños macizos de madera

Además de las llamadas escaleras de troncos, cuyos peldaños se hacían trabajando con la azuela troncos enteros, figuran en este tipo de escaleras las de "bloques", que se remontan también a la época de las construcciones más antiguas que conocemos de obras de madera.

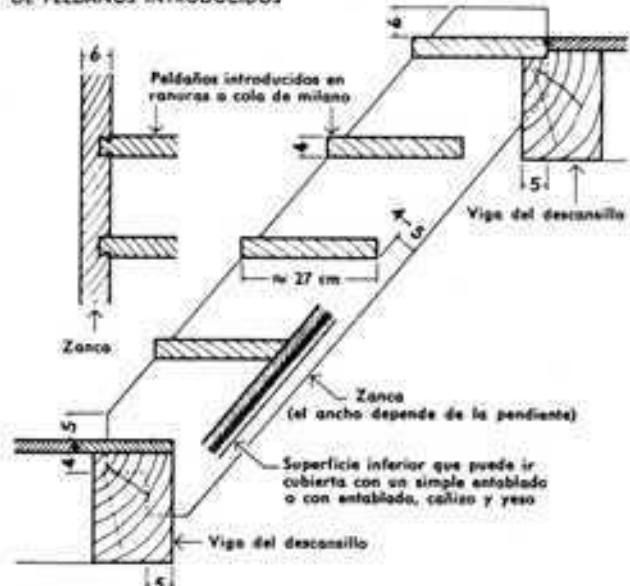
En estas escaleras, los peldaños son de sección triangular (proceden de troncos trabajados con azuela) y van apoyados y clavados sobre dos vigas de soporte o bien, si la caja es de obra, por un extremo se empotran en la pared y por el otro se apoyan en una viga o zanca.

Esta construcción ya no tiene en la actualidad importancia práctica alguna.

ESCALERA A LA MOLINERA DE Peldaños ENCAJADOS



ESCALERA A LA MOLINERA DE Peldaños INTRODUCIDOS



Escaleras a la molinera

Son construcciones antiguas, que hoy rara vez se emplean. Estas escaleras, con fuerte pendiente por lo general, deben tener los peldaños de modo que sobresalgan lo suficiente para que sea posible sentar el pie en ellos con seguridad. No llevan contrahuellas. Para evitar la visibilidad a través de los peldaños, puede cubrirse la cara inferior. En tal caso, las tablas que han de cubrir esa cara se clavan en los cantos inferiores de los peldaños cortados en bisel o, lo que es mejor, se fijan con tornillos para evitar que se aflojen con la trepidación del tránsito.

Como quiera que los peldaños, encajados o introducidos, no están en condiciones de admitir y repartir las cargas que podrían recaer sobre todo el tramo, tales escaleras, que en el fondo no son más que unas escaleras rústicas, no deben aplicarse más que a tramos rectos y nunca a formas acodadas o curvas.

Escaleras ensambladas

La mayor parte de las escaleras de madera se construyen completamente ensambladas, porque se ha comprobado que este sistema de construcción es el que da mejores resultados. En este tipo de construcción, tanto las huellas como las contrahuellas van ensambladas en las zancas. Gracias a la ligazón y trabado de zancas, huellas y contrahuellas, toda la escalera forma una sola unidad, que trabaja conjuntamente. Las cargas que al usar la escalera gravitan sobre ella no son únicamente resistidas por una parte de los peldaños, como sucede en las escaleras a la molinera, sino que se reparten sobre el conjunto de la escalera.

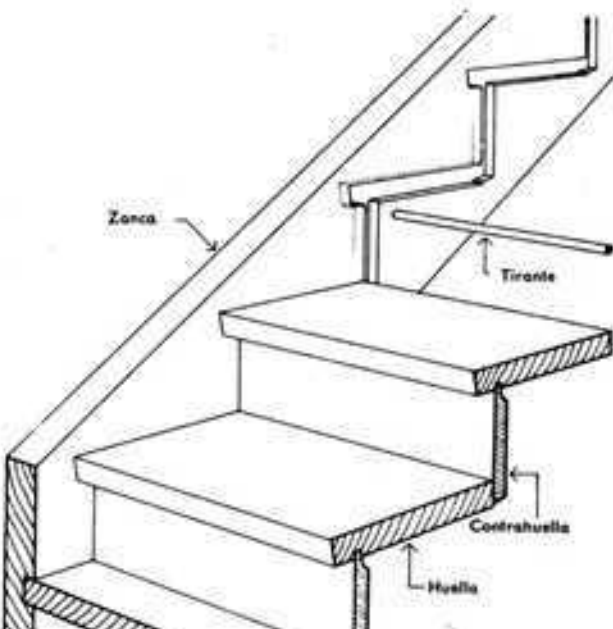
La madera empleada en la construcción de escaleras ensambladas tiene que estar perfectamente seca para evitar que se alabeen o sufran deformaciones los peldaños. Para las zancas suele emplearse el pino y rara vez el roble.

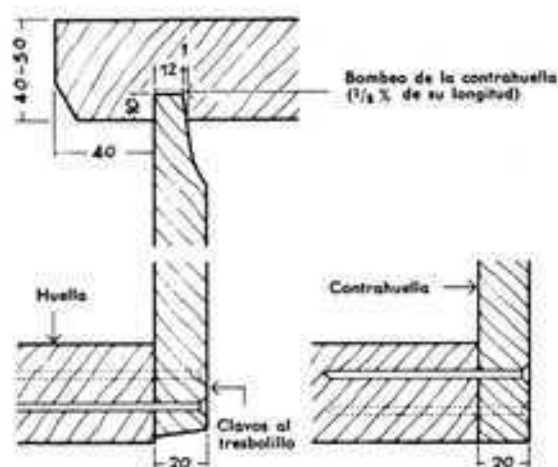
Huellas y contrahuellas

Por su mayor resistencia al desgaste se emplea casi siempre en las huellas la madera de haya o de roble o cuando menos una madera de pino muy resinosa. Debe estar bien seca y carecer de nudos, que por su diferente resistencia al desgaste quedarían con el tiempo formando salientes.

En las escaleras ensambladas, las huellas y las contrahuellas se introducen con todo su espesor en las zancas hasta una profundidad de 15 a 20 mm.

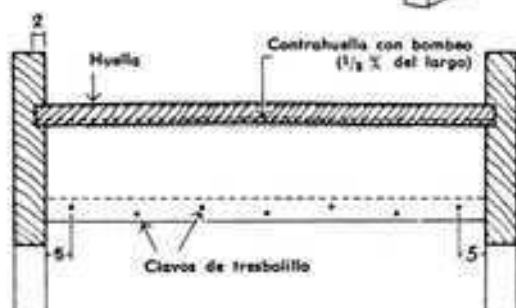
El espesor de las huellas suele ser, según la anchura de la escalera y la clase de madera, de 40 a 50 mm. El borde anterior, que





CLAVADO DE LAS ESCALERAS

Ferallado de las huellas con palanca y cuñas



en la mayoría de los casos se perfila con una moldura, sobresale unos 40 mm del plano de la contrahuella.

Las contrahuellas sirven de apoyo a las huellas e impiden la visibilidad por entre los peldaños. Su espesor no hace falta que exceda de 20 mm. Hay que poner especial cuidado en la unión de las huellas con las contrahuellas, con objeto de que las primeras se apoyen bien y se evite el sonido de los peldaños cuando por ellos se circule.

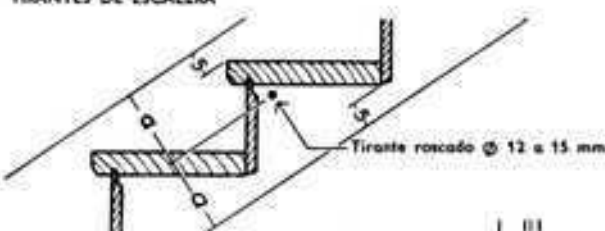
Las contrahuellas deben introducirse en la cara inferior de las huellas, sea con todo su espesor, sea con un borde adelgazado, solución que es aún mejor. Los demás tipos de ensambladura son todos más o menos defectuosos.

Al borde superior de las contrahuellas se le da un bombeo del 1/2 % de la luz. Al proceder al clavado, que se hace de arriba abajo, se fuerzan cada vez dos de las huellas mediante cuñas o palancas por su parte media, para separarlas por flexión, y en esta posición se clava la contrahuella, por lo menos con 5 clavos, contra el borde de la huella inferior. Los clavos deben situarse alternados a distintos niveles. Al quitar las cuñas queda comprimida la contrahuella contra la ranura abierta en la tabla superior, con lo cual, aun en el caso de que se deforme la madera, no hay cuidado de que suene al pisarla.

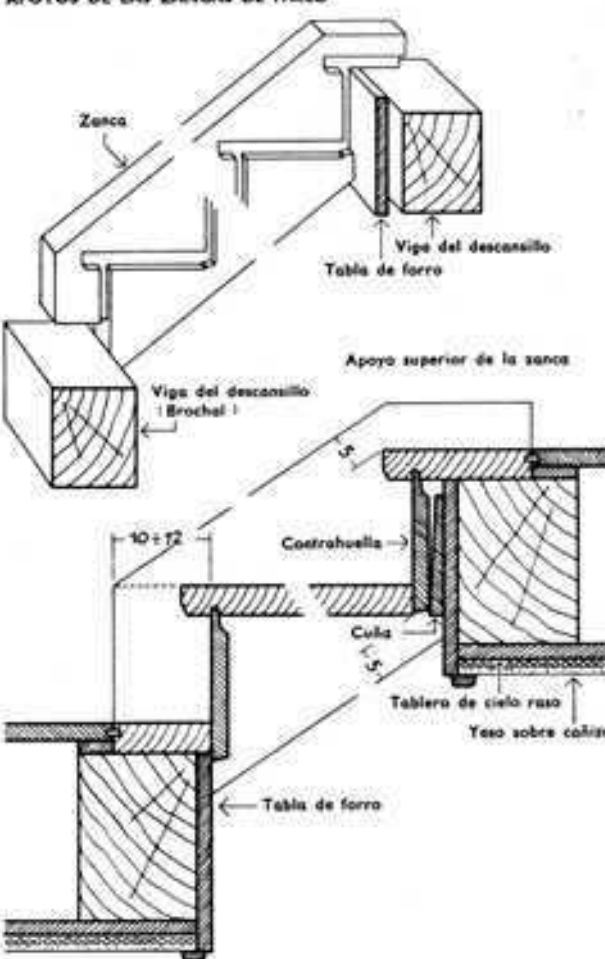
Zancas

De las dos zancas, la que queda al aire siempre se hace 1/5 a 1/4 más gruesa que la que va adosada a la pared, por la siguientes razones:

COLOCACIÓN DE LOS TIRANTES DE ESCALERA

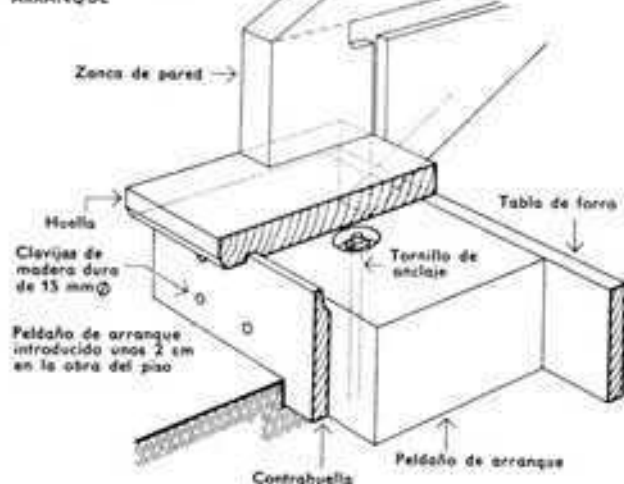


APOYOS DE LAS ZANCAS DE PARED



La zanca de la pared que no va enlazada con ésta, descansa en algunos hierros empotrados en la obra de la pared. La zanca al aire carece de dicho apoyo. Tiene solamente dos apoyos en sus extremos y por lo regular aún queda debilitada por el encaje de los barrotos de la barandilla. En las escaleras de tipo normal se da a la zanca de pared, y según la longitud y anchura del tramo, un grueso de 4 a 6 cm y a la zanca al aire un grueso de 6 a 8 cm. La altura de la sección de la zanca depende del ancho de huella, de la relación de pendiente y del exceso que se quiera dejar encima y debajo de los bordes de los peldaños. Este exceso (recubrimiento superior e inferior) suele ser de 4 a 5 cm, medido perpendicularmente a los bordes de la zanca.

APOYO DE LA ZANCA DE PARED SOBRE UN PELDAÑO DE ARRANQUE



Las dos zancas de la escalera van unidas entre sí por medio de tirantes roscados de hierro, que se colocan cada 3 a 5 peldaños. Las cabezas de esos tirantes en la zanca de pared no deben empotrarse en la madera. Si estorban, pueden quedar alojadas en un hueco practicado en la pared. Las tuercas de estas cabezas se apoyan sobre arandelas. Las tuercas en la zanca al aire tampoco van empotradas. Van cubiertas con una caperuza o rosetón más o menos decorativo.

Zanca de pared

La realización del apoyo inferior de las zancas de pared depende del tipo de construcción del piso sobre el que tales zancas descansan.

Si la escalera se apoya sobre un techo de vigas de madera encima de una abertura para la misma, las zancas se apoyan por sus pies sobre una viga del piso o sobre un brochal. El listón del pie retorna por la cara frontal de la zanca. Cuando una escalera de madera se apoya, en cambio, sobre un piso de obra maciza o bien sobre un piso continuo de vigas de madera en que no hay abertura para la continuación de la escalera hacia abajo hay que utilizar el peldaño de arranque como base de apoyo para la zanca dándole la forma y disposición adecuadas.

Este peldaño, del "tipo bloque", debe anclarse en el piso de manera que pueda soportar los esfuerzos de compresión y de cizallamiento a que le someten los pies de las zancas. El peldaño tipo bloque, como peldaño de arranque, puede ser unos centímetros más ancho en su huella que los demás peldaños, sin que por ello sufra menoscabo la seguridad del tránsito por la escalera. Actualmente no se acostumbra colocar tales peldaños: "tipo bloque" hechos de una pieza, porque piezas de tanta escuadría siempre tienen tendencia a rajarse. Se los sustituye por apoyos para las zancas formados por tablas encoladas, que luego se cubren con una contrahuella. Por su extremo superior, las zancas se apoyan en las vigas del techo o en brochales. Es inútil proceder a su clavado o atornillado en esa parte porque todo el peso de la escalera recae sobre el apoyo inferior y, si éste cediese o se moviese algo, ni clavos ni tornillos en el extremo superior podrían evitarlo. Las zancas deben quedar en su extremo superior simplemente apretadas contra la viga o el brochal correspondiente.

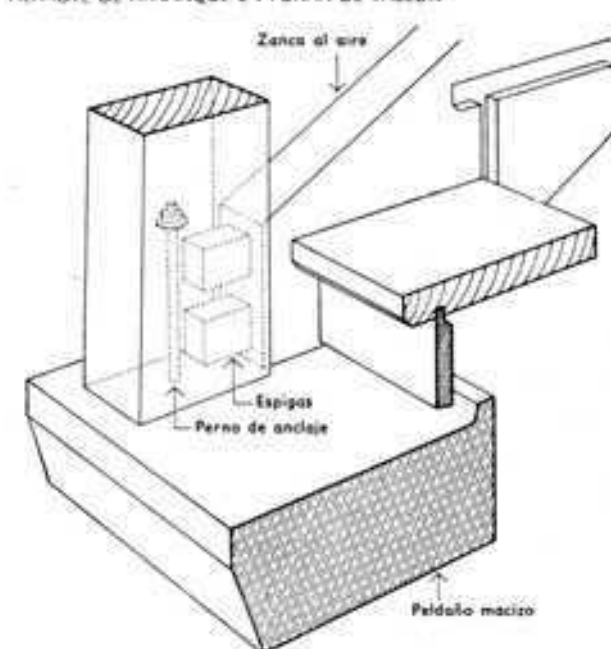
Para darle mejor aspecto, sin embargo, en la mayoría de los casos la zanca de pared se moldura y se ensambla. El listón que cubre la junta del pie da la vuelta entonces hacia la cara frontal de la zanca.

Zanca al aire y barandilla

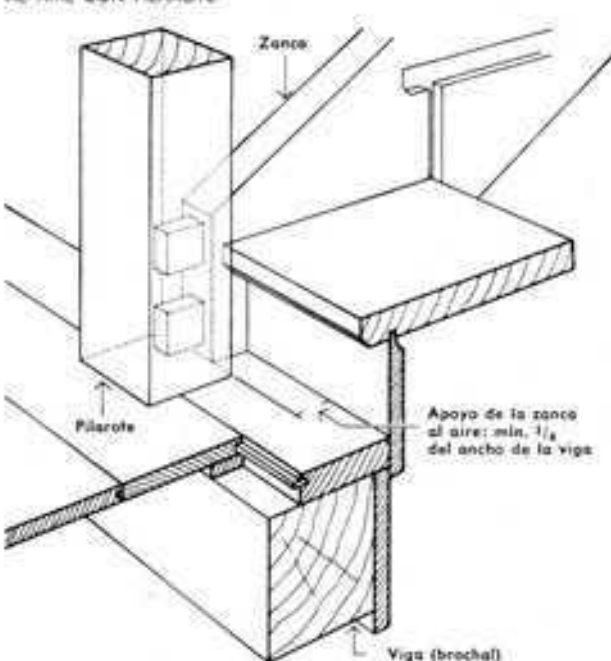
En la parte del apoyo inferior de las zancas al aire se coloca el montante o pilarote de entrada, que sirve de conveniente apoyo a la barandilla y forma su terminación inferior.

La posición del pilarote de arranque depende de la longitud necesaria para el asiento de la zanca en la huella o en el brochal de apoyo. Esta longitud de apoyo en casos normales es por lo menos $1/4$ de la anchura del peldaño o del brochal. Sobre peldaños macizos la zanca al aire se ensambla de la misma manera. Luego se coloca el pilarote de arranque sobre el peldaño de arranque. Como al ser éste el primer peldaño puede tener unos centímetros más de ancho que los demás, se facilitan el apoyo de la zanca y la disposición del pilarote.

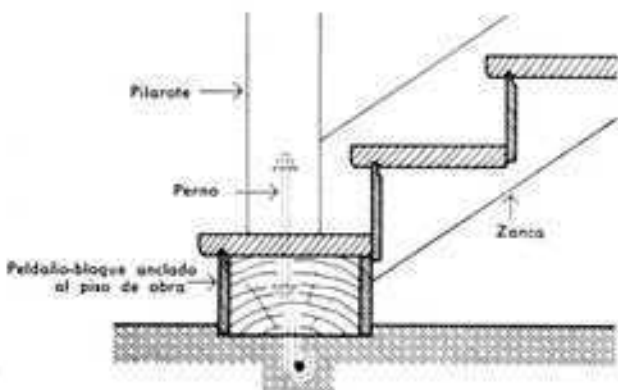
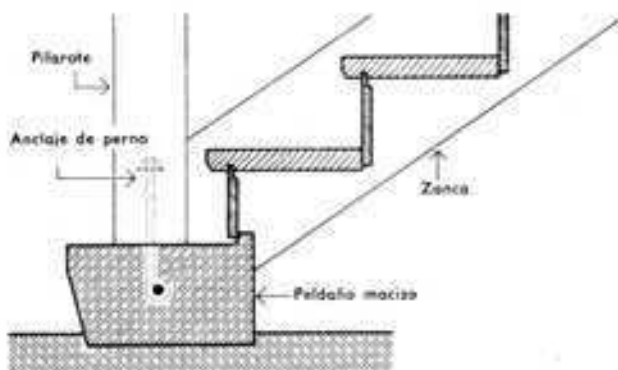
PIAROTE DE ARRANQUE EN FORMA DE TABLÓN



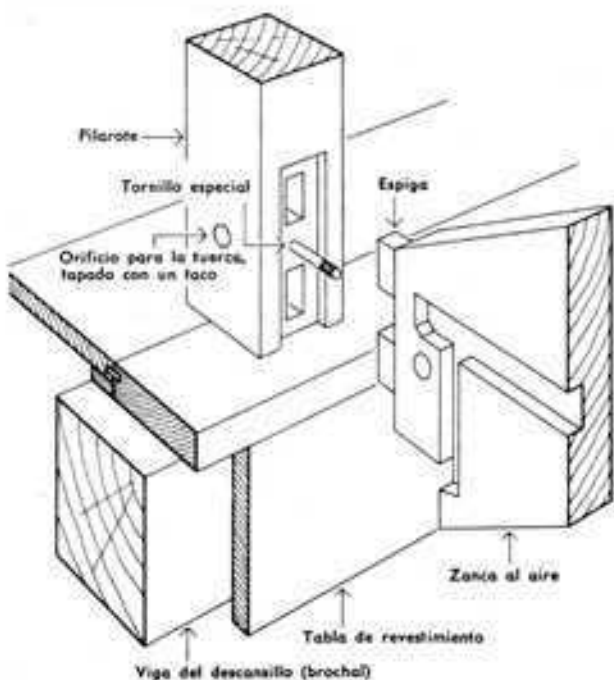
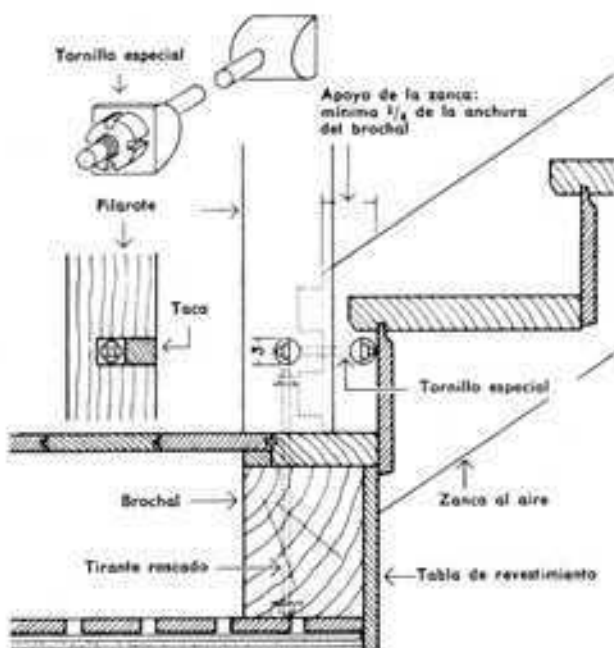
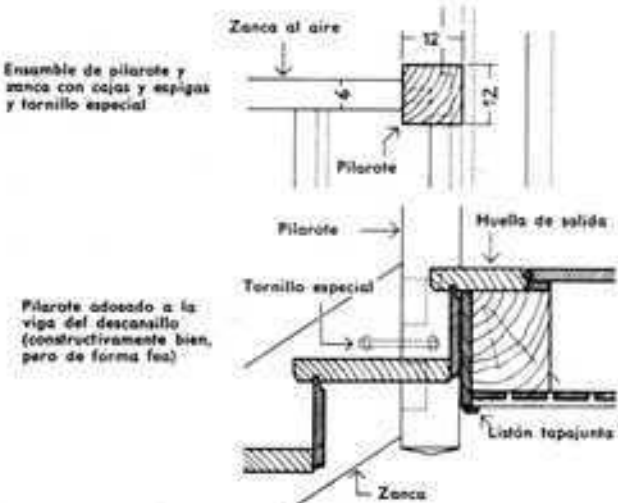
APOYO INFERIOR DE LA ZANCA AL AIRE CON PILAROTE



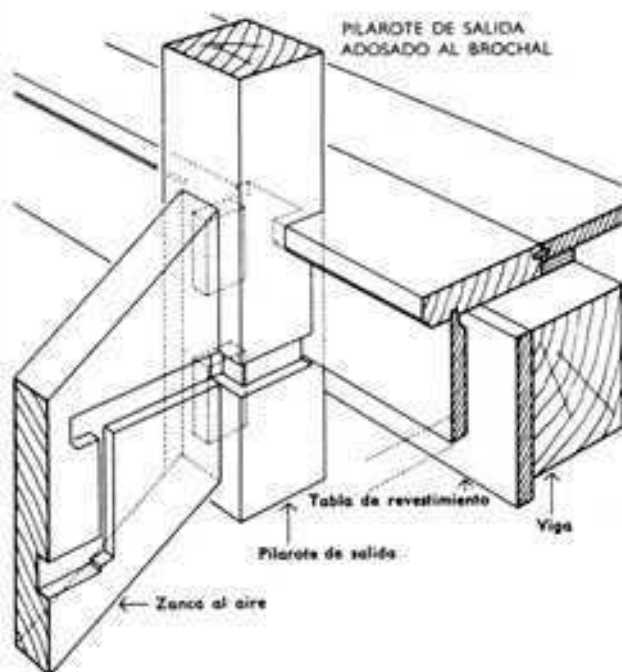
El pilarote de arranque puede también consistir en un tablón ancho, solución que muchas veces es preferida por su agradable forma. Es muy importante que se haga acertadamente la fijación del pilarote de arranque, porque, como una palanca, transmite hacia abajo multiplicados los esfuerzos recibidos de la barandilla y podrían destruirse los enlaces del pie del pilarote, aún en el caso de que su ejecución fuera cuidadosa.



La unión del pilarote y la zanca se puede hacer preferentemente con una doble ensambladura de cajas y espigas dando a éstas la indispensable robustez o bien sustituyéndolas por 2 llaves de madera dura. Un perno entre las espigas y con alojamiento para la tuerca labrado en la zanca sujeta fuertemente ésta al pilarote. El hueco de la cara interior de la zanca para la colocación de la tuerca puede taparse con taco de madera de la misma clase que la de la zanca, procurando que las fibras coincidan en su orientación, para que el conjunto quede mejor disimulado. Además de esta unión con la zanca, el pilarote queda fijado a la estructura que lo soporta. En pisos o en peldaños-bloques de hormigón armado da buenos resultados el anclaje con pernos provistos de gancho. Cuando un pilarote va colocado sobre un piso de vigas de madera o sobre un peldaño de madera maciza tipo bloque se fija a él mediante pernos pasantes.



En contraposición con el apoyo inferior, en el que las zancas cargan sobre un brochal o sobre una viga del piso, contra la cual se apuntalan en el apoyo superior, las zancas al aire únicamente se "apoyan" sobre la construcción del techo. Según el tipo o clase de escalera de que se trata, la zanca al aire descansa directamente en un brochal o en una viga del techo, o lo que es aún mejor, desde el punto de vista constructivo, en un cubillo o pieza curva de la misma zanca, que se coloca en el techo al construir éste.

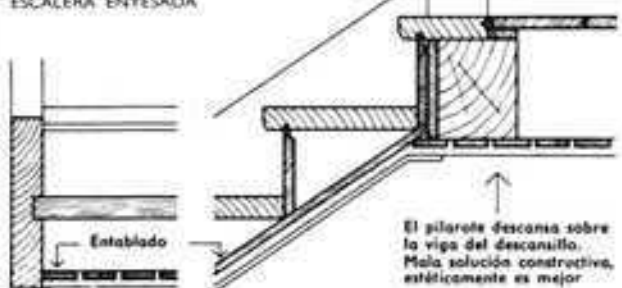


En las escaleras con descansillos, el cubillo o pieza curva de la zanca suele disponerse en ellas casi siempre por razones de forma, si bien, desde el punto de vista constructivo, también proporciona mejores soluciones. Únicamente es del todo indispensable en las escaleras de planta curva.

En todos los apoyos superiores de las zancas al aire de tramos rectos de escaleras, sobre descansillos o sobre los pisos inmediatamente superiores, es necesario que la barandilla se apoye en pilarotes o montantes de salida análogos a los del pie de la escalera. Según la anchura del ojo de la escalera y el tipo de escalera, puede disponerse para ello un pilarote de salida, un tablón o una pieza curva (cubillo).

La disposición de dicho pilarote representada en la figura es la mejor, constructivamente, pero su forma es fea. El pilarote o montante es apretado por la zanca contra el brocha e impide con su firmeza que pueda oscilar la barandilla. Sin embargo, el extremo inferior del pilarote, que queda visible desde abajo, estorba y resulta imposible de admitir en escaleras de madera que deben llevar cielo raso en su cara inferior. Por esta razón, en la mayoría de los casos se prefiere la solución de la figura siguiente, que desde el punto de vista constructivo es menos satisfactoria. Cuando el ojo de la escalera no es mayor de 20 cm de anchura puede colocarse un tablón de transición en el que se apoyan los extremos de las zancas al aire. En este caso, lo mismo que en el de los pilarotes de salida, la solución que constructivamente es la mejor resulta poco satisfactoria estéticamente.

CARA INFERIOR DE LA
ESCALERA ENYESADA



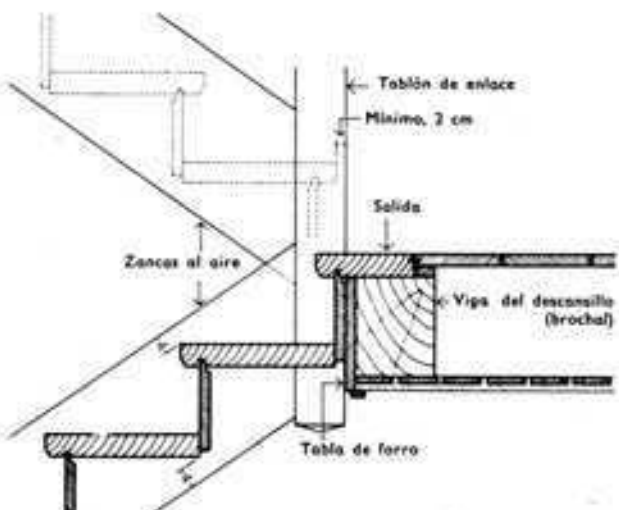
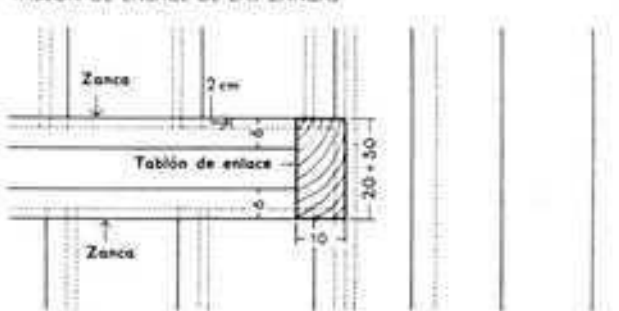
En las escaleras de alta calidad no se colocan pilarotes ni tablones, sino cubillos o piezas curvas de enlace de las zancas, que se prolongan hacia arriba hasta la barandilla, de manera que ésta encuentre en ellas un apoyo firme. Sin embargo, el aspecto de conjunto resulta tanto más amezetado cuanto más ancho sea el ojo de la escalera y, por lo tanto, cuanto mayor sea el cubillo empleado.

Todas estas construcciones que, por otra parte, resultan siempre algo caras, son sólo necesarias, como ya se ha dicho, para que los balustres o barotes de la barandilla ensamblados en la zanca y en el pasamanos puedan tener apoyo firme. Ni los pilarotes, ni los tablones, ni los cubillos prolongados hacia arriba tienen otra finalidad que ésta.

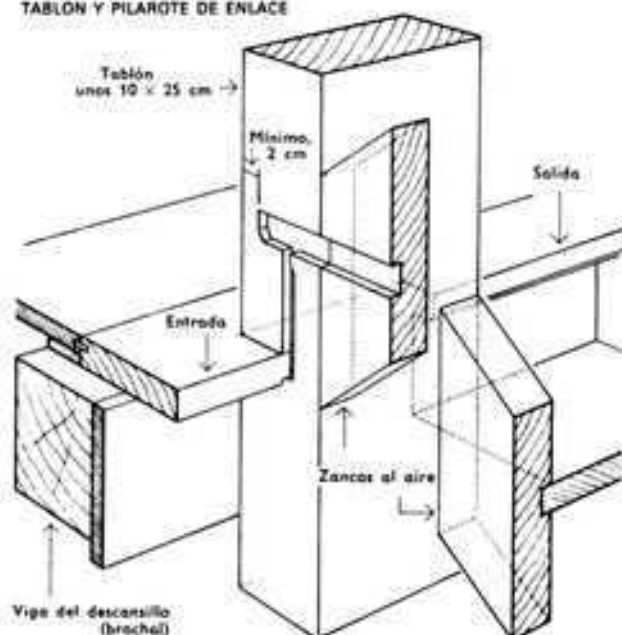
BAROTES DE BARANDILLA FIJADOS
AL COSTADO DE LA ZANCA



TABLÓN DE ENLACE DE LAS ZANCAS



TABLÓN Y PILAROTE DE ENLACE



Al ensamblar los barrotes de la barandilla se abren las cajas para las espigas en la zanca al aire con cierta oblicuidad, dándoles diferentes inclinaciones, con lo cual la barandilla, una vez colocado el pasamanos, queda forzada y con una determinada tensión. Los barrotes, que pueden tener sección redonda o cuadrada, tienen, como mínimo, 24 mm de grueso y sus separaciones no deben exceder de 16 cm. Cuanto más esbeltos sean los barrotes tanto menores han de ser las distancias entre los mismos. Si se adopta una fijación más firme de los barrotes de la barandilla a la zanca, tal como la que se ha representado en la figura que hay al lado, puede prescindirse de las disposiciones constructivas antes descritas y disminuir con ello el precio de coste.

La fijación lateral de los barrotes de la barandilla a la zanca mediante dos tornillos resulta más firme que el ensamblado en cajas y tiene la ventaja de no necesitar disposiciones constructivas auxiliares. Bastan un pilarote de arranque y otro de salida de la escalera, es decir, en sus extremos inicial y final.

Además, con esta disposición no se debilita la zanca con la abertura de cajas de ensamble. Otra ventaja es que la anchura útil de la escalera resulta mayor porque el pasamanos no cae encima de la línea de la zanca sino exterior a ella.

En tanto que las barandillas se suelen hacer del mismo material que las zancas, para los pasamanos suele emplearse únicamente madera dura, haya principalmente, y si se trata de escaleras de calidad, maderas finas. El perfil o sección del pasamanos puede ser muy variado. Cuando se trata de escaleras muy transitadas se procura que el pasamanos ofrezca buen asidero.

El enlace del pasamanos con el pilarote de arranque depende de la forma de su sección. A los pilarotes fuertes de sección cuadrada o redonda se ensambla el pasamanos con espiga de unos 8 cm de longitud, asegurando la unión con dos clavijas de madera.

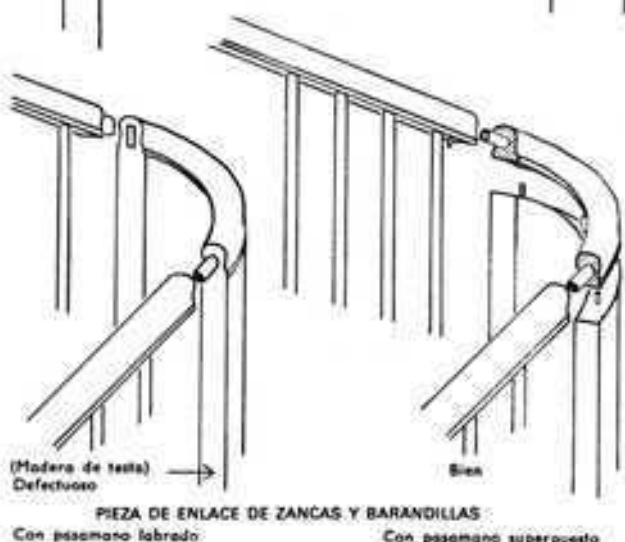
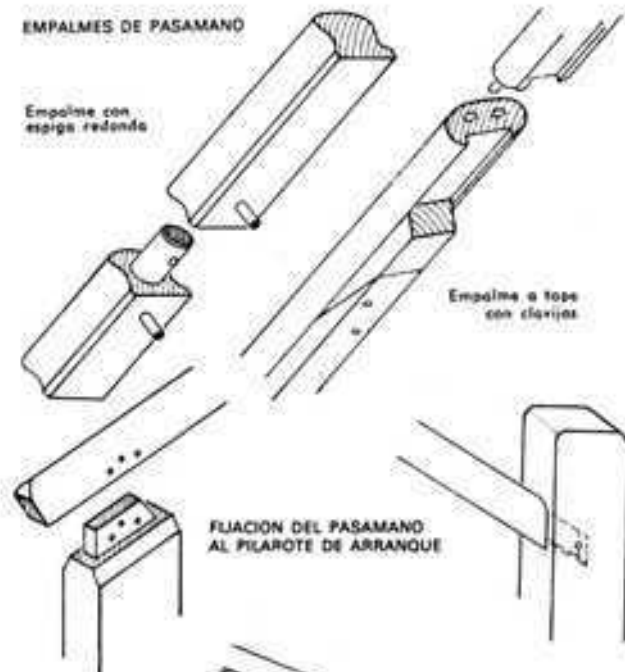
Si el pilarote únicamente tiene la anchura de la zanca se coloca el pasamanos por encima, se ensambla con él y se asegura la unión con tres clavijas de madera. Para evitar el desgarramiento de la parte superior del pasamanos, se colocan las clavijas a diferentes alturas.

En escaleras curvas son necesarios los empalmes de los pasamanos. La unión se hace mediante largas espigas o fuertes llaves (espigas postizas) colocando además, por la parte de abajo, una o dos clavijas de madera.

En las piezas curvas que establecen la continuidad en los descansillos se aplica una curva del pasamanos asegurada con tres llaves o clavijas postizas.

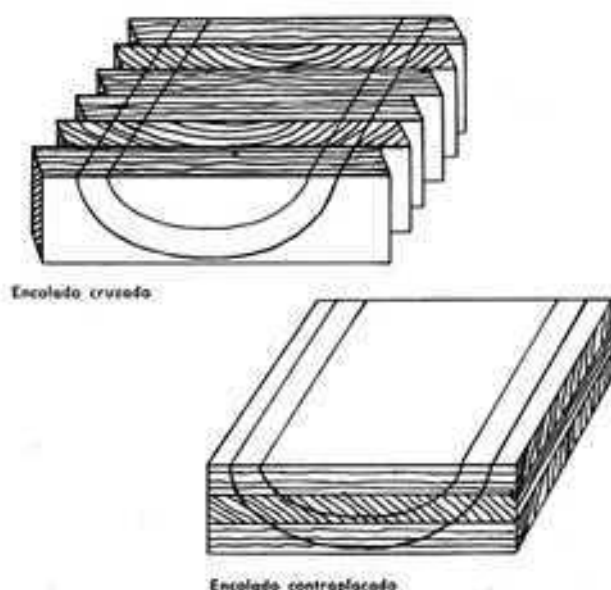
El sistema mejor y más duradero de empalme de los pasamanos es el de brida o chapa inferior.

EMPALMES DE PASAMANO

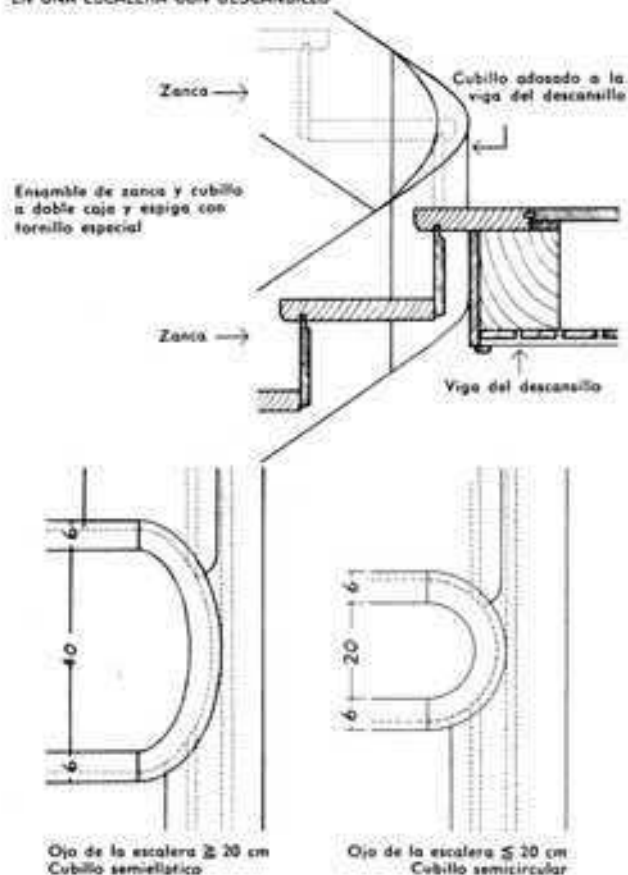


PIEZA DE ENLACE DE ZANCAS Y BARANDILLAS
Con pasamanos labrado: Con pasamanos superpuesto

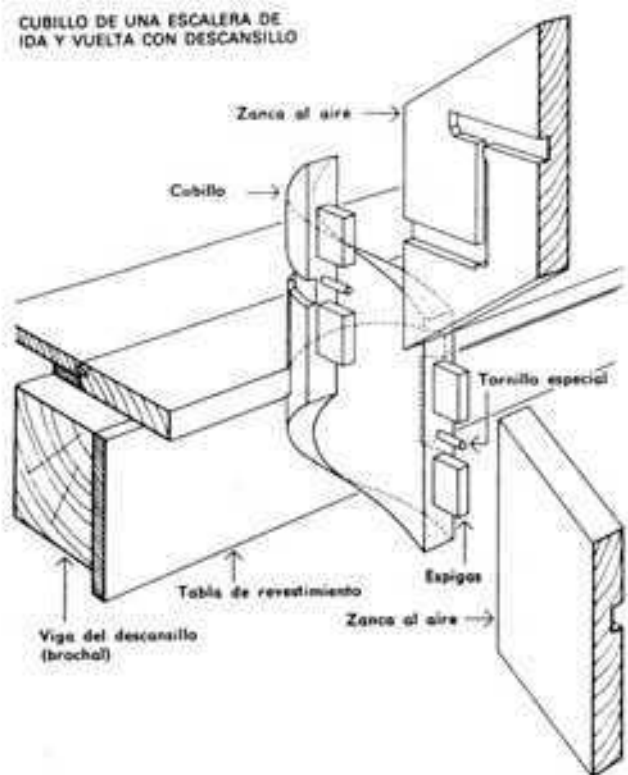
PIEZAS DE ENLACE ENCOLADAS



PIEZA DE ENLACE DE LAS ZANCAS (CUBILLO) EN UNA ESCALERA CON DESCANSILLO



CUBILLO DE UNA ESCALERA DE IDA Y VUELTA CON DESCANSILLO



Cubillos

Se denominan cubillos las piezas curvas que sirven para enlazar dos zancas al aire que van en distintas direcciones. El enlace de tales zancas con el cubillo se efectúa mediante espigas o llaves y pernos con cabezas ocultas, como las uniones de las zancas a los pilotes de arranque. Los numerosos vaciados que hay que practicar en el cubillo para efectuar esos enlaces implican desde

luego una debilitación de dicha pieza, que, por consiguiente, debería tener, cuando menos, un espesor de 6 cm. Por razones de estética, las zancas que con dicho cubillo se enlazan deberían tener también ese mismo grueso de 6 cm.

Para lograr un buen trazado del cubillo, y con él el del trozo curvo del pasamanos, hay que regirse por la anchura del ojo de la escalera. La forma resulta perfecta cuando se conserva en el cubillo la misma pendiente de éste. De esto se sigue que con pendientes poco acentuadas se requieren piezas curvas más anchas y con pendientes fuertes piezas más estrechas, tanto para la zanca como para el pasamanos. Pero como variaciones pequeñas en la pendiente, en el trazado de estas piezas curvas, apenas si se dejan sentir, en la práctica no se suelen emprender largos y laboriosos cálculos para buscar una gran precisión sino que más bien se emplean valores aproximados, determinados prácticamente. De acuerdo con esto, el ojo de la escalera y, por tanto, el cubillo y la curva del pasamanos han de tener, como mínimo, de 18 a 20 cm de luz para las pendientes de tipo usual en las escaleras de las casas de vivienda.

Los cubillos y las curvas de pasamanos más estrechos producen una impresión de mezquindad. Para ojos de más de 30 cm, los cubillos y las curvas del pasamanos se hacen a base de tabloncillos encolados.

Para resolver la forma del cubillo de la zanca se plantea el siguiente problema:

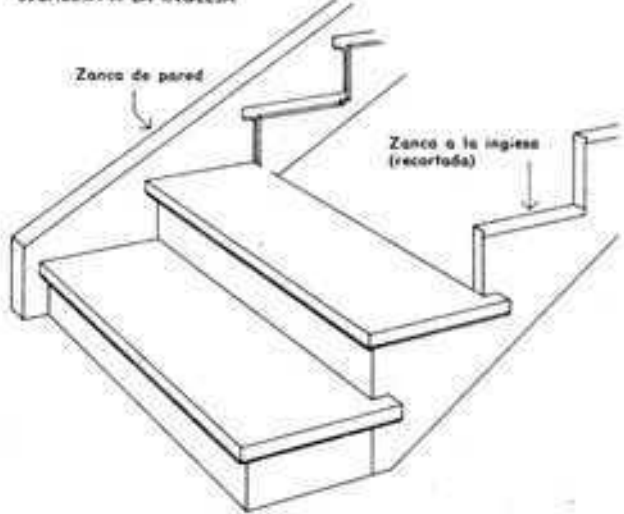
Tómese, en los peldaños compensados, que tienen en su encuentro con la zanca interior una anchura de huella reducida, el sobrante de altura que la zanca tiene sobre los bordes anterior e inferior de los peldaños haciendo dicho sobrante igual que en los peldaños rectos, con lo cual, debido a la pendiente más fuerte, resultará una anchura de zanca notablemente reducida que va pasando progresivamente a convertirse en la plena anchura al llegar a los peldaños rectos. Sin embargo, un fuerte ensanchamiento o estrechamiento de la zanca produce un efecto muy feo. Es mucho mejor, en los peldaños compensados, aumentar por arriba y por abajo los sobrantes de anchura de la zanca de manera que la variación de anchura de ésta se efectúe suavemente. En problemas de esta clase no suele trabajarse sobre los planos de detalle de escala 1 : 10, sino que, si es necesario, se corrige la plantilla en tamaño natural sobre el terreno, haciéndolo el mismo operario constructor. En muchos casos todavía es necesario efectuar pequeñas modificaciones en la compensación de los peldaños con objeto de mejorar la forma de las zancas.

Escaleras a la inglesa

En estas escaleras van colocadas las huellas de los peldaños encima de las zancas. Huellas y contrahuellas recortan la zanca, que recibe el nombre de "zanca a la inglesa" o "de cremallera", con lo cual su resistencia o aptitud para soportar cargas queda fuertemente reducida.

Las escaleras con una o dos zancas de cremallera son deficientes desde el punto de vista constructivo y, además, antieconómicas.

ESCALERA A LA INGLESA

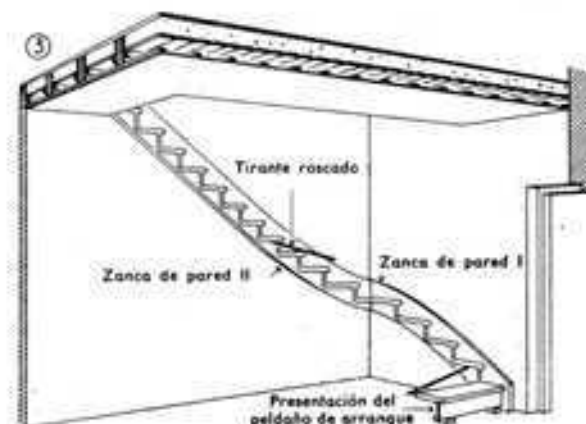
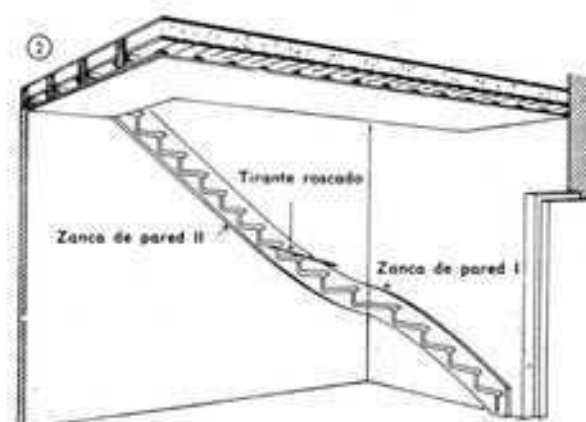
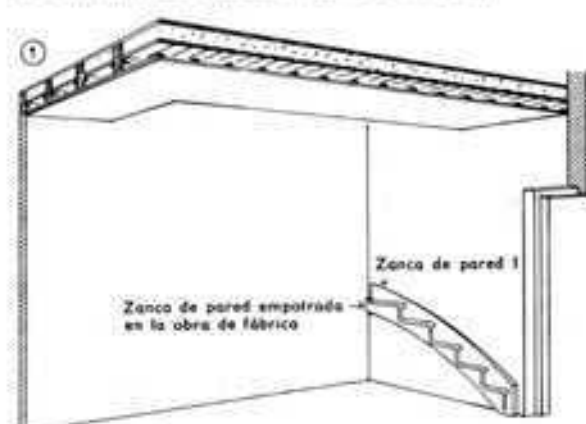


cas. Se aplican sólo a tramos cortos o en los sitios en que es posible el empleo de zancas suficientemente anchas o en que éstas se hallen eficazmente apoyadas.

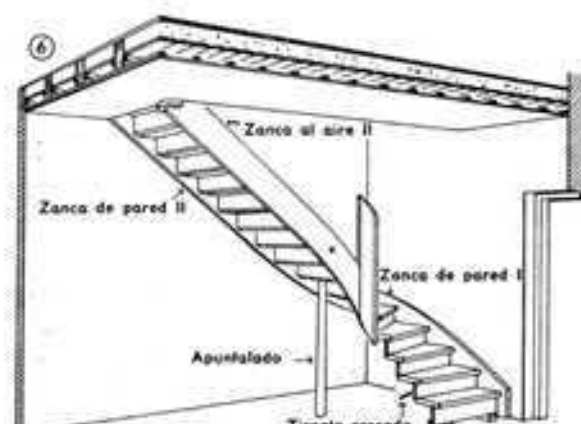
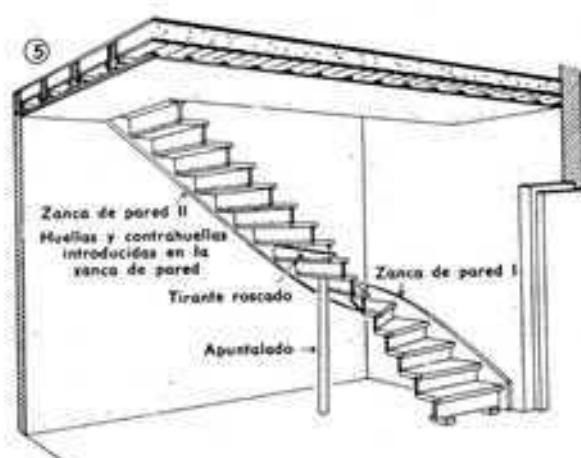
Escaleras de caracol de madera

Sólo la construcción de zancas compuestas de tiras de tableros delgados de madera multilaminada ha hecho posible la realización de este tipo de escaleras. Como piezas decorativas de artesanía tienen cada vez más aceptación. Pueden encontrarse como escaleras principales en los halls de casas unifamiliares o como interesante escalera secundaria en edificios de administración, almacenes, etc. Casi nunca tiene huellas y contrahuellas; en la mayor parte de los casos las huellas van introducidas en ranuras, o bien se las ejecuta como escaleras a la molinera de peldaños encajados. (Véase página 247). Estas escaleras tienen un aspecto más ligero que las que tienen contrahuellas. El más ligero y decorativo de los aspectos resulta cuando se colocan las huellas de los peldaños encima de las zancas de tal forma que aquéllos sobresalen a ambos lados de éstas.

CONSTRUCCIÓN DE UNA ESCALERA DE MADERA
REPRESENTADA EN 7 FASES DE TRABAJO
(TOMADA DEL «DEUTSCHER ZIMMERMEISTER»
NUM. 11-1951, POR O. BERGER, MAESTRO CARRINTERO)

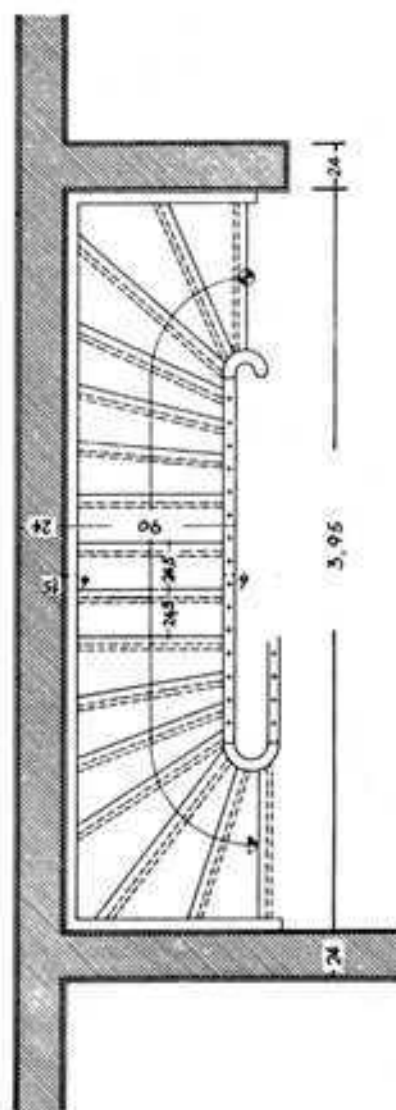
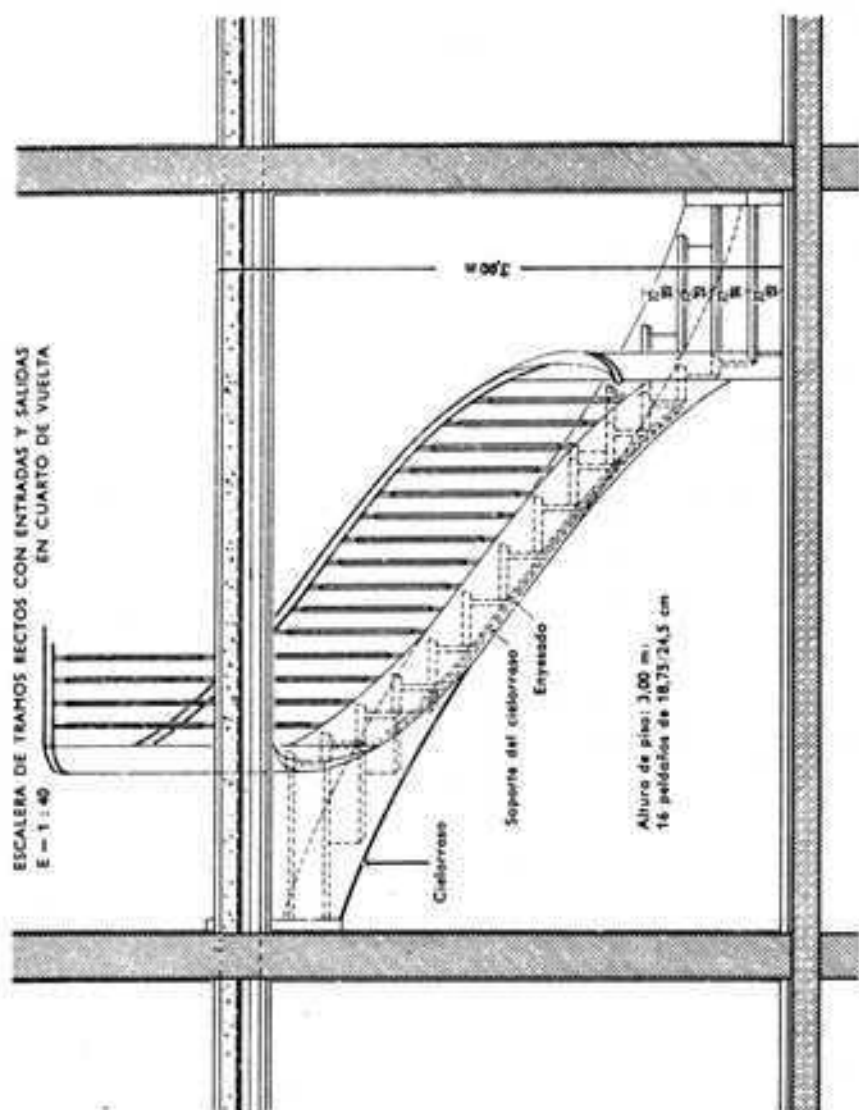


Igual que las zancas, los pasamanos y en algunos casos los barrotes de las barandillas se hacen también con tiras de madera multilaminada montándolas sobre un tambor de diámetro adecuado. Todas estas piezas se chapean. Las barandillas deberían adaptarse en su dimensionado al aspecto ligero de la escalera. Para las huellas se emplean tabloncillos de 40-45 mm de espesor, de madera fresno o de roble, por ejemplo.



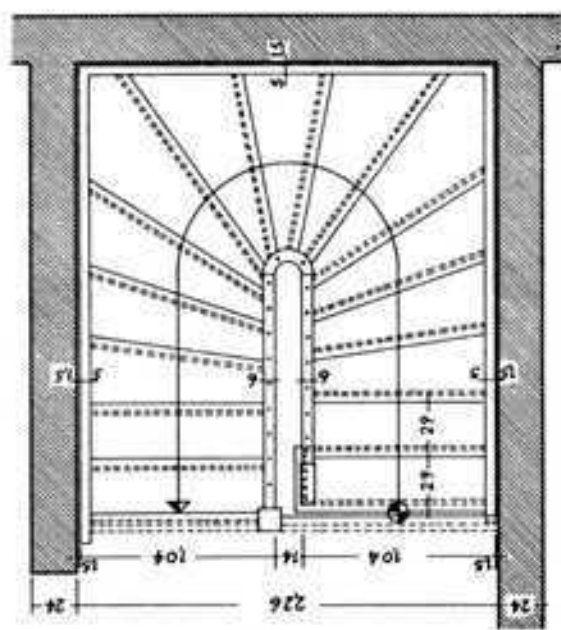
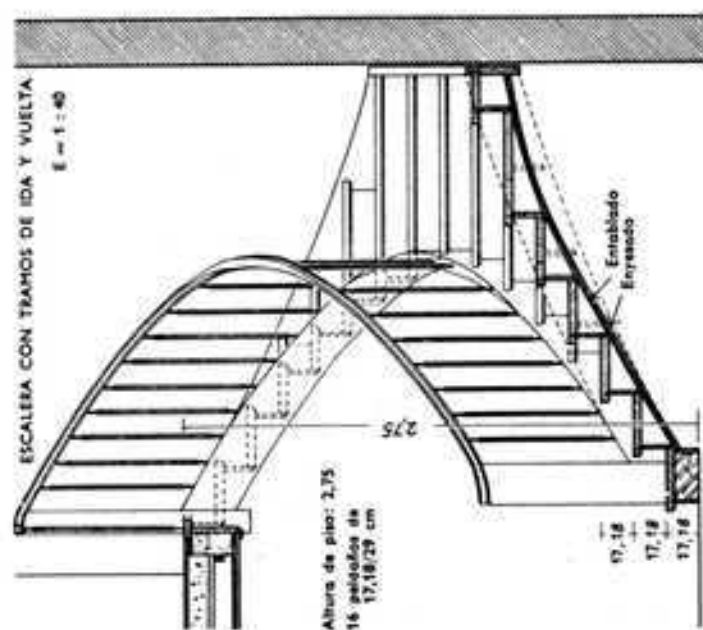
ESCALERA DE TRAMOS RECTOS CON ENTRADAS Y SALIDAS
EN CUARTO DE VUELTA

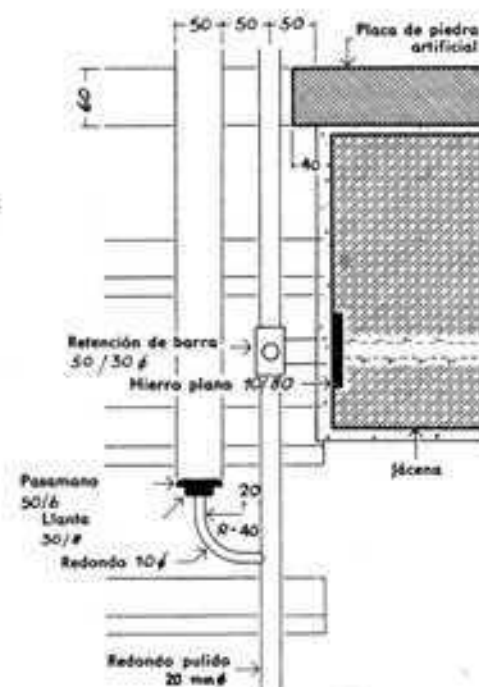
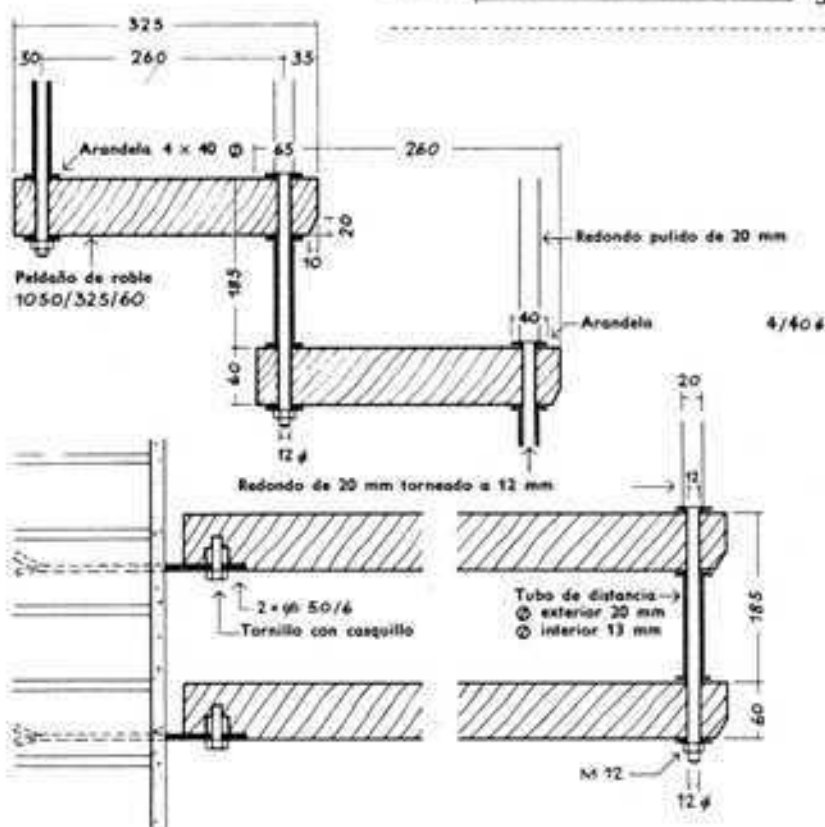
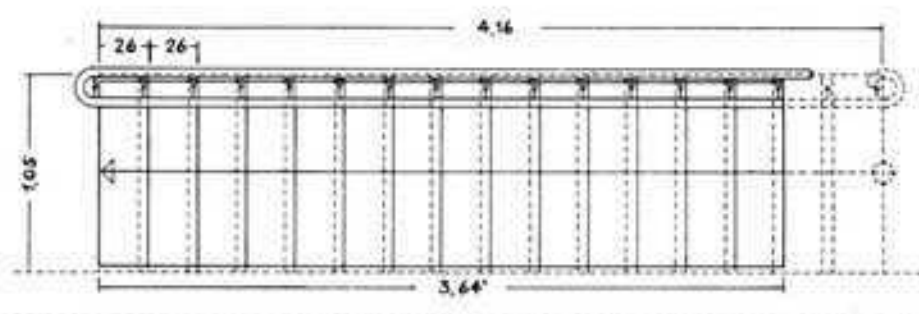
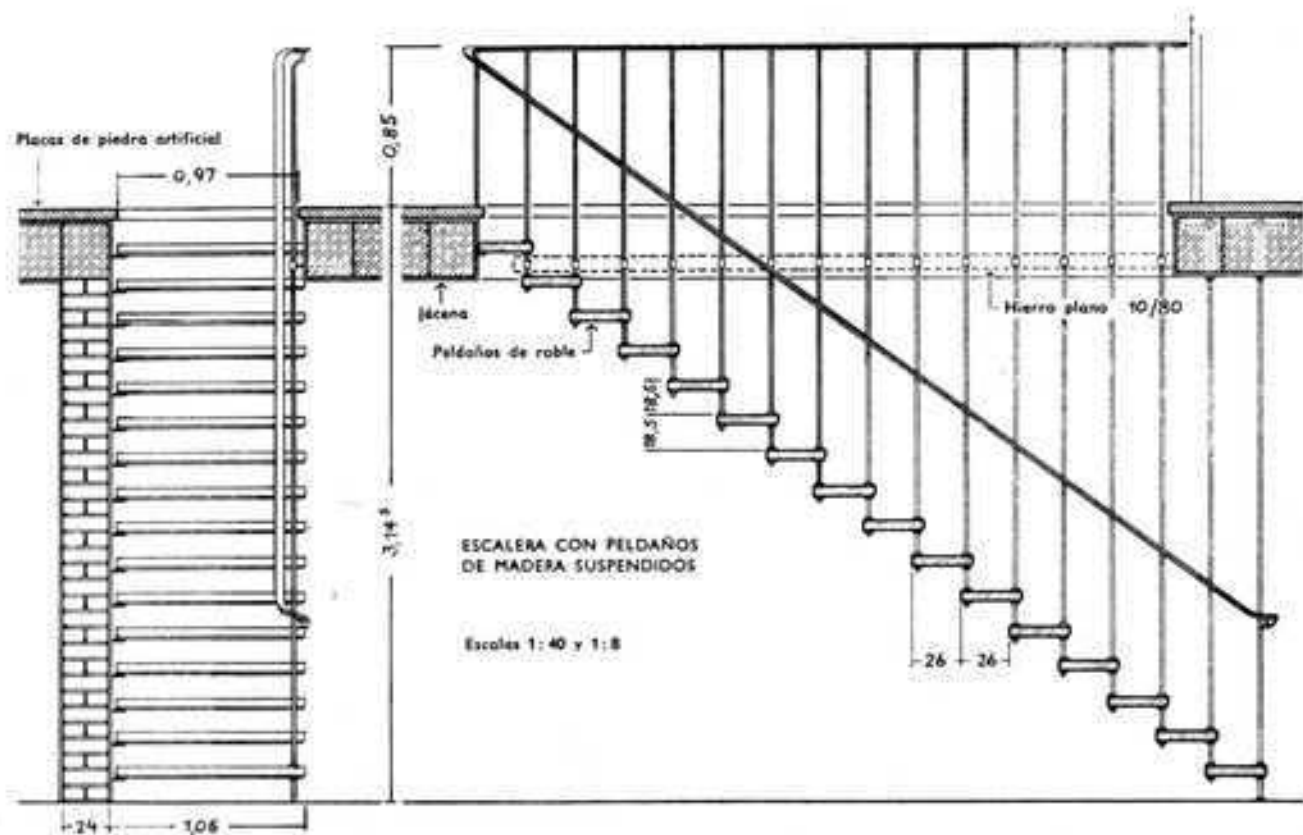
E = 1:40



ESCALERA CON TRAMOS DE IDA Y VUELTA

E = 1:40





Escaleras de piedra natural y artificial

En estas últimas décadas, la piedra artificial ha desplazado en gran medida la piedra natural gracias a su precio más reducido y a la posibilidad de ser fabricada en todas partes.

Peldaños de piedra natural

En la actualidad, son empleados casi exclusivamente en las proximidades de las canteras (donde se eliminan en gran parte los costosos gastos de transporte) siendo destinados a la construcción de escalinatas o escaleras al aire libre y, excepcionalmente, a escaleras interiores.

Para la construcción de peldaños de escaleras al aire libre, sólo son adecuadas piedras duras, como p. ej. muchas calidades de areniscas, el granito, la caliza conchifera, el travertino y el basalto. La longitud de los voladizos puede llegar a 1,20 m con la arenisca y a 1,50 m con el granito.

Peldaños de piedra artificial

Se fabrican con dos clases de hormigón: el de la capa exterior y el del núcleo interior. La capa exterior se hace con una mezcla de piedra triturada, que puede ser, p. ej., caliza, granito, travertino, diábase, etc., aglomerada con cemento. Cuando la piedra artificial ha de hallarse expuesta a un enérgico desgaste, como sucede en el caso de peldaños de escalera y losetas para descansillos, se hará la mezcla con dos partes y media, máximo tres, de piedra para una parte de cemento. El hormigón interior, por las tensiones que se presentarán entre él y la capa de revestimiento, no debe hacerse excesivamente árido. Es recomendable el empleo de una dosificación 1 : 4 y como máximo de 1 : 5. Los peldaños de piedra artificial se moldean en encofrados o moldes de madera cuidadosamente preparados, y, mejor aún, en moldes metálicos de precisión, donde se apisona o asienta bien la masa. Si la piedra artificial ha de estar expuesta a un desgaste muy fuerte se endurecerá mediante un tratamiento por vapor a presión. Las superficies extensas son pulidas mecánicamente en tanto que las molduras o fajas estrechas se pulen a mano; se hace así desaparecer la capa superficial de cemento y se logran superficies lisas y brillantes. Trabajar con herramientas de cantero la piedra artificial es un contrasentido y debería evitarse. Los peldaños que no pasan de 15 cm no suelen en general llevar ninguna moldura. Si son más altos se acostumbra darles. Por regla general son más económicos; pueden ir armados; la armadura aumenta la seguridad contra la rotura y hace posibles mayores longitudes en voladizo; permiten, además, disminuir las dimensiones de la sección y practicar aligeramientos y huecos que reducen el peso de los peldaños, facilitando así los transportes y la colocación; al fabricar las piezas pueden dejarse ya en ellas los orificios necesarios para la inserción de las barandillas. Estas ventajas explican perfectamente la creciente desaparición del uso de la piedra natural.

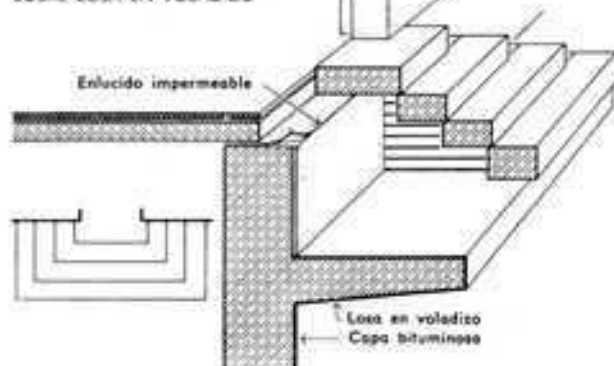
Escalinatas

En todas las escaleras al aire hay que procurar realizar una cuidadosa cimentación, a fin de que los peldaños no se separen de la obra.

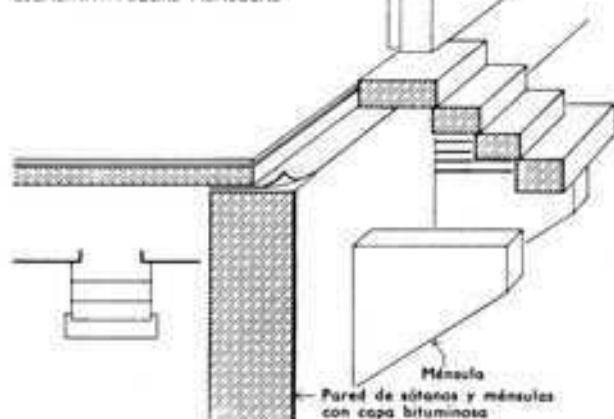
Si se trata de pocos peldaños pueden ser todavía colocados sobre una placa o ménsula en voladizo, construida con hormigón armado y sólidamente enlazada con la pared de los sótanos, de manera que los peldaños descansen sólo sobre el conjunto de la obra.

Además, las escaleras situadas al exterior deben tener sus cimientos al abrigo de las heladas y no hay que apoyarlas sobre la tierra removida con que se han rellenado zanjas de cimentación. La seguridad del tránsito por las escalinatas de acceso a las puertas exteriores, en invierno queda afectada por el hielo y la nieve. Por esta razón suelen escogerse generalmente y por término medio pequeñas alturas de peldaño de 14 a 16 cm con huellas de 30 a 32 cm dándoles una ligera pendiente hacia

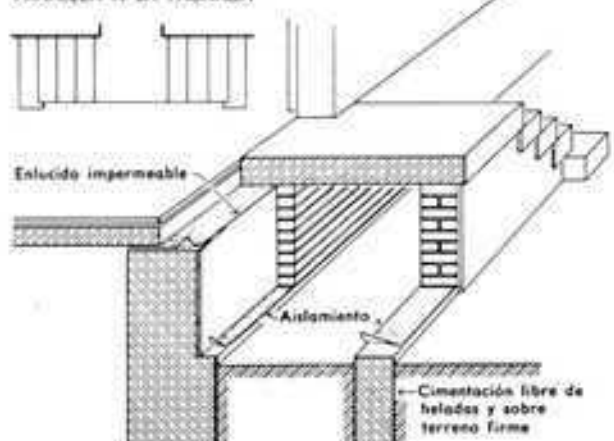
ESCALINATA DE TRES FRENTES
SOBRE LOSA EN VOLADIZO



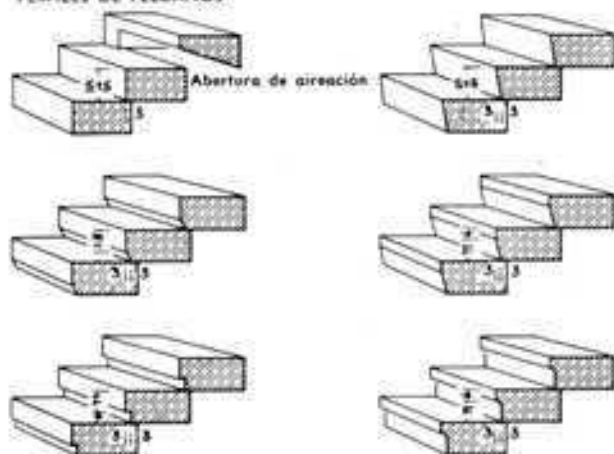
ESCALINATA SOBRE MÉNSULAS



CIMENTACIÓN DE UNA ESCALINATA
PARALELA A LA FACHADA



PERFILES DE Peldaños



delante (de unos 3 mm) a fin de que escurra el agua que sobre ellos pueda caer. En tramos de escalera paralelos a la pared se da a los escalones, además, una pendiente a partir de la pared para impedir que la humedad vaya a impregnar ésta. Si detrás del tramo de escalera hay habitaciones, no se empotran los escalones en la pared directamente, sino que se contruye una estructura independiente donde se apoyan los peldaños por ambo extremos. Se protege entonces la pared con una capa impermeable.

Los peldaños que no pasan de 15 cm no suelen en general llevar ninguna moldura. Si son más altos se acostumbra darles algún perfil que haga que no parezcan tan macizos y pesados. El tipo de barandilla a emplear en las escalinatas depende de la construcción de la escalera, del edificio y del efecto que se desee obtener.

Para las escalinatas son adecuados los antepechos macizos y las barandillas metálicas. Los barrotes que hay que colocar han de ser fuertes y deben ir empotrados en los peldaños a unos 12 cm, por lo menos, de profundidad y a unos 8 ó 10 cm del borde. La argamasa de fijación debe ser lo más seca posible para evitar el peligro de oxidación. Los barrotes llevarán además unas arandelas de protección.

Escaleras al aire

Las escaleras al aire, especialmente las de piedra artificial armada, gustan mucho por su aspecto agradable y ligero. Son muy apropiadas para el caso de escaleras de tramos rectos. Sin embargo, la colocación en obra de los escalones es una operación laboriosa y larga, porque la altura de los peldaños casi nunca coincide con los lechos de la obra en la pared, por lo cual se requiere siempre mucho trabajo de ajuste y recorte de obra, y, además, el trabajo realizado da siempre una impresión de poca pulcritud y poca confianza en la calidad de la obra. Para apoyar y fijar los extremos de los peldaños es, además, necesaria una cimbra o andamio muy exacto y estable, que no puede ser desmontado hasta que toda la sobrecarga está colocada en su sitio, la obra bien fraguada y las juntas entre los peldaños bien rellenas y rejuntadas.

En las escaleras al aire, cada peldaño es una pieza en voladizo que ha de estar bien empotrada en su punto de fijación en la pared de fábrica. Las longitudes máximas que pueden darse a los peldaños son, para la piedra arenisca, 1,20 m, para el granito y la piedra artificial armada, 1,50 m.

Cada peldaño se apoya en el inmediato inferior; de esta manera parte de la carga es transmitida oblicuamente hacia abajo. Cada peldaño queda además solicitado por torsión porque únicamente por su borde anterior descansa en el escalón inferior, quedando sin apoyo el borde posterior precisamente por la parte donde recibe la carga del peldaño de encima.

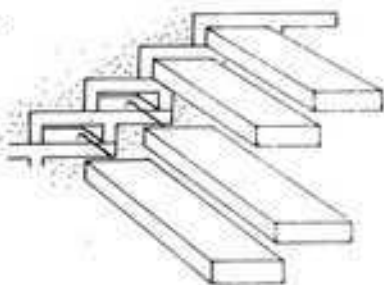
Los peldaños de piedra natural en las escaleras al aire suelen tener sección rectangular; los de piedra artificial son, en la mayoría de los casos, de sección de cuña o triangular.

Los peldaños rectangulares de piedra artificial sólo se emplean cuando la cara inferior de la escalera queda oculta o bien recae en locales de sótanos donde el que se vea carece de importancia. Para fijar mejor en la pared los peldaños de forma de cuña se da a la parte empotrada de la escalera una sección rectangular. Los bordes de los peldaños que dan a la parte del ojo de la escalera pueden llevar un perfil que detenga el agua de la limpieza, a fin de que no gotee lateralmente.

Los peldaños de piedra natural para escaleras al aire pueden tener también, lo mismo que los de piedra artificial, sección rec-

tangular o triangular. Los de sección triangular, sin embargo, llevan siempre el borde posterior más reforzado que los de piedra artificial, por lo que la superficie inferior de la escalera nunca resulta bien lisa, sino que presenta resaltes (semienrasada).

ESCALERA CON PELDAÑOS DE LOSAS ARMADAS



Los peldaños de piedra artificial o natural se colocan con una ligera pendiente hacia adelante (< 5 mm).

El espesor de la pared de la caja de escalera, así como la profundidad de empotramiento de los peldaños, ha de ser por lo menos de 24 cm.

Los peldaños de las escaleras interiores, a fin de tener algo más de ancho de huella y, además, mejor aspecto, llevan una moldura en saliente o "mampirlán" de unos 3 ó 4 cm.

Se suele aplicar a la pared, junto al empotramiento o arranque de los escalones, un zocalillo de piedra natural o artificial para prevenir la suciedad de la pared en su parte baja. Para dar mayor unidad al aspecto de conjunto, es frecuente emplear en este zocalillo el mismo material que en los peldaños.

Para que las presiones se transmitan con uniformidad, los peldaños de piedra artificial deben colocarse sobre juntas de 3 a 4 mm de espesor, hechas con una capa bien uniforme de mortero de cal y cemento. En las escaleras de granito se emplea mortero de cemento.

Las escaleras al aire hechas de piedra, con la cara inferior enyesada a modo de cielo raso, tienen el inconveniente de que, al fregarlas, es muy fácil que penetre agua por las juntas y produzca manchas en el yeso.

Al construir los tramos de las escaleras hay que tener cuidado de que, tanto desde el punto de vista constructivo como del estético, los enlaces con los descansillos queden bien hechos. La solución más bella se logra haciendo que la arista de quebranto formada por el cielo raso del descansillo con los de los tramos ascendente y descendente sea una sola línea recta.

Las vigas de descansillo, que son más gruesas que las placas de dicho descansillo y que, por tanto, sobresalen por abajo, no resultan de aspecto agradable, por lo cual hay que evitarlas siempre que sea posible.

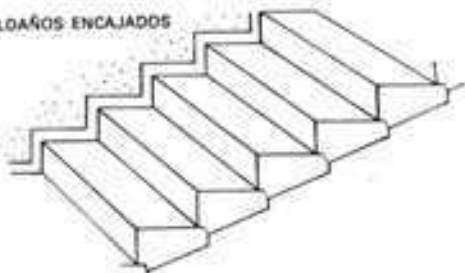
Cuando las cajas de escalera tienen un ancho normal para dos tramos, es decir son de 2,25 m a 2,50 m, se pueden hacer los descansillos de piedra artificial armada o apoyada en viguetas de acero, de manera que su espesor no exceda del que debe tener. Caso de que sea necesario se hace que el descansillo se apoye sobre una viga especial del mismo.

Las escaleras de casas para una sola familia y pequeñas casas de pisos, con tramos de poca luz, pueden hacerse con plazas de piedra artificial armada. Esas escaleras que dejan pasar la luz entre unos peldaños tienen un aspecto aéreo y ligero y dan a la caja de escalera un aspecto más amplio que el que tendrían con escaleras de peldaños llenos. El empotramiento en el muro de los peldaños formados por placas o losas sueltas, que resulta aún más difícil y laborioso que el de los peldaños triangulares de las escaleras al aire de tipo normal, puede simplificarse si al subir las paredes de la caja de la escalera se emplean las correspondientes piezas prefabricadas de forma especial, que al ser colocadas como empotramiento de los escalones pueden ya formar el zócalo de la escalera.

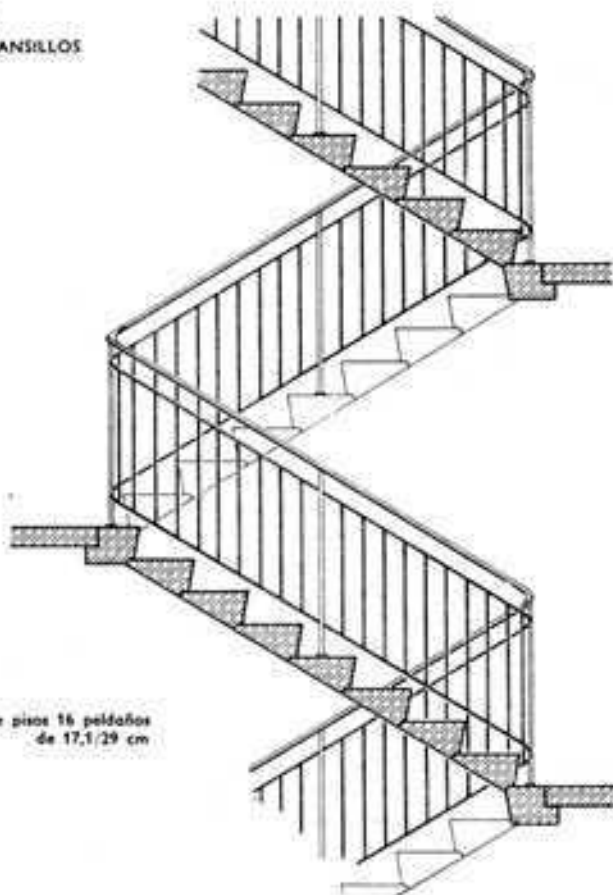
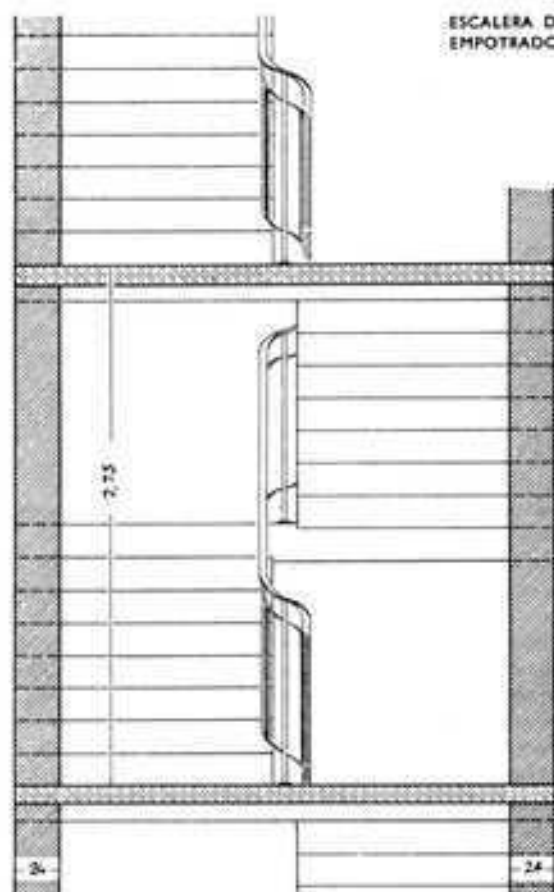
Una vez terminada la construcción en bruto, se introducen las placas o losas de los peldaños, relleno luego las juntas con un mortero fino lo más consistente posible.

Este tipo de escalera de peldaños aislados puede también ser adecuado para exteriores cuando se juzgue que ofrece ventajas arquitectónicas.

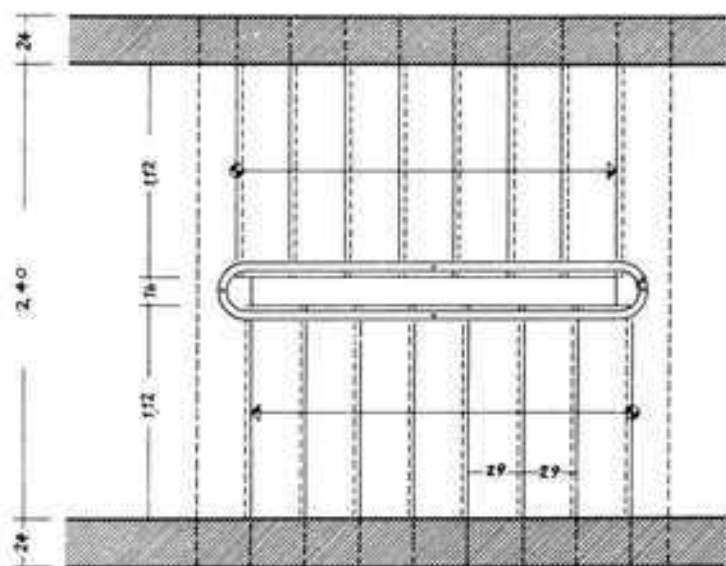
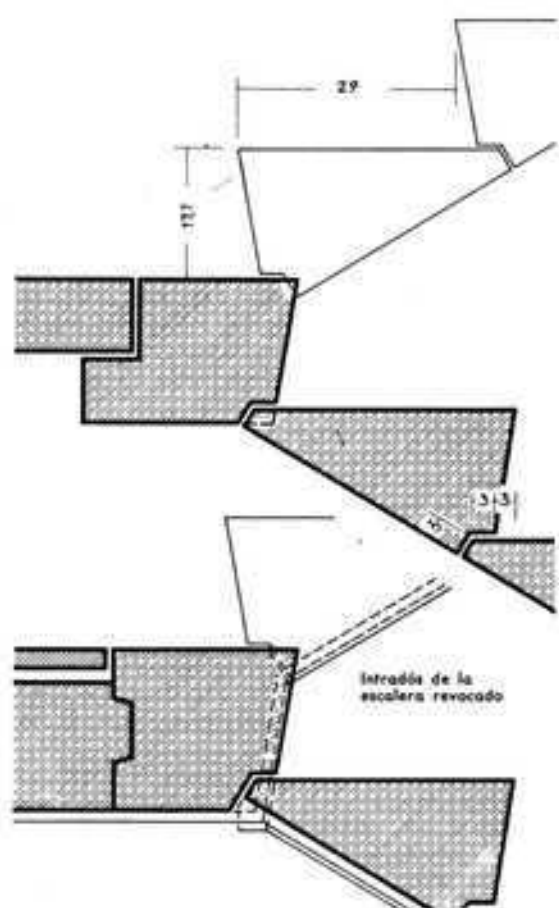
ESCALERA DE PELDAÑOS ENCAJADOS



ESCALERA DE PELDAÑOS
EMPOTRADOS, CON DESCANSILLOS



Entre pisos 16 peldaños
de 17,1/29 cm



VARIANTE



Escaleras de caracol

Las escaleras de caracol de piedra artificial pueden hacerse; con ojo y peldaños empotrados en la pared, con peldaños empotrados en la pared y espigón (macizo o hueco que posteriormente se arma y hormigona).

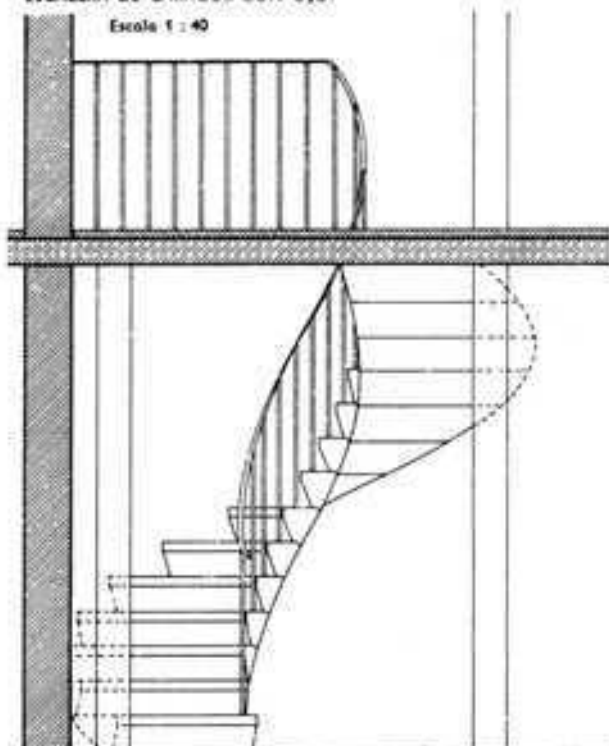
El intradós de la escalera puede quedarse enlucido como superficie helicoidal continua, o escalonado.

Las escaleras de caracol con peldaños empotrados en la pared y ojo central son verdaderas escaleras al aire. Los peldaños de forma de cuña requieren, como todos los peldaños al aire, una profundidad de empotramiento mínima de 24 cm. Su cara o superficie inferior es lisa.

Las escaleras de caracol con espigón macizo tienen que cargar cuando menos 11,5 cm en la obra de la pared. Cada peldaño lleva su correspondiente trazo de espigón. La superficie inferior de los peldaños suele dejar un intradós escalonado. En las escaleras de caracol de espigón hueco se colocan los peldaños uno encima del otro y luego el hueco que queda en el eje se arma y se rellena de hormigón. Desde el punto de vista del trabajo, lo más sencillo es encajar cada peldaño en un tubo de acero bien empotrado en el suelo para verter finalmente hormigón en su interior, que luego se ancla en el techo o piso superior.

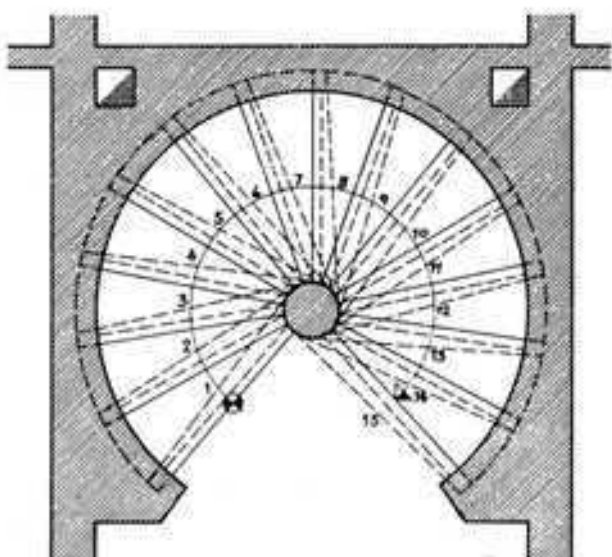
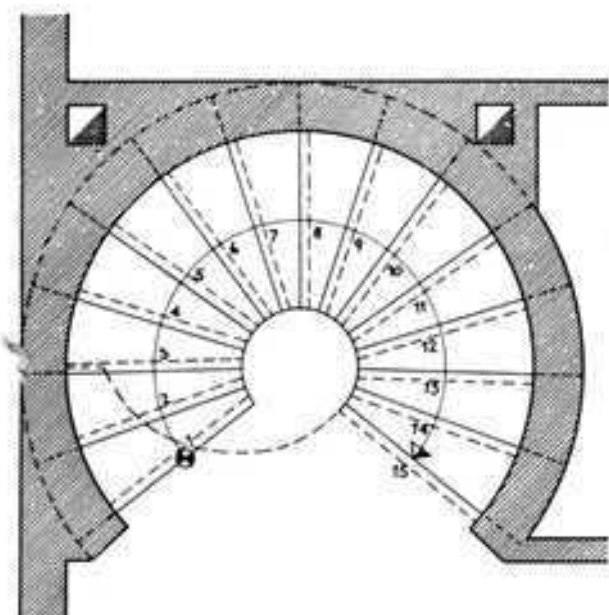
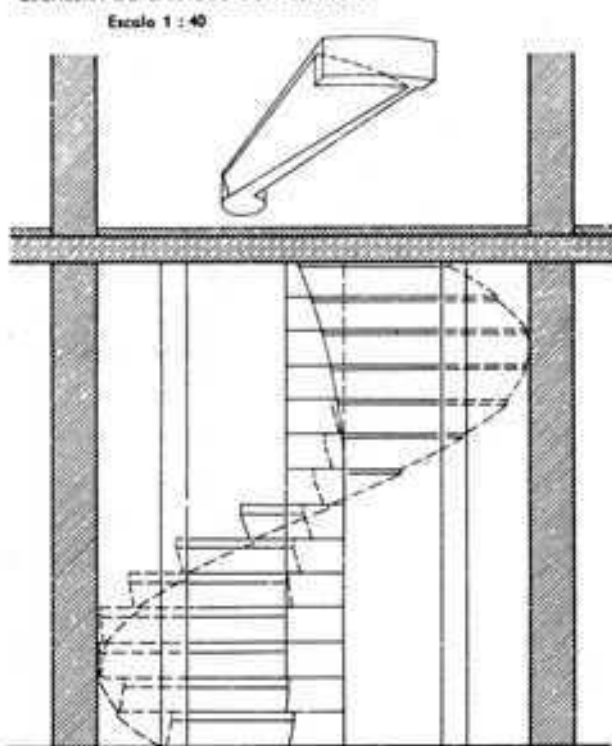
ESCALERA DE CARACOL CON OJO

Escala 1 : 40



ESCALERA DE CARACOL CON ESPIGÓN

Escala 1 : 40



Escaleras de hormigón en masa

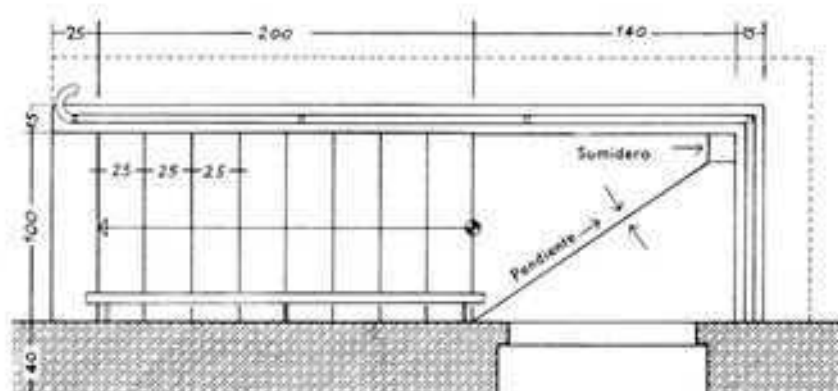
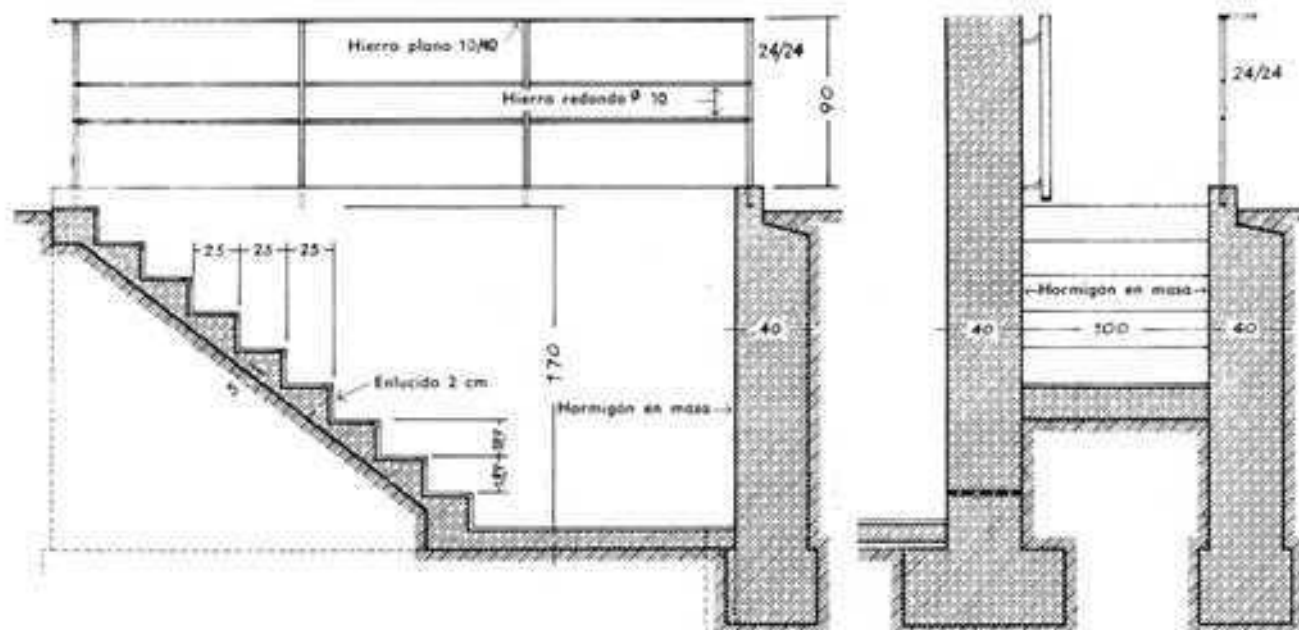
Las escaleras de hormigón en masa sólo son apropiadas para las aplicaciones secundarias, como p. ej. como escaleras de sótanos y patios.

En la mayoría de los casos se construyen en la misma obra sobre apoyo de terreno firme con lecho o capa de hormigón magro (por ejemplo 1 : 8). Los peldaños de hormigón apisonado se recubren con una capa de mortero de cemento de unos 2 cm (1 : 3), que

sirve de huella y de capa de desgaste y al mismo tiempo permite nivelar y arreglar los peldaños, que siempre presentan irregularidades al desencofrarlos.

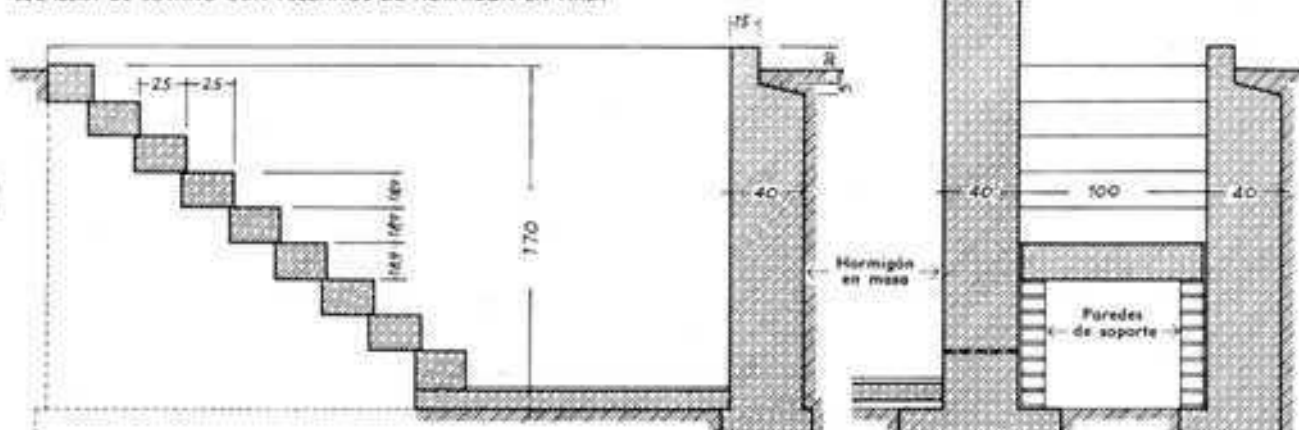
Sin embargo, también es posible moldear los peldaños uno a uno para después colocarlos en obra. Se hacen sin mampirán ni moldura alguna, de sección rectangular y con un hormigón de dosificación entre 1 : 8 y 1 : 6, dándoles luego un revestimiento de mortero de cemento de 1 : 2,5 a 1 : 3. Su luz entre apoyos debe ser < 1,00 m.

ESCALERA DE SÓTANO DE HORMIGÓN EN MASA

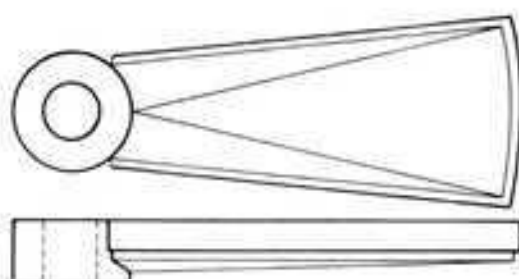
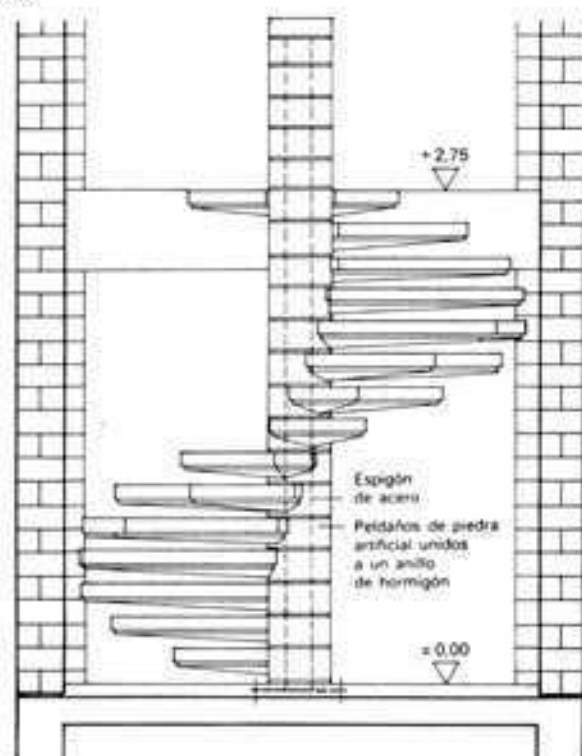


Escala 1 : 40

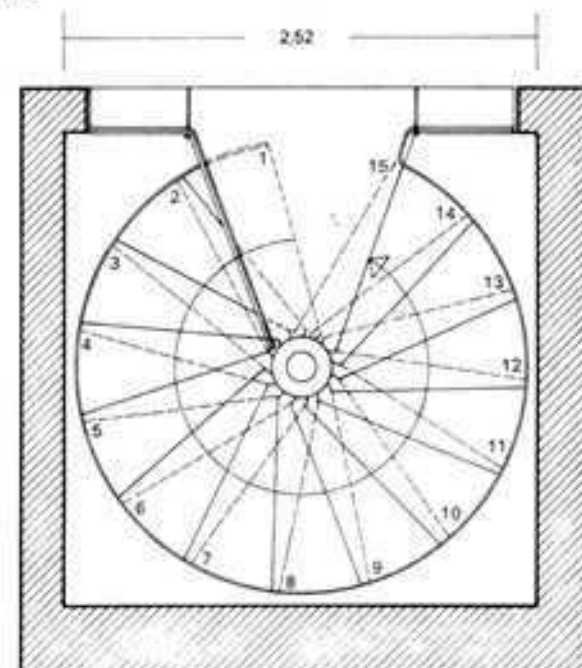
ESCALERA DE SÓTANO CON Peldaños DE HORMIGÓN EN MASA



Alzado



Planta



Escaleras de hormigón armado

Actualmente, las escaleras de hormigón armado gozan de una marcada preferencia en la construcción de los edificios públicos y locales de mucha importancia representativa, debido a su idoneidad, a su seguridad contra incendios, a su facilidad para adaptarse a las formas más convenientes y a la sencillez de su construcción.

Las escaleras de hormigón constan de una losa armada, con los peldaños hormigonados en la misma o sobrepuestos (peldaños prefabricados).

Losas de escalera

La losa de la escalera puede apoyarse por sus extremos o por sus costados (trabajo por flexión longitudinal o transversal).

Losas de escalera apoyadas en sus extremos

Pueden apoyarse en descansillos sucesivos o bien ser de forma quebrada e ir de pared a pared. Pueden construirse losas tanto para escaleras de tramos rectos como para las de planta curva o para escaleras aisladas en el centro de un local.

Cosa especial: Constituye una excepción la escalera de losa escalonada.

En las escaleras largas de un solo tramo, los espesores de las losas resultan considerables; pueden disminuirse interponiendo apoyos o descansillos suspendidos que dividan la luz.

Losas de escalera apoyadas por sus costados

Pueden ir apoyadas entre dos vigas que sirvan de zancas o en una de las paredes de la caja de escalera, y por el otro lado en una viga-zanca, o bien quedar al aire en forma de voladizo empotrado en la pared o ligado a la construcción de ésta. Las losas apoyadas por sus costados, por su menor luz, son de menor espesor que las losas apoyadas por sus extremos. Las vigas que sirven de zancas pueden hacerse de hormigón armado con la armadura introducida en parte en la losa del descansillo, o con perfiles laminados. Pueden ir encima o debajo de las losas de tramo, o a media altura, como las zancas de las escaleras de madera.

Enlaces con los descansillos

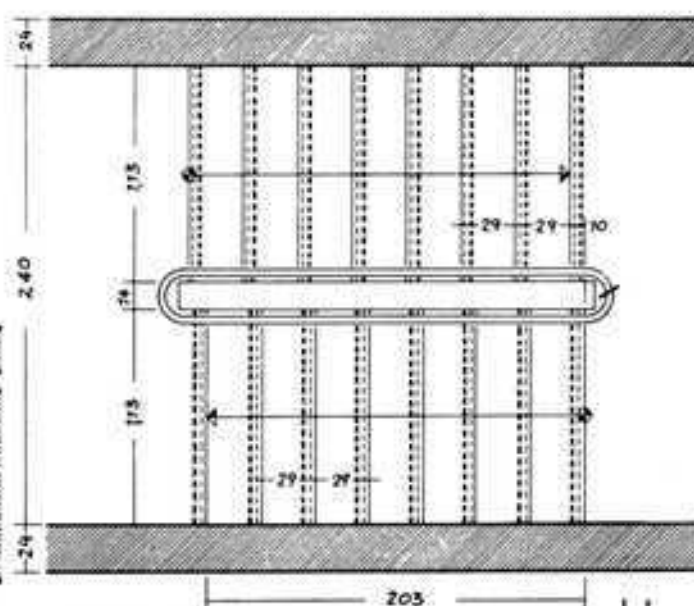
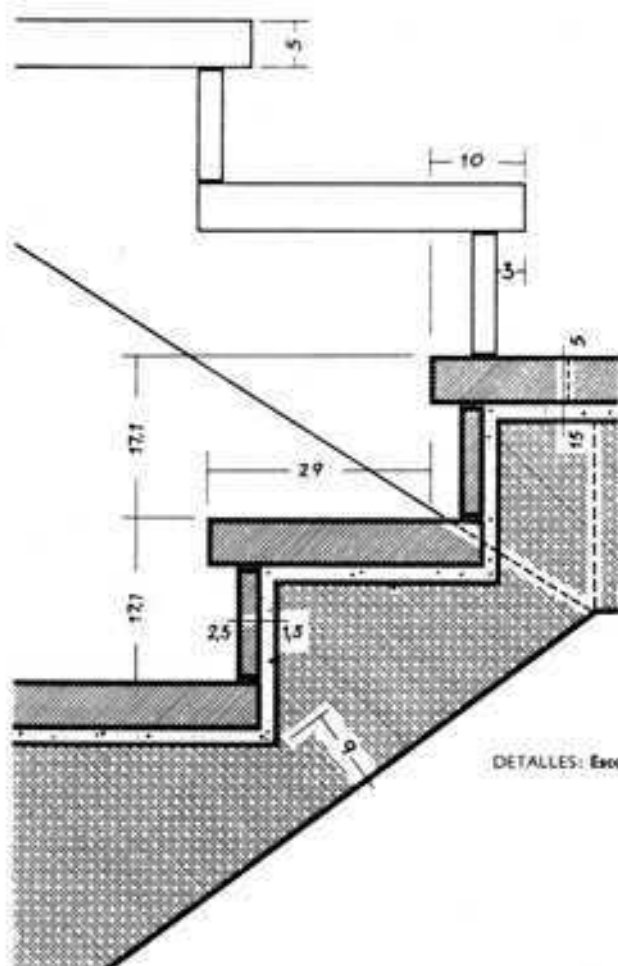
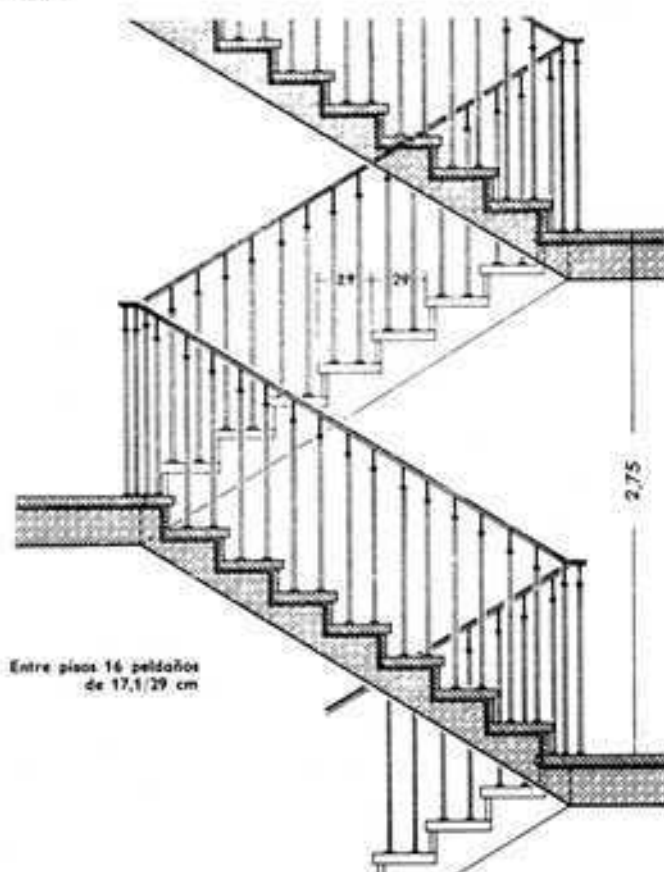
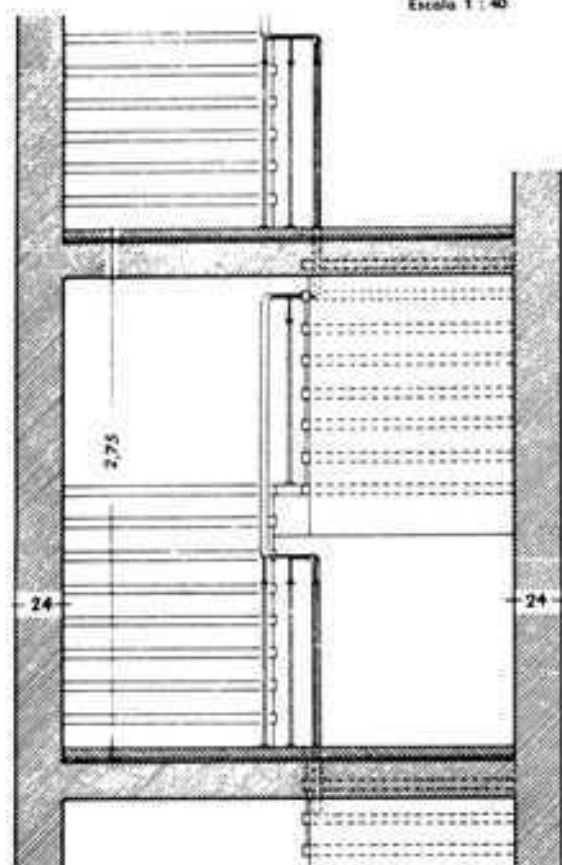
Los mismo que en las escaleras al aire, la mejor solución es el paso sin solución de continuidad de las losas de los tramos a la losa del descansillo. Habría que evitar, siempre que sea posible, las vigas de descansillo de excesiva altura. Cuando las escaleras son de doble tramo y descansillos, y están en cajas de anchura normal, pueden armarse las losas de descansillo (longitudinal o transversalmente o también con armaduras cruzadas) o pueden colocarse vigetas de acero de manera que por debajo no sobresalgan y aparezca continuo el intradós.

Cuando se trata de cajas de escalera de gran anchura o existen otras razones que hacen necesaria la colocación de una viga de descansillo cuya altura exceda sólo algunos centímetros del espesor o grueso de la losa del descansillo, conviene considerar si no será mejor aumentar el espesor de la losa hasta igualar la altura absolutamente indispensable de la viga, con el fin de lograr una superficie inferior plana y sin resaltes.

En cajas de escalera de gran amplitud o en los casos de cargas considerables por recaer sobre las vigas de descansillo largos tramos de escalera, no resultaría económico igualar el espesor de la losa del descansillo a la altura de las vigas; en tales casos, lo mejor es separar la viga y colocarla de manera que no coincida con la arista de quebranto común de los tramos con el des-

ESCALERA DE HORMIGÓN ARMADO

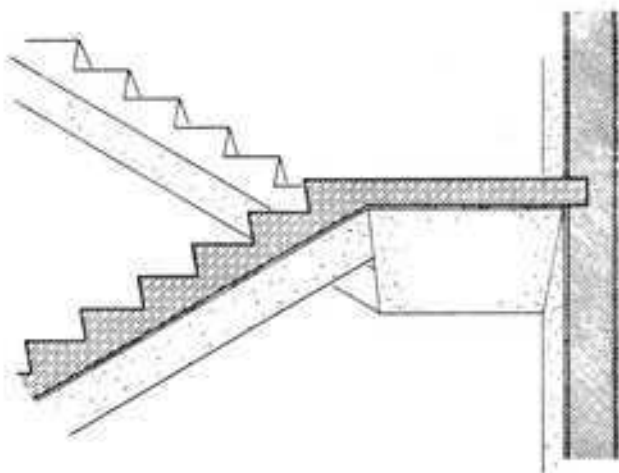
Escala 1:40



VARIANTE: HUELLAS CON TALÓN ACHAFLANADO

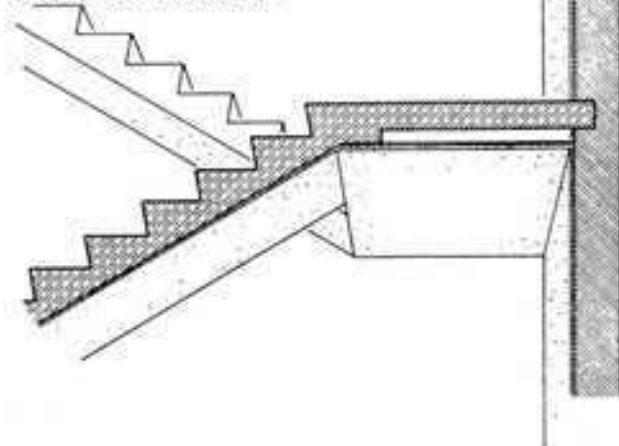
DETALLES: Escala 1:8



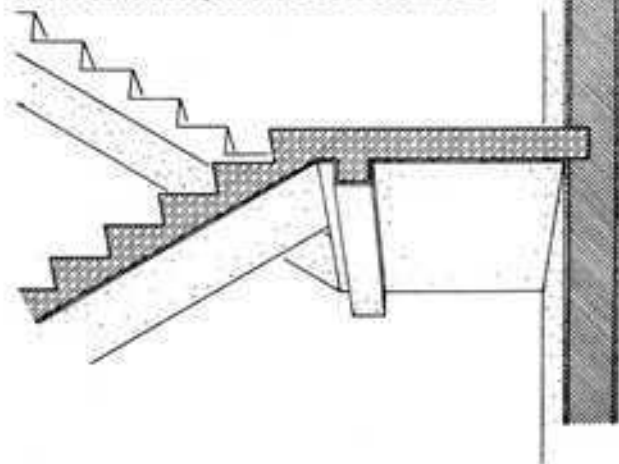


DESCANSILLO DE LOSA. CARA INFERIOR LISA

VIGA DEL DESCANSILLO OCULTA POR UN CIELORRASO SUSPENDIDO



VIGA DEL DESCANSILLO VISIBLE, RETRASADA DE LA ARISTA COMÚN DE QUEBRANTO DE AMBOS TRAMOS



cancillo en sus caras inferiores. Si, como suele suceder, las contrahuellas correspondientes a la entrada y a la salida del descansillo coinciden en un mismo plano vertical, la colocación de la barandilla se resuelve, en la mayoría de los casos, disponiéndola en el ojo de la escalera. Si por la estrechez de éste, el desarrollo del pasamanos resulta más corto que la anchura de una huella de peldaño hay que dar a ese trozo del pasamanos mayor pendiente de la que tiene en los tramos rectos. Cuanto más estrecho sea el ojo de la escalera, tanto mayor será la pendiente del pasamanos de dicho lado y tanto mayor será la diferencia con la que tiene en los tramos, cosa que siempre resulta antiestética. Para conseguir un buen trazado de los pasamanos y de las zancas es necesario que el ojo de la escalera tenga suficiente anchura.

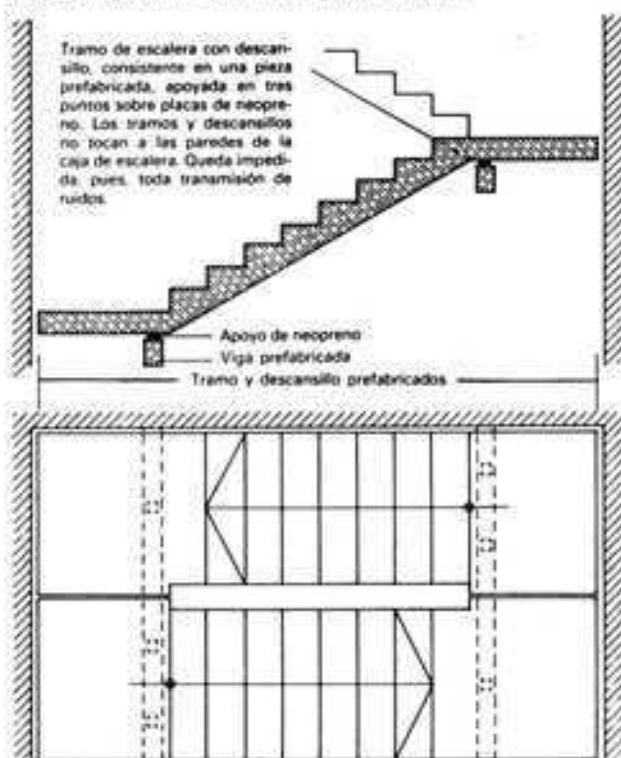
Muchas veces para ganar anchura en los tramos se renuncia a formar ojo en la escalera y se disponen las zancas superpuestas en un mismo plano vertical, medida que está en contra del modo de ser del hormigón armado.

Escaleras de piezas prefabricadas de hormigón armado

Con el fin de evitar largos y costosos trabajos de encofrado y desencofrado, es hoy frecuente la construcción de escaleras con piezas prefabricadas de hormigón armado. Para esta clase de escaleras (también denominadas de "montaje") son a propósito los tipos de doble tramo con descansillos, que suelen aplicarse en las casas de pisos, porque en ellas es moderada la longitud de los tramos y de las vigas de los descansillos. De todos modos, las escaleras prefabricadas sólo resultan económicas cuando en la construcción del edificio se guardan rigurosamente las normas DIN sobre dimensiones, de manera que no sea necesaria la preparación y aplicación de piezas especiales; también resultan prácticas en el caso de obras de gran importancia.

Los revestimientos de las escaleras, especialmente en las cajas de escaleras muy frecuentadas (viviendas de alquiler) deben ser ejecutados de tal manera que resistan durante varios años sin precisar reparaciones.

ESCALERA PREFABRICADA DE LA CASA HOLZMANN AG

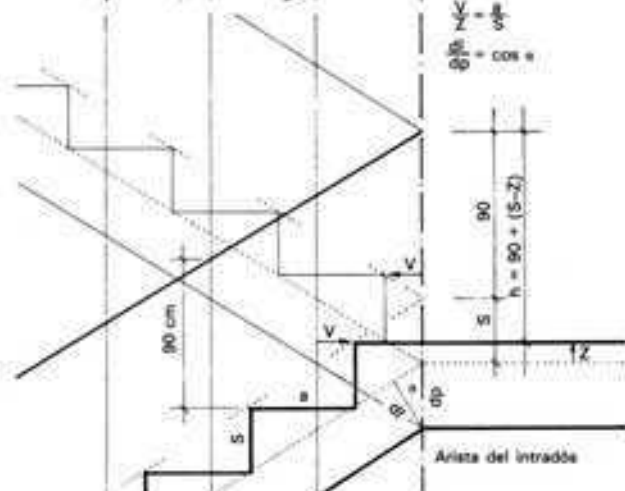




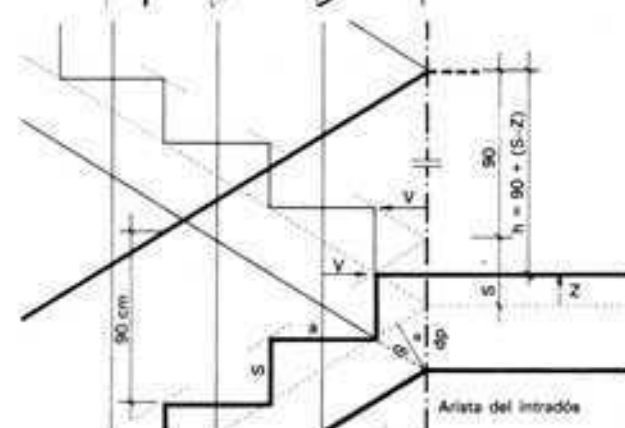
Arista del intradós

$$\frac{V}{dp} = \frac{a}{90}$$

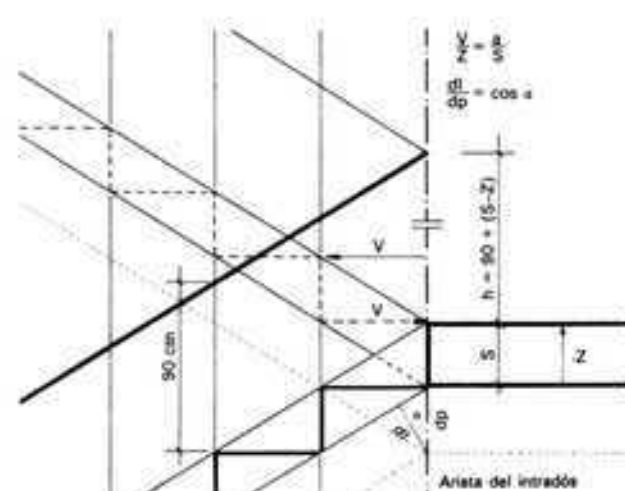
$$\frac{dp}{90} = \cos e$$



Arista del intradós



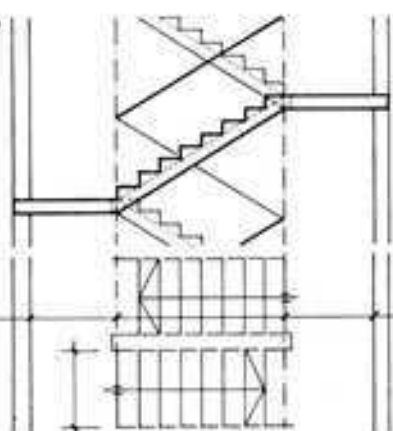
Arista del intradós



Arista del intradós

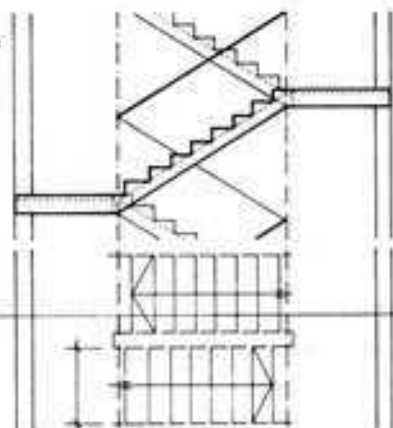
Borde delantero del peldaño sobre la arista del intradós

Longitud del tramo = número de peldaños x anchura de huella (a)



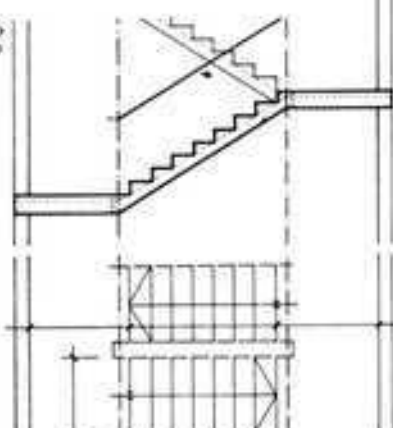
Borde delantero del peldaño sobresale en $V = 1/2 a$ respecto a la arista del intradós

Longitud del tramo = número de peldaños x anchura de huella (a) + $2 \times 1/2 a$



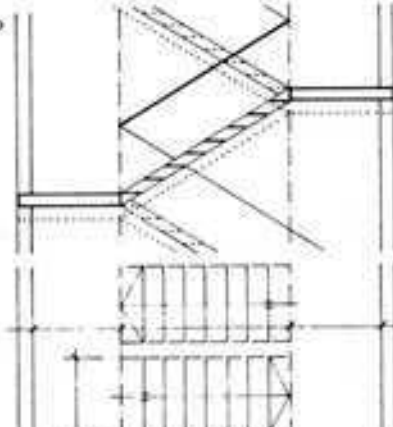
El borde delantero del peldaño sobresale en $V = 1/2 a$ respecto a la arista del intradós

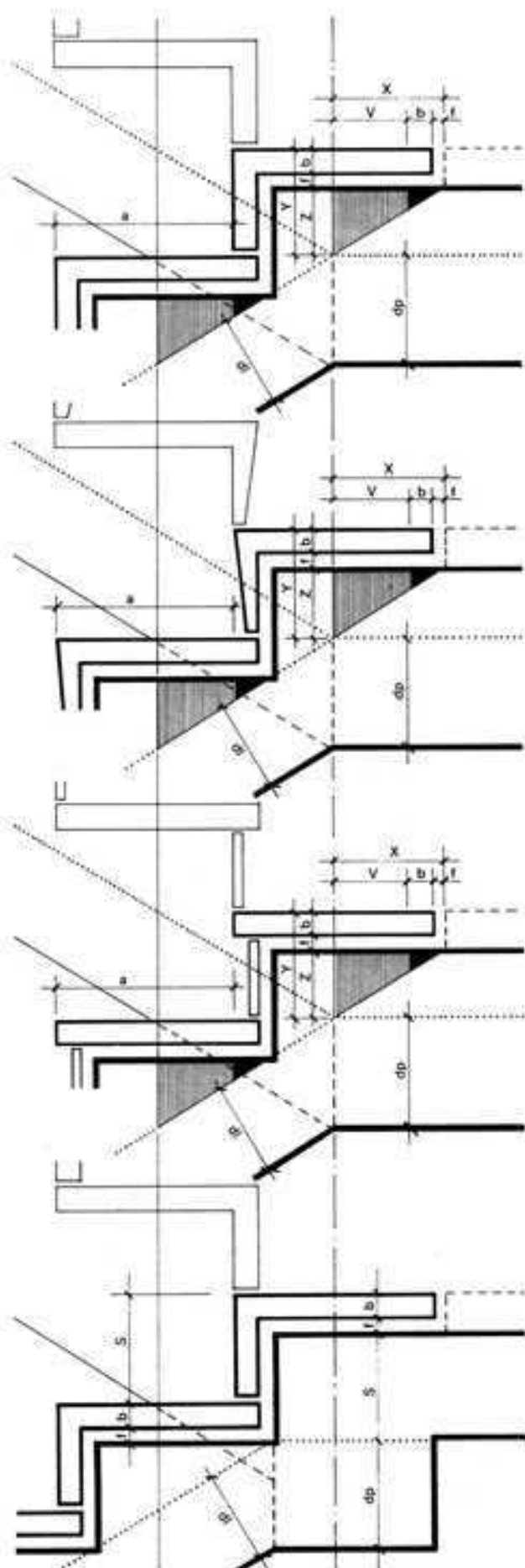
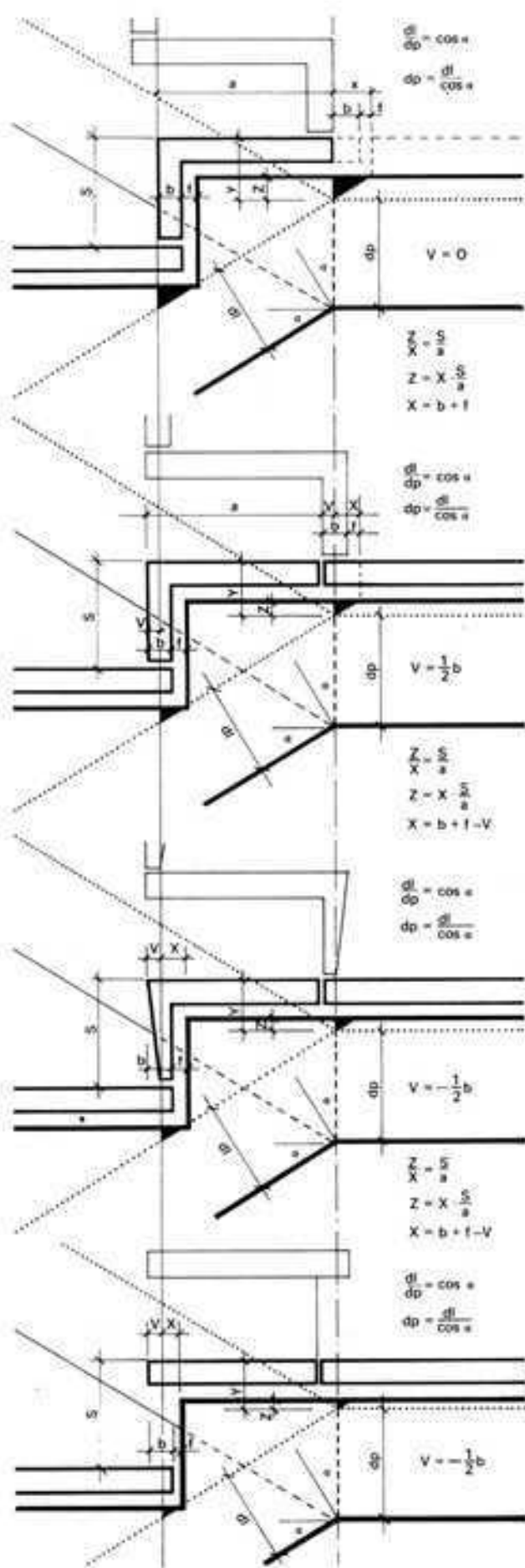
Longitud del tramo = número de peldaños x anchura de huella



El borde delantero del peldaño sobresale en $V = a$ respecto a la arista del intradós

Longitud del tramo = número de peldaños x anchura de huella

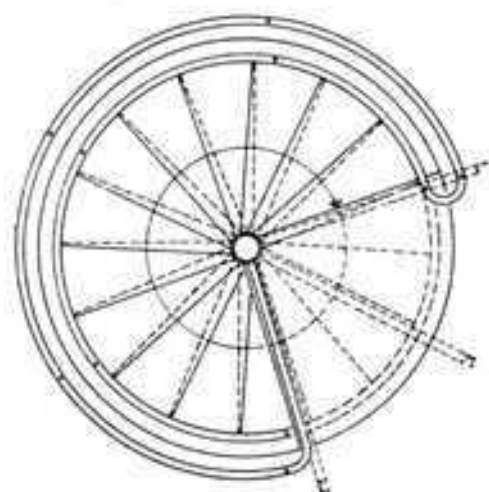
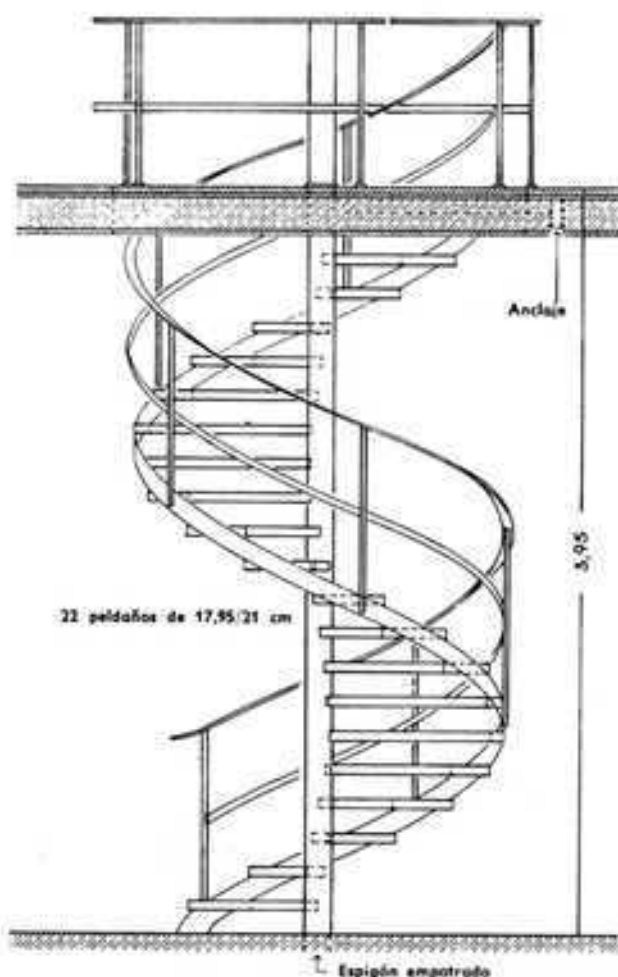




Escaleras de hierro

Las escaleras metálicas se construyen frecuentemente en los edificios industriales, aunque también se emplean en locales comerciales y en casas de pisos. Respecto a los otros tipos de construcción, estas escaleras tienen la ventaja de que pueden desmontarse sin gran dificultad y sin detrimento del material, para volver a ser montadas en otro sitio. Esto ya explica la preferencia que se les da en las construcciones industriales donde con frecuencia, y debido a una variación de la producción o a otras causas, se hace necesario introducir reformas en talleres, almacenes o demás locales de trabajo.

ESCALERA DE CARACOL E = 1:40

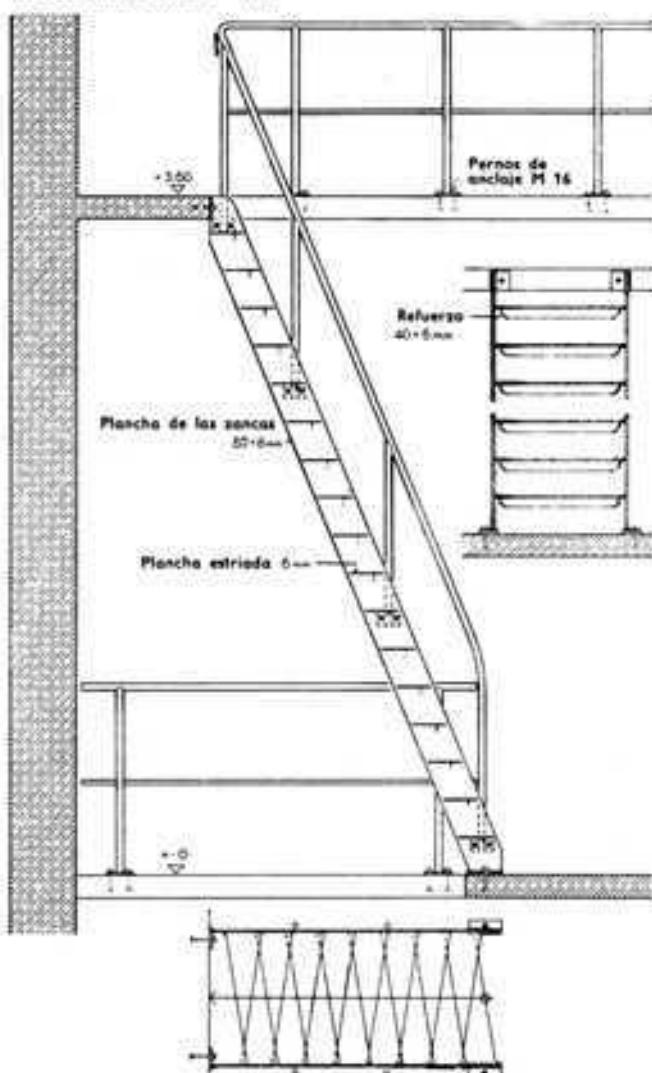


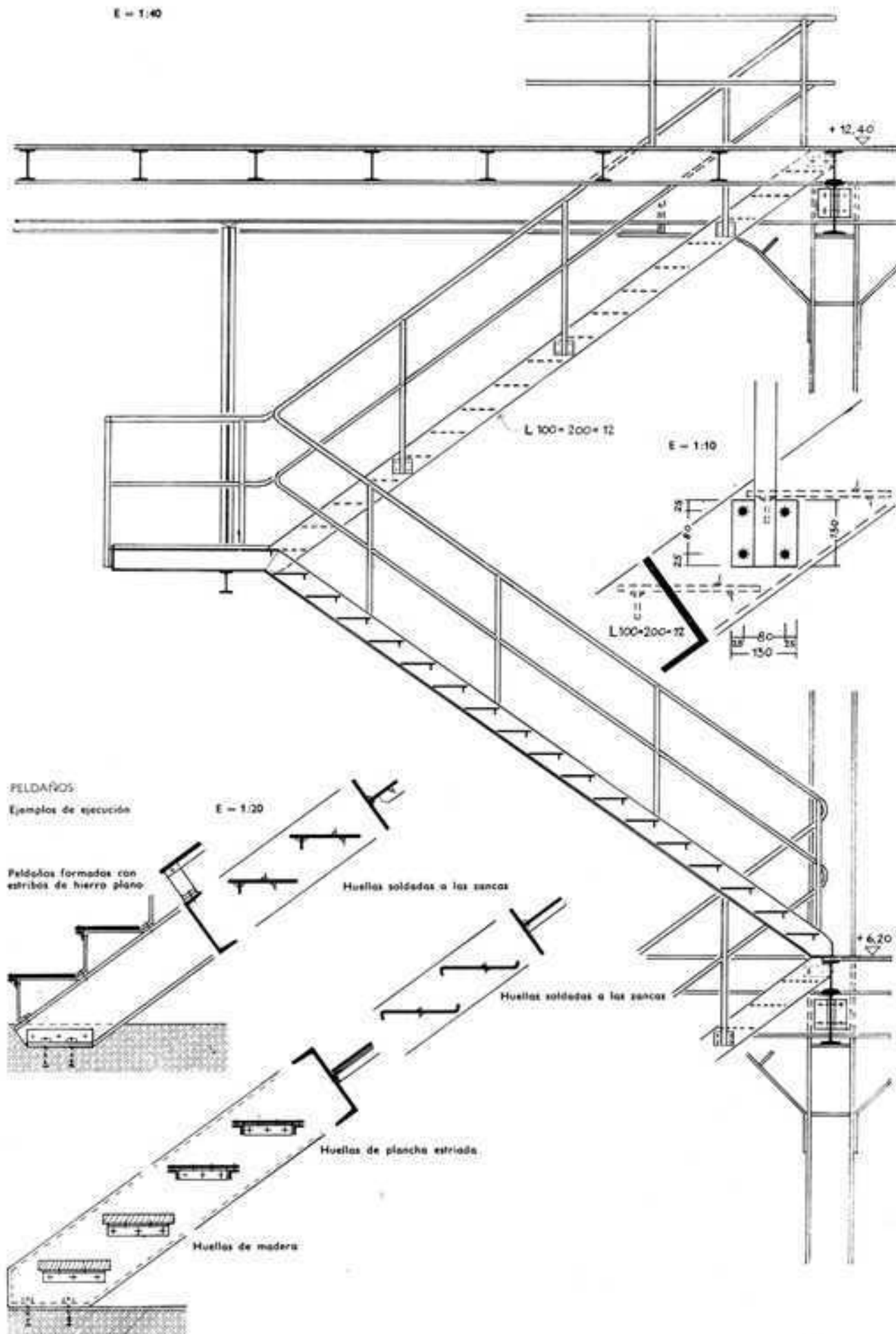
Las escaleras de acero no tienen buen aspecto vistas por debajo, por cuya razón, cuando se colocan en establecimientos comerciales o en edificios análogos, se las reviste con un enlucido sobre metal desplegado. Cuando se utilizan como escaleras de salvamento en caso de incendio, las piezas de acero que las componen deben llevar un revestimiento que las proteja del fuego. Las escaleras de acero pueden construirse con perfiles laminados o con chapa.

En las construcciones industriales se acostumbra prescindir de las tabicas o contrahuellas en los peldaños. Las huellas de éstos se hacen de chapa estriada o de enrejado y, si no hay peligro de putrefacción, pueden incluso hacerse de madera; se colocan sobre hierros angulares que, a su vez, se fijan en las zancas. Tanto las zancas metálicas como los peldaños, cuando se hacen de chapa, se refuerzan doblándoles a escuadra los bordes o acoplándoles, por remachado o soldadura, unos hierros angulares. Las escaleras de acero que han de tener mayor categoría se revisten en sus huellas y contrahuellas con un forro de linóleo, caucho, madera, placas de piedra artificial, etc.

Las escaleras de acero, de caracol, con peldaños de chapa o de madera resultan muy ligeras y aéreas.

ESCALERA INDUSTRIAL 1:40





Barandillas de escaleras

Pueden hacerse de barrotes de madera o de metal o también en forma de antepechos o perfiles de ladrillo, hormigón o piedra natural.

Todas las barandillas de escalera, por el constante uso de que de ellas se hace, sufren gran fatiga tanto en sentido transversal como en el sentido longitudinal y, por consiguiente, necesitan estar sólidamente construidas.

Se llama "altura" de la barandilla la distancia vertical desde el borde anterior de la huella hasta el borde superior del pasamanos. Por lo regular, esta altura es de 90 cm. En tramos estrechos de escalera, sin embargo, una barandilla tan alta produce un efecto de angostura y resulta fea. Es, por consiguiente, recomendable en tales casos, sobre todo en casitas para una sola familia, rebajar a 85 cm de altura de la barandilla, siempre que los reglamentos o disposiciones no preceptúen nada en contra. Sin embargo, los trozos finales de cierre horizontal de las barandillas deberían tener siempre 90 cm para dar una sensación de seguridad.

La forma y estilo de la barandilla debe acomodarse al tipo del edificio, a su finalidad y a las características de la escalera.

Barandillas de barrotes

Las escaleras macizas acostumbran llevar barandillas de metal, preferentemente de barrotes de acero cuadrados o redondos. Los barrotes verticales son especialmente adecuados para escaleras de tipo lujoso por su excelente aspecto y por el efecto tranquilo y equilibrado que producen. En tramos de escalera con peldaños compensados es aconsejable también su empleo porque los barrotes cruzados producirían intersecciones irregulares. También en escuelas, casitas de vivienda y casos parecidos es preferible el empleo de los barrotes verticales de relleno porque dificultan a los niños el poderse encaramar a la barandilla. Los barrotes verticales pueden ir hincados o ensamblados sobre los peldaños, sobre las zancas, lateralmente en el tramo o bien sobre una barra inferior longitudinal.

Los barrotes puestos sobre los peldaños reducen la anchura de tramo. Cada peldaño recibe entonces dos barrotes, con lo cual no se rebasa nunca la separación máxima admisible de unos 16 cm, fijada por razones de seguridad.

Los orificios abiertos en los peldaños para encajar los barrotes tienen que estar separados del borde lo menos 5 cm para que la piedra no se rompa por la fatiga que le ocasiona la barandilla. En tramos muy largos de escalera puede lograrse un ritmo más grandioso disponiendo los barrotes de dos en dos, alternando intervalos más anchos y más estrechos.

Si la barandilla va colocada sobre las zancas, la distancia entre los barrotes ya no depende de las dimensiones de los peldaños. Los barrotes terminan generalmente en un cordón inferior, que a su vez se apoya sobre la zanca. Sólo los barrotes finales de apoyo se ensamblan en la misma zanca.

La fijación lateral de los barrotes rectos en el tramo de la escalera o sobre un cordón o barra colocada paralelamente o adosada a dicho tramo permite el aprovechamiento de la total anchura de los escalones.

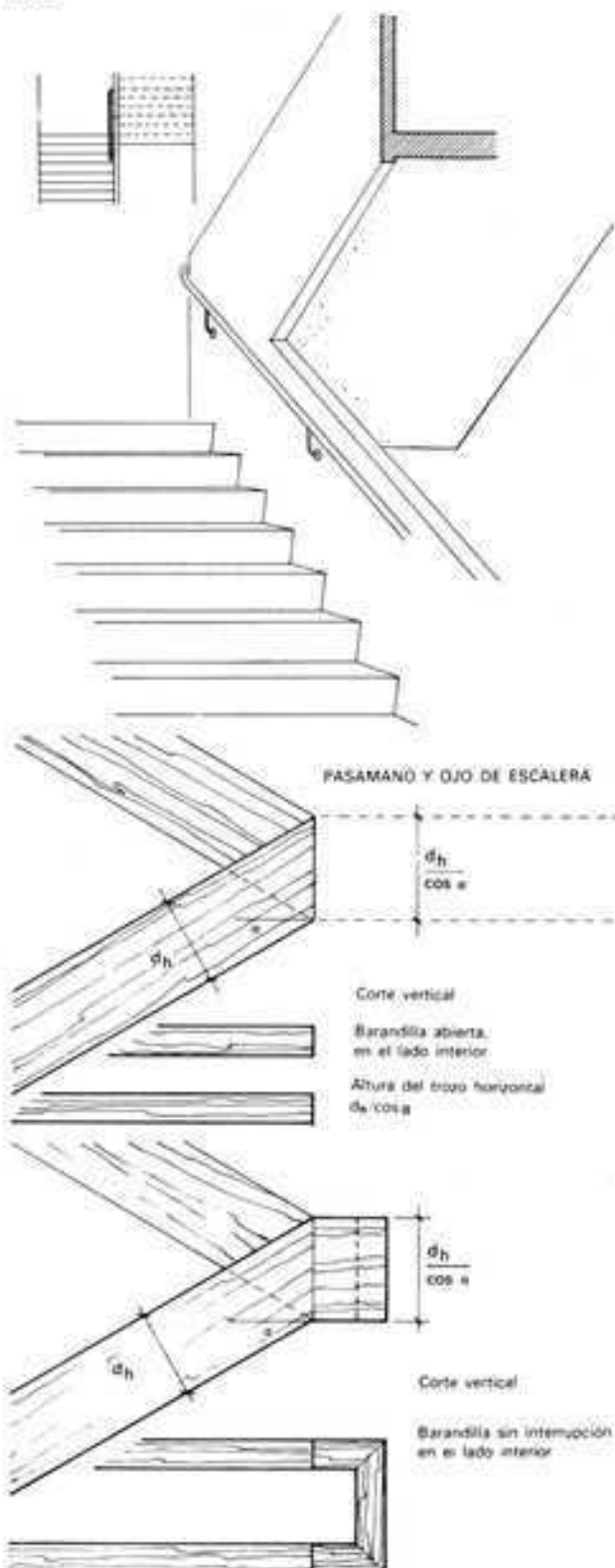
Las barras rectas paralelas al pasamanos hacen resaltar la dirección de éste y del tramo y, por consiguiente, no son adecuadas para los tramos de escalera irregularmente compensados ni para los casos en que la línea del pasamanos es irregular. Los barrotes redondos o cuadrados se encajan en barras de sujeción o se fijan lateralmente a ellas. La distancia entre barras de sujeción es de 1.00 a 1.50 m. Por razones de seguridad son necesarias cuando menos dos barras de sujeción. En lugar de los barrotes pueden emplearse también recuadros de enrejado o plafones de chapa lisa o perforada, vidrio, etc. Tales barandillas son apropiadas únicamente, sin embargo, para tramos rectos o compensados de una manera regular.

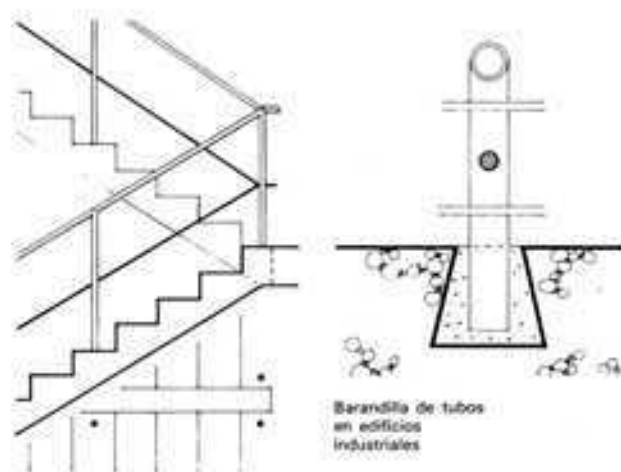
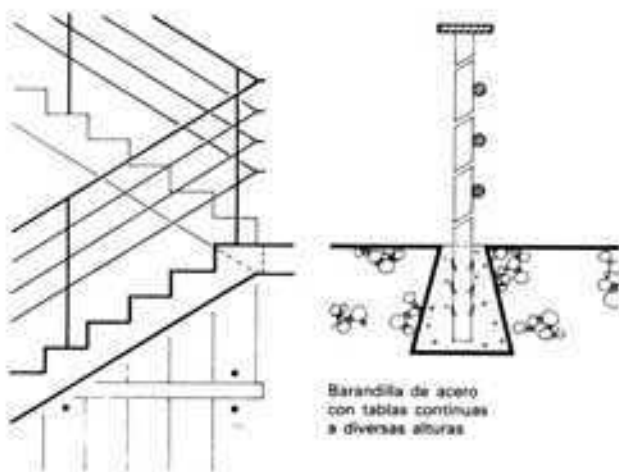
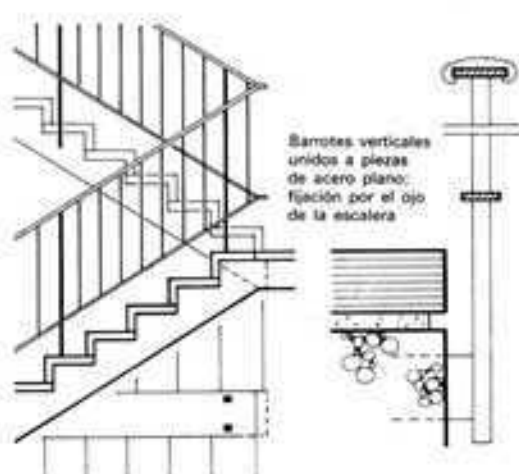
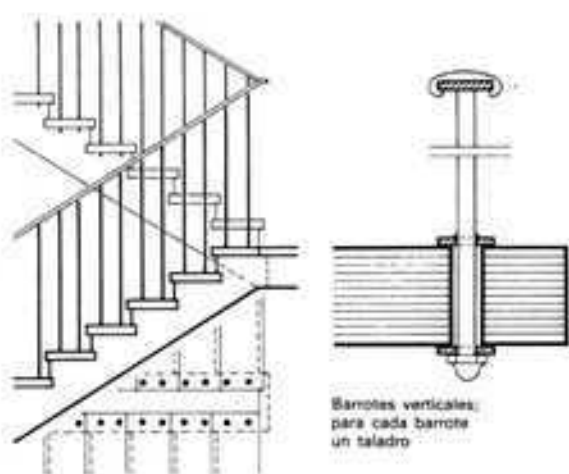
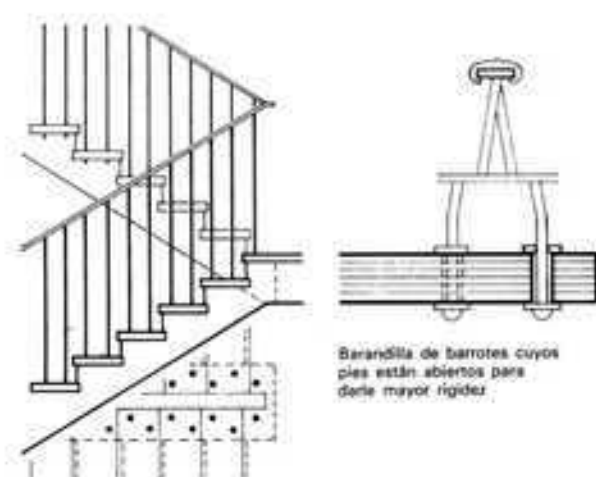
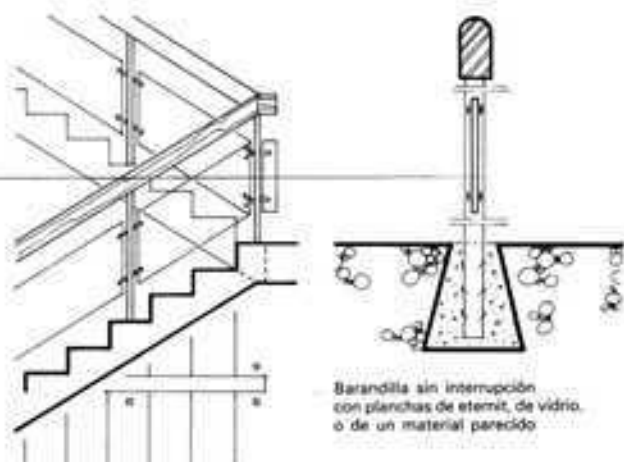
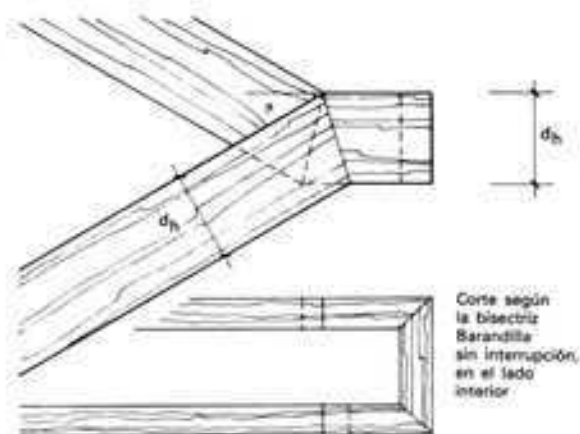
Las dimensiones de las barras de sujeción y de los barrotes se fijan de acuerdo con la fatiga que ha de sufrir la escalera. En las escaleras corrientes en la construcción de viviendas, bastan, en la mayoría de los casos, barras de sujeción de 20 x 20 mm o de 24 x 24 mm y, entre ellas, barrotes verticales de 12 a 16 mm de diámetro. En escaleras sometidas a gran tránsito, como p. ej. en

grandes almacenes, en cines, teatros, locales de asambleas, etc., se construyen barandillas de tipo resistente. En las construcciones industriales se suelen emplear barandillas de tubo metálico, por la fuerte fatiga a que se hallan sometidas en la mayoría de los casos.

Antepechos macizos

Los pretilos o antepechos macizos se pueden construir con toda la altura o bien con altura parcial tanto más reducida cuanto más distanciado se coloque el pasamanos por encima de ellos. Con el fin de ganar anchura de paso en la escalera, en muchos casos se renuncia a la formación del ojo y se colocan los antepechos superpuestos y en el plano medio que contiene el eje de la escalera.





Balcones y terrazas

Con estas palabras y otras de parecido significado (galerías, miradores, tribunas, loggias, etc.) se designan en general unas piezas total o parcialmente abiertas al aire libre, situadas delante de las salas de estar, de las cocinas o de los dormitorios y que constituyen una especie de ampliación de aquellos locales, utilizable sobre todo en las estaciones cálidas.

En las distintas épocas se han utilizado estos elementos constructivos con distinta finalidad. Así, en los tiempos del barroco se usaron los balcones principalmente para fines de prestigio o para proteger portales o accesos, mientras que hoy las terrazas de las casas de viviendas y las plantas industriales tienen un valor exclusivamente útil y práctico.

Tipos y utilización de los balcones

En casas de pisos el balcón constituye muchas veces el sustituto del jardín o del patio. En arquitectura se emplea el balcón como excelente elemento de composición que, en casas unifamiliares aparece como detalle individual, mientras que en casas plurifa-

miliares se dispone en un orden rítmico. En las casas de pisos los balcones pueden estar formados por elementos individuales o bien constituir como una cinta de balcones. Los balcones situados delante de las cocinas sirven como superficie de servicio adicional, aprovechable para almacenar enseres o alimentos durante la época de invierno. En este caso el antepecho del balcón debería ser macizo. Los balcones delante de los dormitorios sirven principalmente para airear la ropa de cama y el vestuario. Con el fin de garantizar una buena ventilación, es conveniente prever un antepecho abierto.

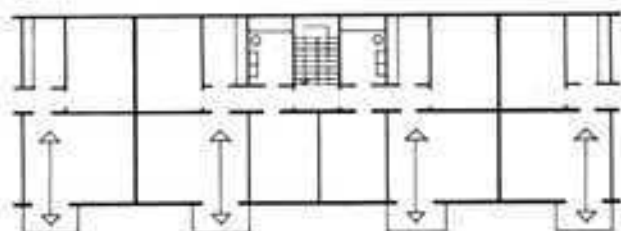
La orientación de los balcones situados delante de cocinas y dormitorios no tiene importancia.

En cambio, la orientación de los balcones que comunican con la zona de estar, ya es de más consideración. Como estos espacios sirven sobre todo para el descanso y el recreo deberían estar expuestos al sol.

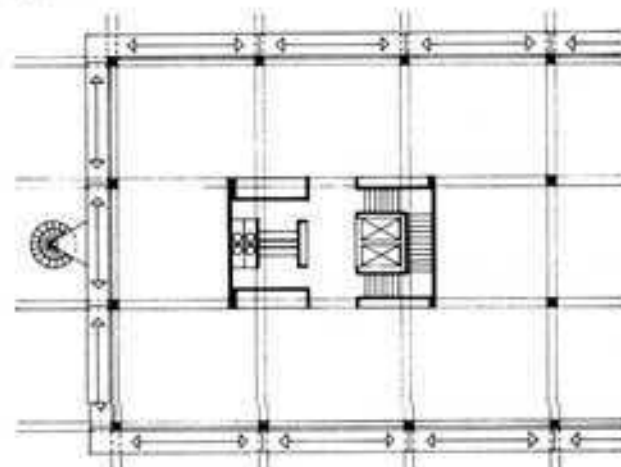
En este caso el antepecho puede ser diáfano, conservando cierta protección contra la vista desde el exterior.

Las dimensiones de los balcones dependen de la utilización y las condiciones estáticas. Sin embargo, en general, su profundidad no debería ser menor de 1,00 m ni su anchura de 2,00 m, para

BALCONES
PLANTA

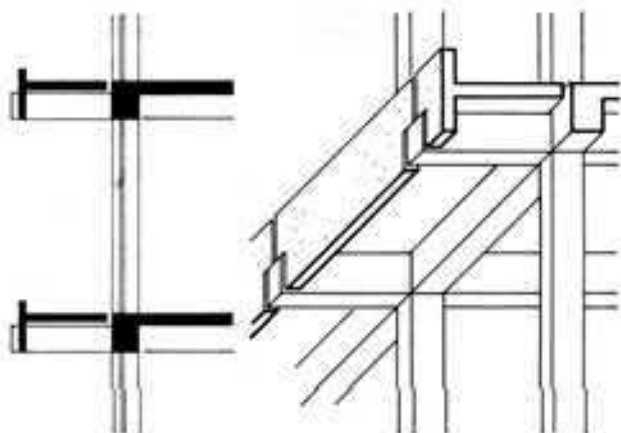
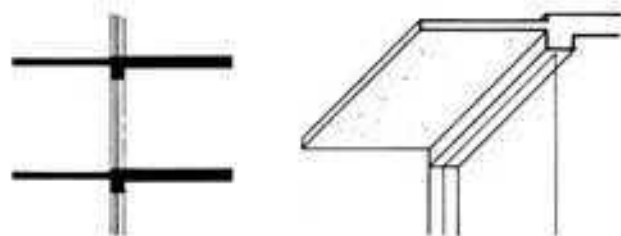


Balcones individuales, en voladizo, en edificios con paredes de carga longitudinales



Balcones corridos alrededor de todo el edificio en edificios con paredes de carga transversales o en construcciones de entramado, apoyados sobre ménsulas

Secciones



que su superficie sea aprovechable. Hay que procurar que los balcones situados delante de las salas de estar tengan una profundidad $\geq 1,50\text{m}$.

En la construcción de plantas industriales se prevén muchas veces balcones que envuelven todo el edificio. Tienen gran importancia como pasajes de huida de locales con peligro de explosiones. En algunos casos, por dicha función de los balcones, se puede reducir al número de las cajas de escalera de emergencia necesarias.

En los edificios con ventanas de vidrios fijos, estos balcones corridos alrededor de las plantas sirven como plataformas que facilitan la limpieza de los cristales y de la fachada, y ofrecen protección contra la radiación solar.

Respecto a la construcción, las terrazas representadas en la figura son muy parecidas a los balcones, pero están abiertas hacia un solo lado. Mediante la prolongación de las paredes laterales hacia el espacio exterior, se consigue una ampliación óptica de la zona de estar. Por encontrarse un poco retirada la sala de estar respecto a la fachada, también en este caso se tiene una buena protección contra la radiación solar.

Ejecución de los balcones

Edificios con paredes de carga longitudinales

En edificios con paredes de carga longitudinales y forjados de hormigón in situ, la ejecución de los balcones resulta relativamente fácil. Van empotrados como losa en voladizo en el tramo del forjado, con lo que se produce evidentemente un puente de calor.

Hay que procurar que las dimensiones del voladizo no sean demasiado grandes para evitar que aparezcan grietas capilares en la superficie de la losa, lo que significa una posible oxidación de la armadura. El hormigón debe ser impermeable al agua, o

llevar un recubrimiento impermeable. En lugar de esta capa también se puede prever otra de resina sintética.

Especial importancia tiene la zona de paso entre el balcón y el espacio interior, y requiere por lo tanto un tratamiento muy cuidadoso. Debe colocarse allí un umbral de hormigón impermeable que impida la penetración de agua pluvial en el piso.

En la cara inferior de la losa se coloca un goterón.

No es conveniente construir balcones con elementos prefabricados cuando se trata de edificios con paredes de carga longitudinales.

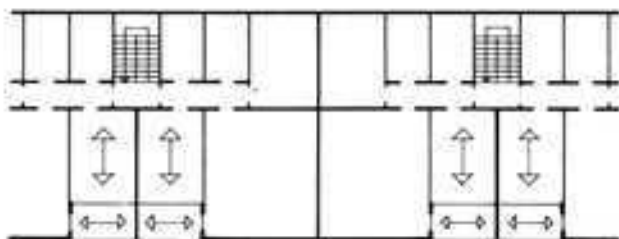
Edificios con paredes de carga transversales

Como los forjados de los edificios con paredes de carga transversales están tendidos paralelamente respecto a la fachada, no es conveniente unir la losa de terraza con el forjado. La solución más fácil es colocar la losa encima de brazos en voladizo, que provengan de las paredes transversales. Al mismo tiempo conseguimos la separación entre la losa de terraza y el techo, lo que significa una ventaja para las condiciones físico-constructivas. Los elementos prefabricados son muy apropiados para este tipo de construcción.

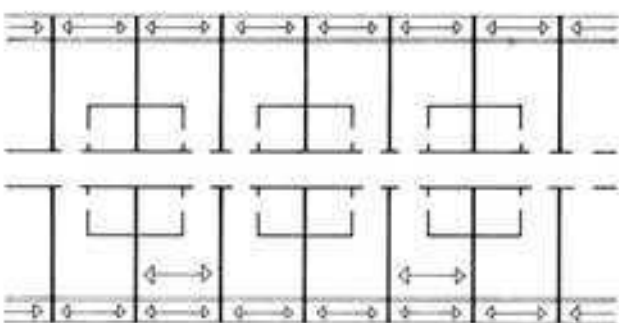
Construcciones de entramado

En la construcción de balcones con losas de hormigón armado se pueden apoyar éstas encima de brazos en voladizo, igual que en los edificios con paredes de carga transversales. Si se emplean elementos prefabricados existe la posibilidad de ejecutar el balcón en una sola pieza, de hormigón impermeable. En este caso, la superficie de la losa resulta lisa y sólida, de modo que no es necesario prever una capa suplementaria. Balcones de construcción más ligera, como los hechos con rejillas o chapas metálicas, pueden disponerse suspendidos o apoyados en un armazón de acero delante de la fachada.

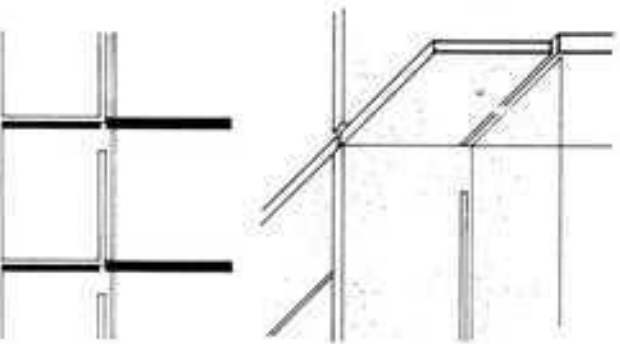
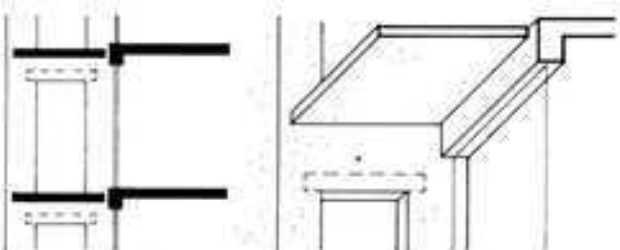
TERRAZAS:

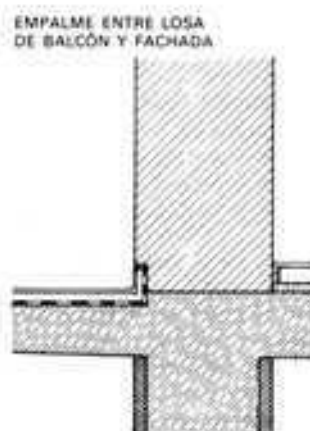
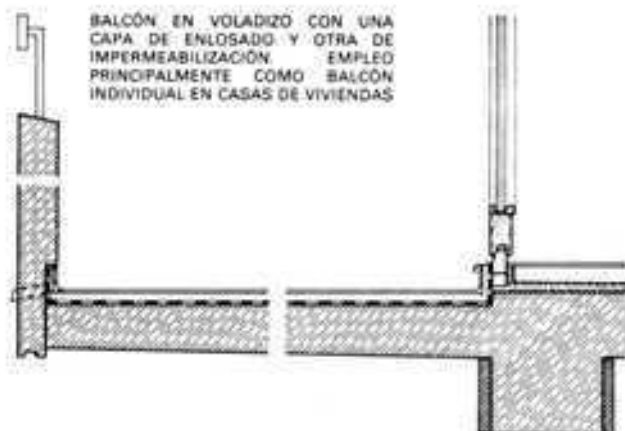


Terrazas en edificios con paredes de carga longitudinales, independientes del forjado principal y situadas transversalmente respecto a la dirección en que actúa éste.



Terrazas en edificios con paredes de carga transversales con la misma dirección en que actúa el forjado principal, pero con juntas de separación.

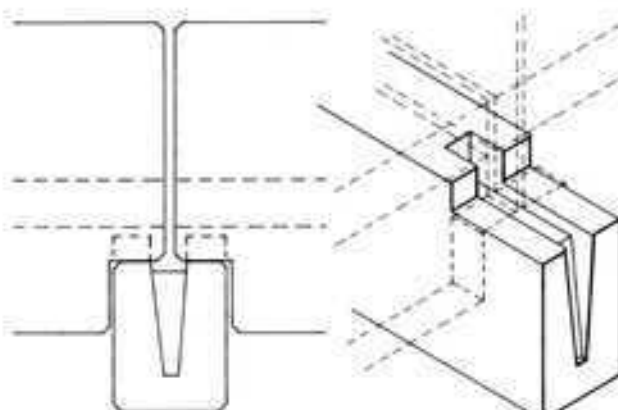
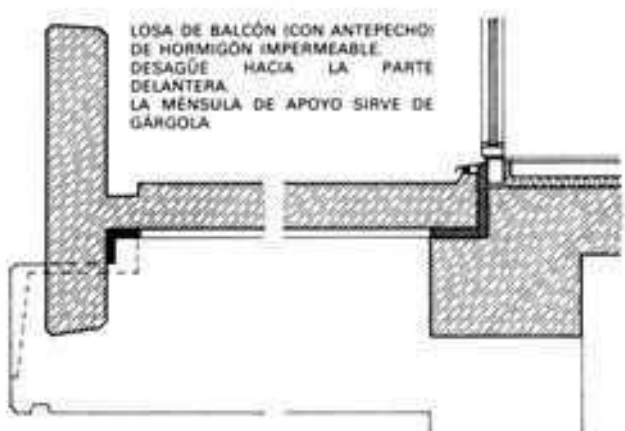




Terminación lateral de una losa de balcón sin revestimiento



Terminación lateral mediante un ángulo de hierro inoxidable

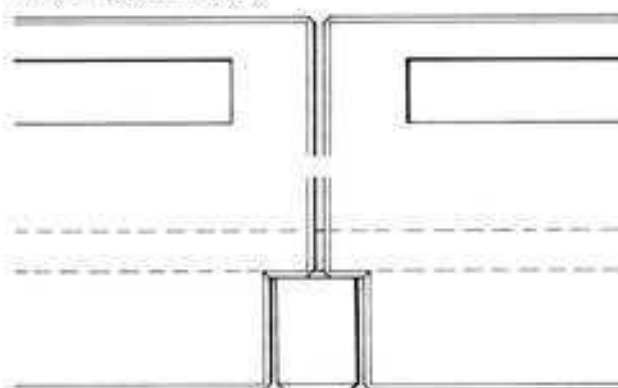


Alzado de la ménsula

Isometría de la ménsula



Alzado del apoyo del antepecho



Galerías

En los edificios con paredes de carga longitudinales, la solución estáticamente más sencilla consiste en montar las galerías como elementos independientes delante de las fachadas. Las paredes y los forjados de las galerías se sujetan con tirantes a la fachada y a los forjados de los pisos respectivamente. Este tipo de construcción es posible con forjados prefabricados o de hormigón in situ.

Si la galería debe quedar incluida dentro del cuerpo del edificio, la solución constructiva ya resulta más complicada por ser entonces necesarias jácenas, pies derechos o paredes de carga transversales. También esta solución es posible tanto con forjados de hormigón in situ como con forjados prefabricados. Los edificios con las paredes de carga transversales tienen todas las ventajas constructivas para la ejecución de galerías. Los forjados de las galerías actúan en la misma dirección que los del interior del edificio, lo que posibilita la colocación de una cinta aislante en el forjado.

Condiciones físico-constructivas

Todos los elementos de construcción que establecen la transición entre el interior y el exterior deben cumplir ciertas condiciones físicas. Entre otras cosas hay que tener en cuenta las influencias de la temperatura y la humedad.

Los dinteles y las paredes transversales continuas de los balcones y terrazas actúan como puentes de calor; que son de poca importancia, cuando las paredes y dinteles son de buen espesor (> 30 cm). Las medidas necesarias para evitar los inconvenientes de los puentes de calor mediante procedimientos de aislamiento son complicadas, y su coste resulta desproporcionado con relación a la poca pérdida de calor o al inconveniente del ennegrecimiento sucesivo que aparecerá en el borde superior del techo. Este cambio de color en el borde del techo también se produce cuando está protegido mediante la colocación de una faja de losas aislantes.

Una separación dentro de las paredes mediante una franja aislante evita la pérdida de calor en las casas con muros de carga transversales.

En casos con paredes de ladrillo es muy conveniente colocar placas aislantes hasta unos 50-60 cm por debajo del techo con el fin de impedir el ennegrecimiento de la pintura o del papel pintado. El modo más seguro de evitar o reducir los puentes de calor lo proporciona la construcción con elementos prefabricados. Entre la losa del balcón y el forjado interior se puede prever una separación y colocar allí una franja aislante. Piezas de paredes de carga transversales prolongadas en voladizo a toda altura del piso, posibilitan un aislamiento parcial.

A causa de las variaciones de longitud debidas a las variaciones de temperatura la longitud de los forjados no habría de pasar de 5 m. En este tipo de construcción es muy importante cerrar las juntas con masilla de elasticidad permanente. De lo contrario penetra agua en el interior y aparece en las paredes y los techos. Hay que disponer de juntas de deslizamiento entre el apoyo del forjado y las paredes de carga transversales, aunque sus efectos son limitados.

Para determinar la anchura de la junta existe una regla empírica, deducida del esfuerzo de dilatación admisible de la masilla de la junta y del comportamiento del hormigón armado según los cambios de temperatura. En general se toma: anchura de junta $= 3 \times$ longitud de la pieza prefabricada en mm : 1000. Para una losa de 5 m de longitud necesitaremos una junta de ~ 15 mm. Separando la losa del balcón del forjado interior se consigue al mismo tiempo que no penetre en el techo.

Zonas de estar situadas encima o debajo de balcones o terrazas

Cuando una sala de estar esté encima o debajo de un balcón o de una terraza requiere medidas adicionales de impermeabilización y aislamiento. Se presentan aquí los mismos problemas que

en la ejecución de una terraza en la azotea. En este caso no sólo basta construir el techo con hormigón armado impermeable. La losa del techo necesita aislamiento térmico y una capa compensadora de la presión del vapor, así como telas impermeables y un recubrimiento, capaz de resistir a todo uso.

Desagües de terrazas

En general, el desagüe de balcones y terrazas abiertas se realiza desde la fachada hacia el borde exterior de la terraza. Sólo las terrazas de gran profundidad necesitan, para la evacuación de aguas pluviales, canalillos y bajantes. Hay que tener en cuenta el lado por donde sopla el viento.

Ejemplos:

En los balcones con antepechos macizos o en los prefabricados en una sola pieza se ponen unos desagües de tubo de plástico de $\varnothing > 1,5''-2''$, dispuestos a 2-3 m de distancia entre sí. Los antepechos macizos dan buen resultado en cuanto evitan que una gran parte del agua pluvial llegue al suelo del balcón. En estos casos la evacuación del agua mediante unos tubos como los antes indicados suele ser suficiente, incluso en edificios de muchos pisos. En cambio, hay que prever un canalón o desaguar por el lado, cuando la terraza o balcón está situada encima de un portal; lo mismo ocurre en las marquesinas que se ponen sobre las puertas de entrada.

Barandillas o antepechos de terrazas y balcones

Igual que los antepechos de las ventanas, los de los balcones y terrazas deben servir para la seguridad. A tal fin, su altura es en general la misma que la de los antepechos de ventana, es decir > 90 cm. En casas muy elevadas (más de 22m) deben tener una altura $> 1,20$ m para evitar el vértigo, que suele crecer con la altura. Hasta hoy día sólo existen prescripciones sobre la altura y ejecución de antepechos o barandillas, en las Ordenanzas de Construcción de los distintos estados federales. Estas normas deben cumplirse con gran exactitud. Es especialmente rigurosa la ordenanza del Land Nordrhein-Westfalen, que exige ya a partir de 14 m de altura, barandillas de 1,10 m de alto y una distancia luz entre los barrotes de las barandillas o un ancho de las aberturas de los antepechos de máx. 12 cm.

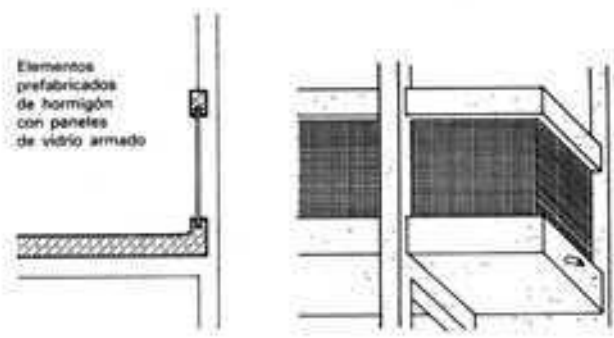
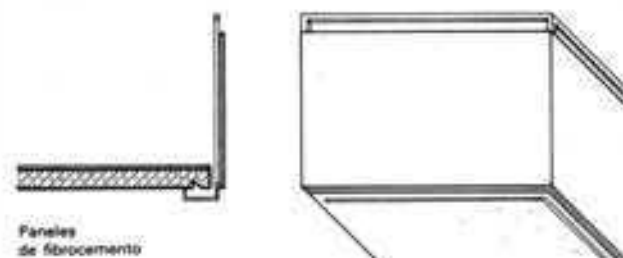
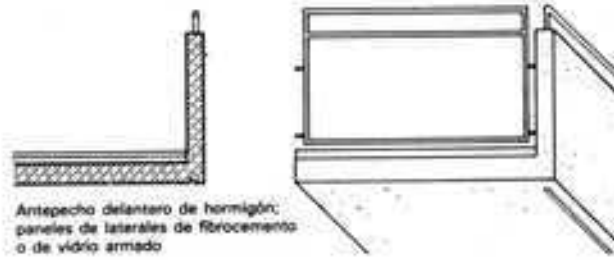
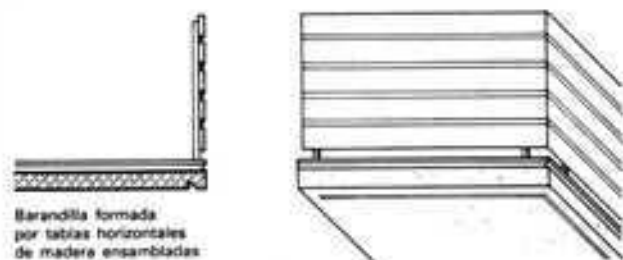
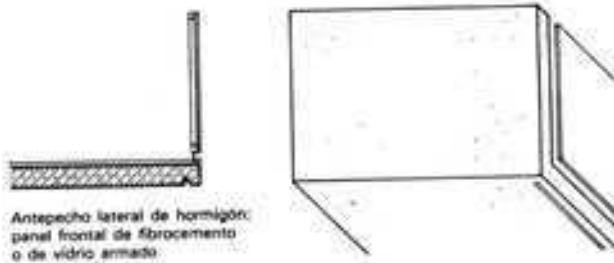
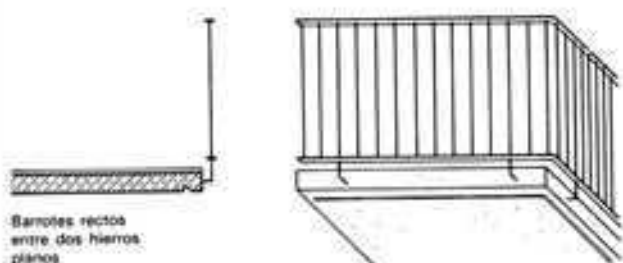
En construcciones de varias plantas las barandillas no deberán tener una división horizontal, para evitar que los niños trepen por ellas.

A pesar de estas normas restrictivas, al arquitecto aún le quedan muchas posibilidades para expresar sus ideas creativas. No sólo debe conseguir la deseada imagen exterior, sino que también habrá de tener en cuenta factores como los costes de ejecución y mantenimiento. Especialmente en los grandes proyectos es donde habrá que considerar estos criterios.

Hay que distinguir entre las barandillas y antepechos de las terrazas y balcones de las casas de viviendas, y las de las galerías de salida de emergencia de los corredores abiertos que sirven como plataformas para la limpieza de las fachadas de edificios comerciales o industriales. En este caso se puede disponer barandillas más abiertas. Como son utilizadas en general exclusivamente por personas mayores basta prever, aparte de los pasamanos, unos listones inferiores que protegen en el caso de que el pie resbale. Naturalmente también estas barandillas deben cumplir las Ordenanzas de la Construcción correspondientes.

Las barandillas se hacen generalmente con perfiles laminados corrientes o con tubos redondos, cuadrados o rectangulares. Los antepechos macizos se ejecutan en hormigón in situ o con elementos prefabricados de forma angular.

Los lados abiertos se cierran por ejemplo mediante barandillas de barrotes (son convenientes en dormitorios, para la ventilación), o mediante placas de fibrocemento o de vidrio armado (para cocinas). Estas barandillas van empotradas entre la fachada y el antepecho macizo.



En la construcción con hormigón in situ se ejecutan también balcones en forma de U, es decir con los antepechos laterales macizos. En la parte delantera se coloca una rejilla o bien ligeras losas de antepecho.

En casas muy elevadas los antepechos no llegan en general a toda la altura de 1,20 m, sino que lo que llega a esta altura es una barandilla de acero con barrotes en celosía, si fuera necesario. Los balcones prefabricados ya llevan estas barandillas montadas. En lugar de los antepechos macizos pueden disponerse también paneles de materiales opacos, como fibrocemento, plástico, perfiles de atagula o perfiles ondulados, vidrio armado. Estos tipos de barandilla siempre tienen que ir montados en un marco de acero. El material de los paneles (aunque sea vidrio) tiene que resistir una carga horizontal de más de 50 kg/ml. Hay que examinar si es conveniente colocar el panel del antepecho a una cierta distancia (aprox. 10 cm) por encima de la losa del balcón.

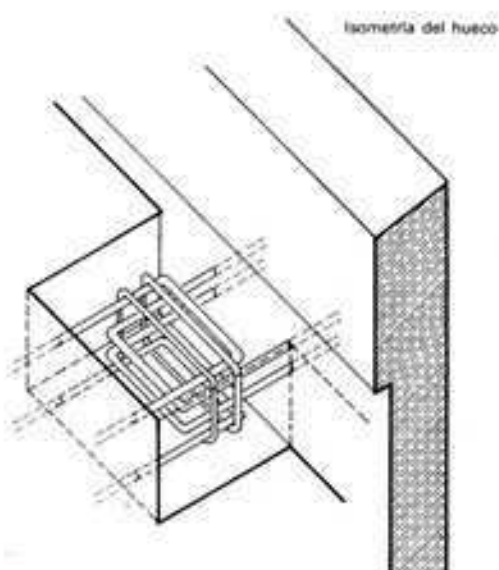
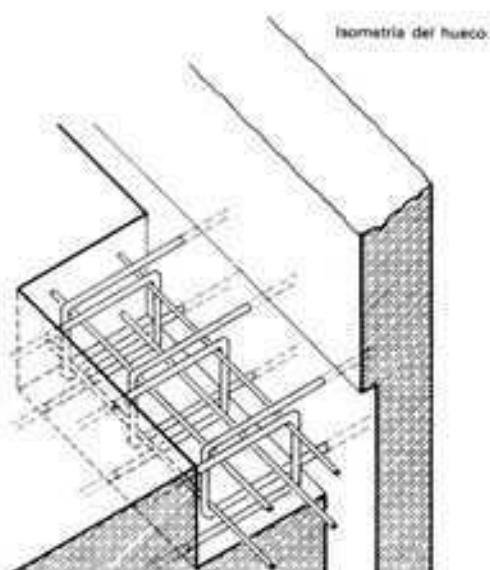
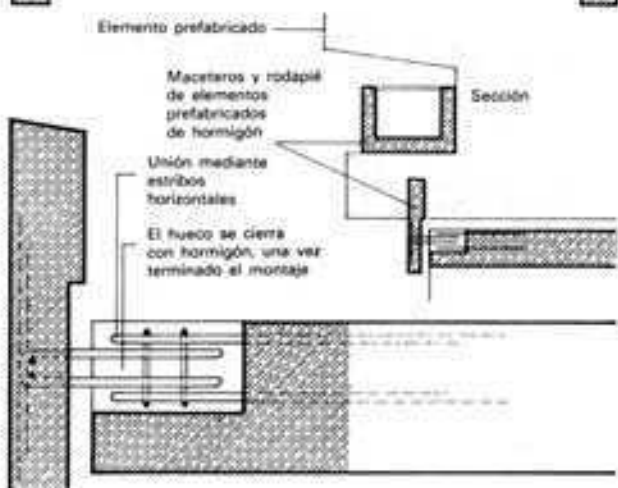
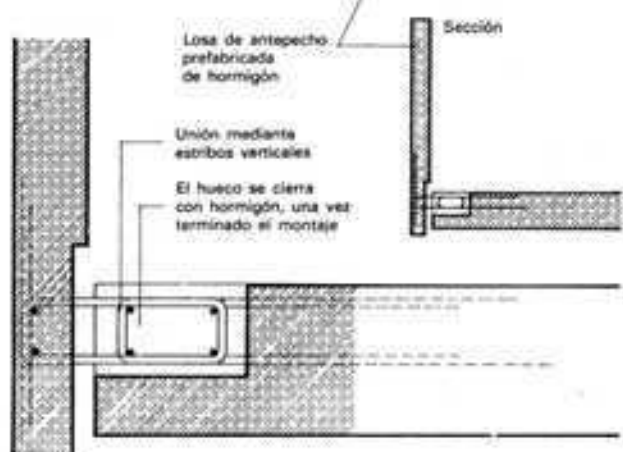
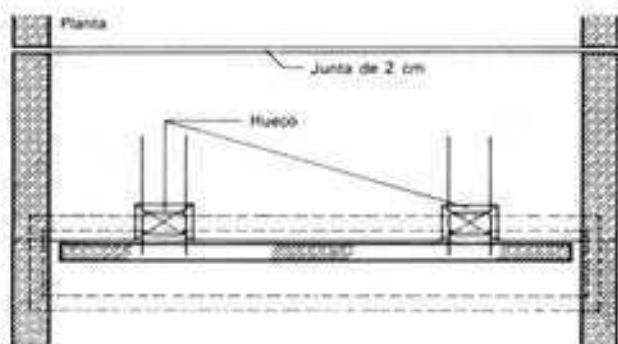
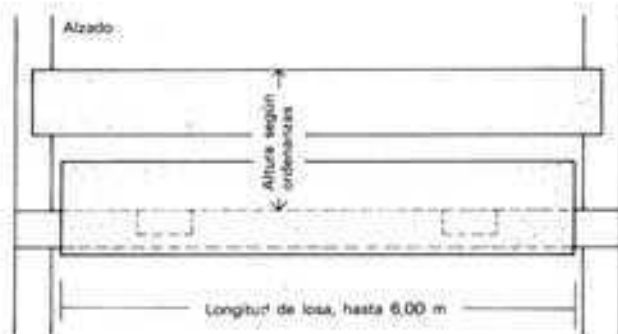
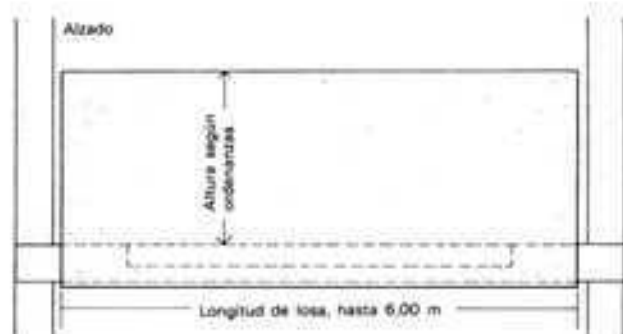
Ventaja: La separación entre ambos elementos facilita el desagüe y es imprescindible cuando la terraza tiene un pavimento de losetas, como era costumbre antiguamente.

Inconveniente: Falta de protección contra la vista desde el exterior y molestias para los usuarios de la terraza debidas a corrientes de aire.

Mejor solución: Hacer que el panel del antepecho sobresalga parcial o totalmente de la cara frontal del balcón o terraza, hacia abajo.

Construcción y montaje de la barandilla

Fijar los barrotes en la capa de encima de las losas de balcón que llevan capa de impermeabilización resulta muy complicado, requiere mucha mano de obra y por lo tanto es caro. La manera más fácil es la sujeción a la cara frontal de la losa. En este caso al verter el hormigón (hormigón in situ o con elementos prefabricados) se colocan allí unas placas de acero que se unen luego por soldadura con los barrotes de la barandilla. Siempre es conveniente colocar los elementos de sujeción en el momento oportuno, para evitar que si se colocan más tarde se produzcan defectos en el hormigón.



Estructura de las obras

La explicación de la estructura de una obra no sólo exige la consideración de cada elemento con su función, su ejecución y el material de que está compuesta, sino ante todo la de su cooperación en el conjunto estructural. La estabilidad de la obra depende de esto.

Diferenciaremos entre estructuras a base de paredes y construcciones a base de entramado.

Como estructura a base de paredes definimos una estructura formada por paredes y techos, que debe ser completada, dado el caso, mediante vigas y cargaderos, con el fin de salvar aberturas de gran tamaño en las paredes de carga.

En las estructuras a base de entramado estas paredes de carga están sustituidas por una serie de pilares y jácenas; no obstante para la estabilidad de la obra, generalmente son también necesarios o convenientes, aparte de techos rígidos, algunas paredes que arriostren la estructura.

Estructuras a base de paredes

La explicación de las estructuras a base de paredes requiere la consideración simultánea de paredes y techos, en cuanto trabajan conjuntamente como elementos de carga y arriostamiento. Antes de examinar la influencia de los distintos tipos de construcción y de los materiales, consideramos una vez más los elementos pared y los de techo en relación a su actuación estática en el conjunto de la obra.

Estructuración estática

Paredes

Siendo las paredes obras verticales destinadas al apoyo de cargas, pueden estar formadas por materiales que no posean notable resistencia a la tracción. Pero no sólo la naturaleza del material con su grado de densidad y su resistencia a la compresión tienen influencia sobre la capacidad de carga, la estabilidad y la rigidez de las paredes, sino que también intervienen el tamaño de la pared, la capacidad para transmitir fuerzas de las uniones entre sus elementos y las de éstos con otras piezas constructivas.

Una pared, estáticamente, trabaja como una losa puesta de canto. Bajo la acción de fuerzas verticales puede sufrir pandeo. Bajo la acción de fuerzas horizontales (viento) tiende a inclinarse y, según su estabilidad y rigidez, se produce vuelco, flexión o pandeo. Tanto el peligro de vuelco como el de pandeo aumentan al crecer la esbeltez h/d de la pared. La longitud de la misma también es importante cuando se requiere arriostamiento; influyen la distancia entre los elementos arriostantes, el posible empotramiento y la capacidad de los enlaces para transmitir esfuerzos.

Paredes aisladas

El tener que soportar los esfuerzos del viento hace que las paredes aisladas de poco espesor sean forzosamente de poca altura.

Las paredes altas han de tener espesores y pesos proporcionados si es que deben mantenerse por sí mismas sin el auxilio de refuerzos. Por esta razón, por ejemplo, las paredes de las basílicas de los primeros tiempos del cristianismo, que no estaban afianzadas por refuerzos, se construían con notables espesores y pesos considerables.

Una pared aislada, no arriostada ni empotrada, por efecto de su peso propio está sometida a esfuerzos de compresión, y, además, por efecto del viento y otras cargas horizontales está sometida a un momento flector que produce tensiones de tracción y compresión. Por ello se produce en la base de la pared una compresión excéntrica. Cuando la esbeltez $h/d > 10$ hay que reducir la tensión por compresión admisible en el material a la tensión admisible en las aristas —para obra de fábrica según DIN 1053, tabla 6.

Pero aún más determinante para la estabilidad de una pared aislada es en general su seguridad contra el vuelco. Esta seguridad es suficiente cuando el momento que se opone al vuelco no es inferior a una vez y media el momento de vuelco. De la relación entre el espesor de la pared, su peso específico y el valor de la carga del viento, resulta como altura máxima admisible para la pared el valor

$$h \leq \frac{d^2 \cdot \gamma}{1.5 w} \text{ (m)}$$

donde

h = altura admisible de pared sobre la junta de base (m)

d = espesor de la pared (m)

γ = peso específico de la pared (kg/m^3)

w = fuerza del viento (kg/m^2)

en que $w = c \times q$, en donde el coef. de forma

$c = 1.2$ para superficies planas

$c = 0.7$ para superficies cilíndricas

y q es la presión dinámica del viento, dada por la tabla siguiente

Altura sobre el terreno	Presión dinámica del viento q	Fuerza del viento $W \approx c \cdot q$
0-8	50	60 para $c = 1.2$
> 8-20	80	96
> 20-1000	110	132
> 100 m	110	132
> 100 m	130 kg/m^2	156 kg/m^2

De esto se deduce para paredes aisladas y no arriostadas, por ejemplo,

Valores orientativos de las alturas de pared admisibles				
Peso específico de la pared	Espesor de la pared			
	0.365	0.30	0.24	0.175
1800	2.65	1.80	1.15	0.60
1500	2.20	1.50	0.95	0.50
1200	1.75	1.20	0.75	0.40

Por estar más bajo el centro de gravedad y ser menor el momento de vuelco, la altura máxima admisible del frontón triangular no arriostado de un tejado a dos aguas se halla mediante la fórmula

$$h^A \leq 1.5 h \leq \frac{d^2 \cdot \gamma}{w}$$

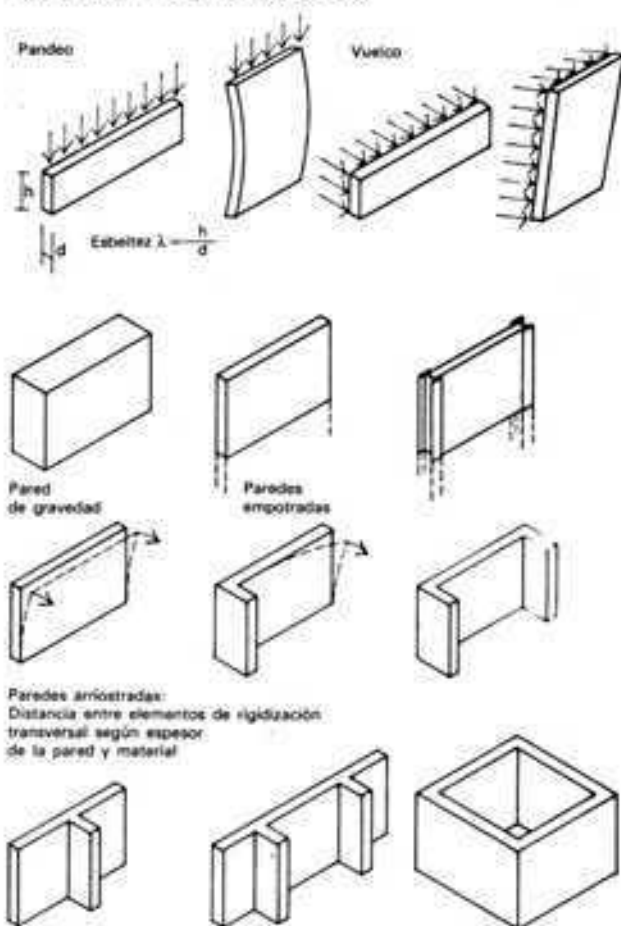
Esto hay que tenerlo en cuenta especialmente para frontones no arriostrados hechos con ladrillos de hormigón ligero o de hormigón poroso con peso específico menor de 800 kg/m³ en condiciones de obra en bruto, para evitar daños en días de tempestad. Para fábrica de ladrillo con un peso específico casi doble, también las alturas admisibles de los frontones se duplican. Y finalmente, dichos valores orientativos también son imprescindibles para la evaluación de la estabilidad en el caso de obras de derribo o en el de ruinas.

Arriostrando una pared aislada mediante pilares, se consiguen económicamente mayores alturas admisibles. La altura admisible de estas secciones compuestas se puede interpolar a partir de la altura y el ancho del pilar y del lienzo de pared correspondiente:

$$h_{\text{adm. TOTAL}} \leq h_{\text{adm. PILAR}} \times \frac{b_{\text{PILAR}}}{b_{\text{TOTAL}}} + h_{\text{adm. PARED}} \times \frac{b_{\text{PARED}}}{b_{\text{TOTAL}}}$$

$$h \leq \frac{d_{\text{PILAR}}^2 \times Y}{90} \times \frac{b_{\text{PILAR}}}{b_{\text{PILAR}} + b_{\text{TRAMO PARED}}} + \frac{d_{\text{SECCION PARED}}^2 \times Y}{90} \times \frac{b_{\text{TRAMO PARED}}}{b_{\text{PILAR}} \times b_{\text{TRAMO PARED}}}$$

ESTABILIDAD Y RIGIDEZ DE LAS PAREDES

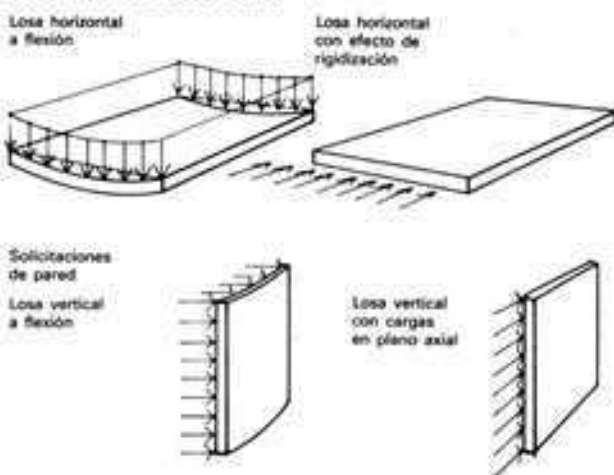


Paredes afianzadas

Si se colocan dos lienzos de pared sin enlace que los una, en posición perpendicular uno contra otro, es posible evitar el peligro de vuelco de cada pared en dirección de la otra en que se apoya. Pero si el esfuerzo horizontal viene de otras direcciones, dichas paredes se comportarán como paredes aisladas independientes, lo mismo en lo referente al vuelco que respecto al pandeo.

Sin embargo, si se procura establecer un buen enlace en el encuentro, las dos paredes se afianzarán y consolidarán mutuamente y sus grados de seguridad contra el vuelco y el pandeo aumentarán de modo esencial. El sencillo elemento de pared

SOLICITACIONES DE LOS TECHOS

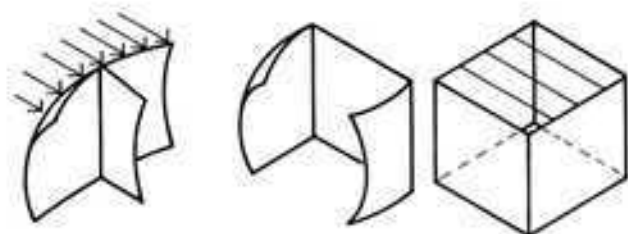


con un borde firme permite admitir, para igualdad de cargas y para igual grado de estabilidad, espesores de pared mucho más reducidos que la pared totalmente aislada y ofrece al mismo tiempo muchas posibilidades en la forma que se dé a la solución. Cuantos más lienzos de pared se agrupen, tantos más bordes fijos se obtendrán, llegándose finalmente a la formación de una caja abierta con cuatro aristas rígidas. Cuando tal caja se cierra con placas en forma de pisos o techos bien ligados con todas las paredes, quedan rígidas y bien aseguradas todas las aristas exteriores. Ahora bien; cuatro mayores son las superficies exteriores de la caja en relación con el espesor de las paredes, tanto más necesarias serán las otras consolidaciones o ligazones interiores. Esta relación es diferente para cada material empleado en paredes y pisos. Las cajas largas requieren muchas paredes transversales de afianzamiento o rigidez; si las cajas son muy altas, hay que disponer pisos o techos que arriostrando las paredes les den rigidez y subdividan las alturas de pandeo.

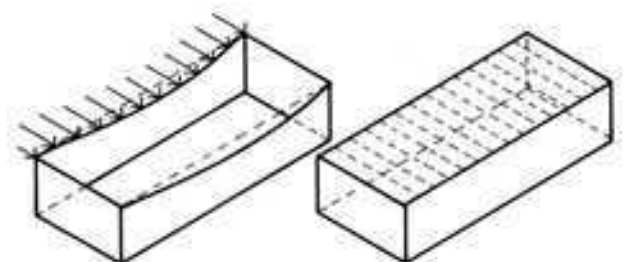
Pisos o techos

Los techos son elementos horizontales que trabajan principalmente a flexión, y como tales deben emplearse elementos constructivos resistentes a esta clase de esfuerzos. Dentro de la estructura de la construcción los techos pueden estar sometidos también a esfuerzos horizontales, especialmente las cargas del viento. No todos los techos considerados como elementos a flexión pueden trabajar al mismo tiempo como losas resistentes a los esfuerzos actuantes en su plano. Antiguamente eran necesarios mayores espesores de paredes, porque los techos de vigas de madera no tenían la misma rigidez que hoy día los de hormigón armado. Tanto las nuevas técnicas de encofrado como las armaduras a base de emparrillados permiten espesores de paredes cada vez menores, incluso en casos de grandes cargas. La tendencia a secciones de pared y techo cada vez menores se contraponen, por otro lado, al deseo de espacios cada vez mayores y de compartimentación variable. Sin embargo, para tener espacios con grandes luces se requieren grandes secciones resistentes. De todas maneras en las consideraciones económicas sobre los grandes espesores de paredes y techos siempre es importante tener en cuenta que mejoran las condiciones acústicas.

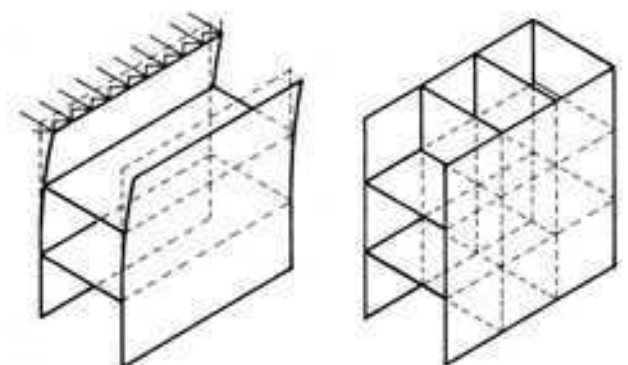
Los pisos o techos de vigas de madera consisten estáticamente en un enrejado de barras paralelas sometidas a flexión que, sin enlace o combinación mutua de esfuerzos, casi siempre descansan sobre las paredes como piezas apoyadas en dos puntos. En tanto que en las construcciones de entramado los maderos de paredes y techos o pisos, gracias a sus enlaces y ensambladuras (encepados, espigas, colas de milano, empalmes, cartabones, etc.) forman una estructura tridimensional muy rígida, la acción que a modo de placa de arriostramiento produce un piso de vigas de madera en una obra de fábrica maciza contribuye sólo relativamente a la estabilidad. Depende prácticamente de cómo se haga el forjado de las entrevigas y, en todo caso, de la suma



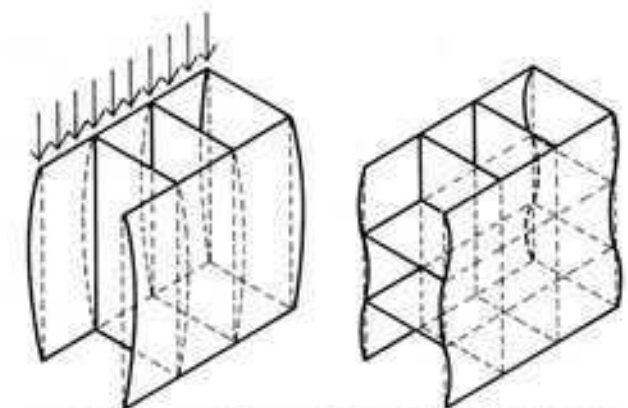
Estructuras de una sola planta.
Suponiendo suficiente espesor y arriostramiento mutuo de las paredes, se puede prescindir de techos rígidos.



Si se quieren grandes longitudes de paredes sin rigidización mediante elementos transversales, hay que disponer techos formados por losas rígidas, o bien dimensionar las paredes longitudinales como paredes estables por gravedad o como paredes empotradas.



Estructuras de varias plantas.
Con mayores alturas del edificio se necesitan, aparte de techos rígidos, por lo menos algunas paredes transversales de arriostramiento. En el caso de techos sin rigidización se reducirá la distancia entre las necesarias paredes transversales.



La condición para conseguir la mayor esbeltez posible (=relación entre espesor del elemento constructivo y superficie) es que los enlaces entre las losas de techo y las de las paredes sean capaces de transmitir esfuerzos.

de enlaces con el eventual entarimado o entablado del pavimento. Por esta causa, los pisos o techos de vigas de madera pueden contribuir escasamente a la rigidez y consolidación de la estructura del edificio. Su empleo presupone que los lienzos de pared correspondientes tienen la máxima posibilidad de constituir por sí mismos una estructura estable y que, sobre todo, si se trata de construcciones ligeras, están arriostradas horizontalmente con todo cuidado, por ejemplo, por medio de anclajes o zunchados periféricos de hormigón armado.

Aparte de esto, los pisos de vigas de madera del modo como se hacen corrientemente, dan lugar a una debilitación de las paredes, que puede llegar a ser de 1/5 de la sección resistente de las mismas y a veces todavía más. Esto tiene por consecuencia que para poder lograr un grado de estabilidad suficiente tengan que emplearse en ellas espesores mayores con el consiguiente mayor consumo de materiales.

Los pisos o techos de piedra, ladrillo, acero y hormigón, en cambio, con su actuación como losas o placas de mayor o menor estabilidad superficial proporcionan un eficaz arriostramiento horizontal de la estructura. La gradación o escalonamiento de la eficacia con que contribuyen a la rigidez y afianzamiento de la obra se halla en correspondencia con la serie que forman los sistemas estáticos fundamentales de formación de pisos y techos: vigas, vigas-losas y losas. Una eficaz consolidación horizontal de los pisos macizos permite alcanzar el mismo grado de seguridad y estabilidad con paredes mucho más delgadas o bien con materiales mucho menos resistentes que en el caso de emplearse pisos de vigas de madera.

Cooperación entre paredes y techos

El ejemplo arriba citado de la caja formada por las paredes y pisos constituye la forma básica de las construcciones macizas de varios pisos y ha hecho posible la construcción de edificios con paredes relativamente altas y delgadas. Es condición previa para la cooperación estática de los elementos planos verticales y horizontales de la estructura prismática hueca del cuerpo de edificio, el anclaje o ligazón de paredes y pisos. Las dimensiones más económicas se obtendrían cuando todas las superficies planas exteriores y divisorias tuviesen la suficiente rigidez superficial y estuviesen unidas entre sí por aristas suficientemente rígidas. Esto sólo puede conseguirse mediante obras cuya estabilidad estructural derive de su forma de construcción, como por ejemplo, en el hormigón armado; sin embargo, toda disposición que se adopte en una obra, conducente a aproximarse a aquella solución, contribuirá a su mejora estática.

Construcciones macizas con paredes de carga longitudinales

En las construcciones con paredes de carga longitudinales, los pisos y cubiertas se apoyan en ellas y sus luces o crujeas son transversales utilizando como apoyo tanto las paredes exteriores como las interiores o intermedias. Todas esas paredes se hallan afianzadas por tabiques y paredes transversales no cargadas y por los pisos.

Las distancias entre las paredes de carga longitudinales corresponden a las luces entre apoyos que suelen darse a los pisos, es decir, de 4 a 6 m, con las cuales y con dos crujeas se obtienen profundidades o anchuras de edificio de 8 a 12 m. Para anchuras mayores suele resultar más económico recurrir al empleo de tres crujeas, es decir, a dos paredes intermedias de carga en lugar de una.

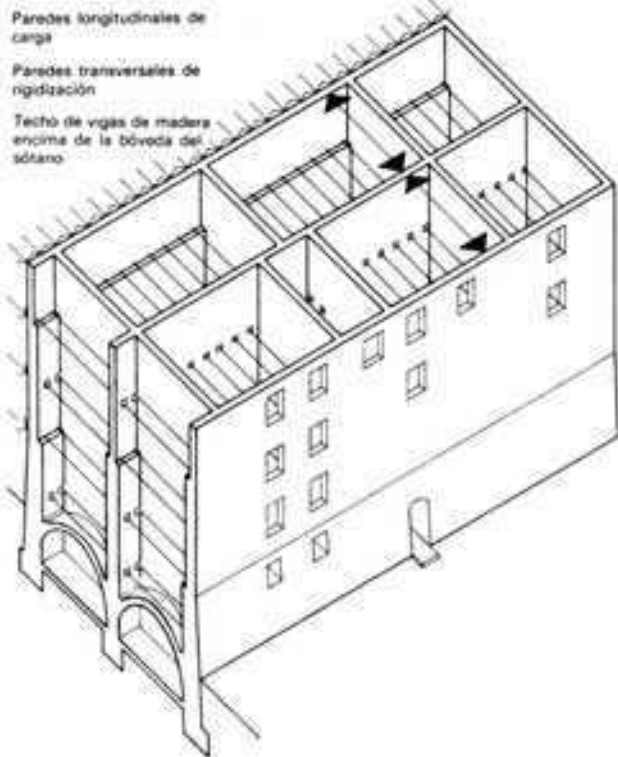
En las casas de vivienda de varios pisos predominaba antiguamente, y predomina también ahora aún en mayor escala, la estructura o disposición constructiva a base de paredes de carga longitudinales (las dos de fachada y una pared intermedia). A los fines de la distribución de la planta, esta solución tiene la ventaja de que a igual profundidad de las habitaciones pueden combinarse las anchuras de éstas y repartirlas según las necesidades. El cálculo de dimensiones de los distintos tipos de paredes se rige por la misión predominante que se les asigna en la estructura constructiva. A las paredes longitudinales exteriores se les

CONSTRUCCIÓN TRADICIONAL A BASE DE PAREDES DE CARGA LONGITUDINALES

Paredes longitudinales de carga

Paredes transversales de rigidización

Techo de vigas de madera encima de la bóveda del sótano



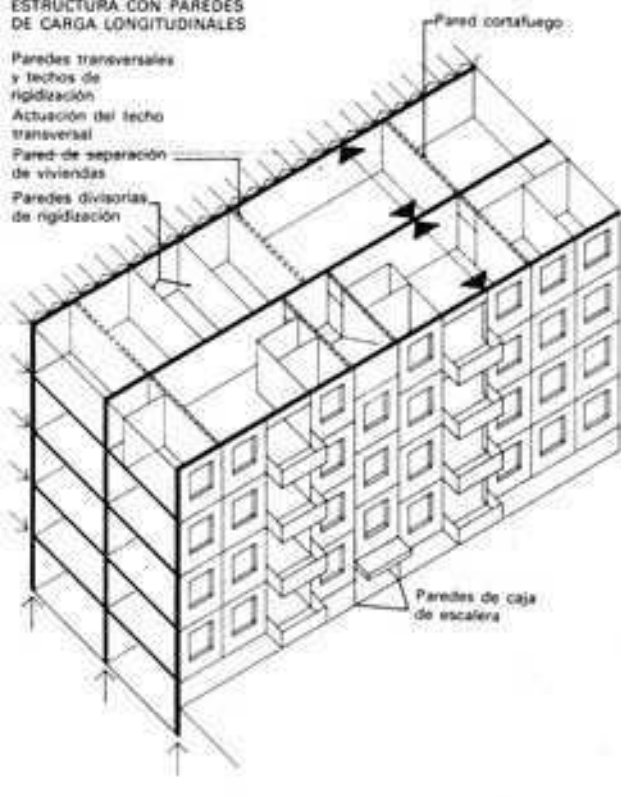
ESTRUCTURA CON PAREDES DE CARGA LONGITUDINALES

Paredes transversales y techos de rigidización

Actuación del techo transversal

Pared de separación de viviendas

Paredes divisorias de rigidización



exige, ante todo, una suficiente protección térmica. Tienen, además, la misión de soportar las cargas de cubiertas y pisos, así como las de su propio peso, para transmitirlos a las cimentaciones y al terreno firme. Las cargas que gravitan sobre las paredes intermedias de carga vienen a ser el doble de las correspondientes a las paredes exteriores; por consiguiente, conviene limitar al mínimo el número y la anchura de aberturas de puertas que en ellas se practiquen. Entre las paredes transversales no cargadas que, en general, no tienen otra misión que la separación de habitaciones dentro de cada vivienda, debe haber un número suficiente de ellas que estén en condiciones de afianzar o arriostrar transversalmente las paredes longitudinales de carga; en tanto que las restantes bastará que se construyan como tabiques ligeros. Si las paredes intermedias cargadas o las transversales sin carga sirven al mismo tiempo de medianerías entre viviendas o de paredes de cajas de escalera, tendrán que cumplir, además de su misión estática, las condiciones correspondientes al aislamiento acústico y térmico. Si se quiere que sirvan de muros cortafuegos, tendrán que hacerse de construcción apropiada.

Por su considerable importancia, este principio básico de la construcción fue el fundamento de las reglas y prescripciones relativas a espesores indispensables de las paredes que figuran en ordenanzas y reglamentos para la Construcción, publicados en los diferentes territorios y regiones a principios de siglo. No se llegó a redactar ninguna ordenación unificada como la que se preparó antes de la última guerra. En cambio, en la actualidad disponemos, para el cálculo de dimensiones y ejecución de la obra de fábrica, en DIN 1053, y para hormigón armado en DIN 1045, de las normas obligatorias de carácter general.

Construcciones macizas con paredes transversales de carga

En las construcciones a base de paredes de carga transversales, los pisos, techos y cubiertas se tienden en la dirección longitudinal del cuerpo de edificio, entre pared y pared transversal. Las paredes exteriores longitudinales no desempeñan ninguna función sustentadora. No tienen otra misión que cerrar y delimitar el local aislándolo del exterior y proporcionar una suficiente protección térmica.

En las casas construidas en el último período de la Edad Media podemos contemplar ya una primera fase de ese tipo de estructuras con fachadas estrechas y desarrollo en profundidad. Las casas se hallaban en inmediato contacto unas con otras vertiendo aguas a la calle; la viguería se apoyaba en las paredes medianeras y quedaba paralela a la calle. La fachada no soportaba carga y permitía holgadas aberturas que no habrían podido abrirse en una pared cargada con pisos. Las viejas ciudades de la baja Alemania muestran abundantemente ese tipo de estructura.

En nuestra época, el arquitecto vienés Adolf Loos ha renovado este sistema constructivo y en 1921 solicitó patente para su "Haus mit einer Mauer". Loos tomó como punto de partida las estrechas casas construidas en fila, en las que se admite una distancia hasta de 40 m entre muros cortafuegos; en cambio, las casas individuales sólo están separadas por paredes de 25 cm de grueso.

Este tipo de casas ha ido modificándose posteriormente y perfeccionándose cada vez más. Como permite una discriminación bien neta y definida entre los elementos de sustentación y los de aislamiento, es posible emplear para las paredes de carga materiales que, si bien son perfectamente suficientes para soportar las cargas y para el aislamiento acústico, no lo son para el aislamiento térmico (piedra natural, hormigón) o no son apropiados para resistir la acción de los agentes atmosféricos (tapial).

En los últimos años se ha aplicado también el principio constructivo de las paredes transversales de carga a la edificación de casas de varios pisos, destinadas a vivienda. El método escocés hace más difícil la diferente distribución de los locales en planta; en cambio, es muy apropiado para resolver los problemas constructivos que requieren o permiten una alineación de numerosas células iguales, por ejemplo, casas con vestíbulo o galería común, o casas alineadas en serie.

Las viviendas individuales pueden ser de una o de varias células. En las que ocupan varias células, los locales deben disponerse de manera que, en las paredes transversales de carga que separan células dentro de una misma vivienda, vayan pocos vanos y pequeños.

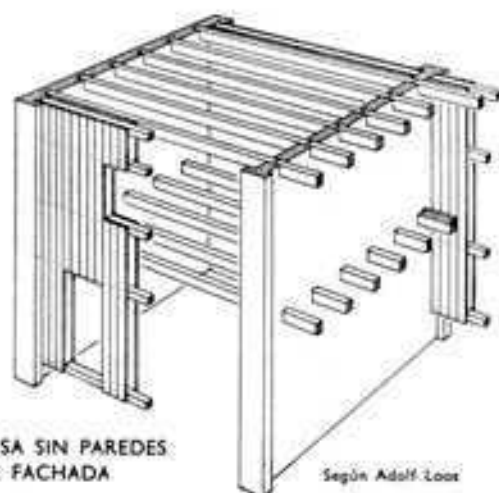
La anchura normal de las células es de 3,5 a 4,5 m.

La anchura mínima de célula viene determinada por la luz necesaria para una escalera de ida y vuelta, que es de unos 2,25 m.

La anchura máxima de las células es de unos 6,25 m, medida que resulta de que en la construcción de casas de vivienda la luz máxima para los pisos de tipo continuo y de construcción maciza, no debe exceder de unos 6,50 m, tanto por razones constructivas como económicas.

La profundidad de la célula, en el tipo de paredes de carga transversales puede ser elegida libremente. La posibilidad de abrir amplias ventanas sin dinteles en las paredes longitudinales no cargadas permite, además, dar a los locales luz suficiente. Si las habitaciones principales caen todas al mismo lado, en la mayoría de los casos bastará una profundidad de células de 8 a 9 m. La parte de vivienda (dormitorios y comedores) puede, en tal caso, tener de 5 a 6 m de profundidad (que si da al sur, en invierno queda incluso soleada hasta el fondo) quedando todavía en la cara norte una faja de unos 3 m para dependencias y servicios. Cuando ha de haber habitaciones principales en ambas fachadas y las dependencias deben distribuirse por la parte interior de la planta, puede ser suficiente una profundidad de células de unos 11,50 m.

En los extremos de la hilera de casas pueden hacerse viviendas algo mayores porque allí es posible abrir ventanas en tres de las caras.



CASA SIN PAREDES DE FACHADA

Según Adolf Loos

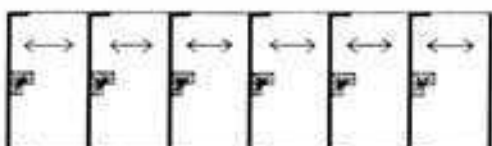
Para obtener viviendas más capaces, muchas veces se recurre a construir unidades de dos plantas con una escalera interior independiente para cada una. El tipo de construcción de paredes transversales de carga permite además la disposición de galerías o balcones sin tener que recurrir a medidas constructivas adicionales.

Los cálculos de comparación de costes efectuados sobre construcciones de ensayo dieron no sólo una equivalencia de coste para los tipos de paredes transversales, sino, en muchos casos, incluso alguna pequeña ventaja económica respecto de los tipos longitudinales. Además, las plantas estrechas y profundas que permite el sistema de construcción de paredes transversales proporciona considerables economías en los gastos de urbanización y de calefacción.

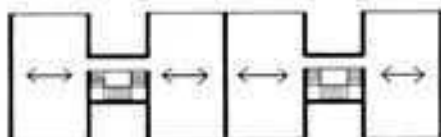
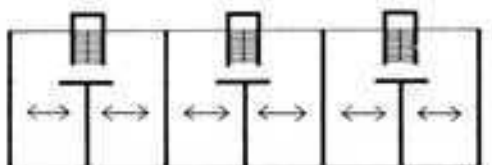
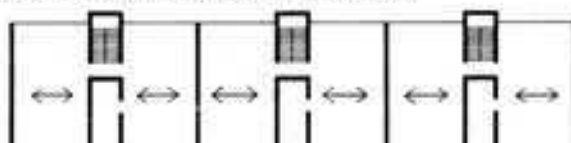
Condiciones estáticas

Tanto los pisos y techos como las estructuras de cubierta se tienden de una pared transversal a la siguiente. Estas paredes tienen, por consiguiente, que soportar las cargas verticales. En este sistema de las paredes de carga transversales, éstas, en la mayoría de los casos, tienen muchas menos soluciones de continuidad que las paredes de carga longitudinales.

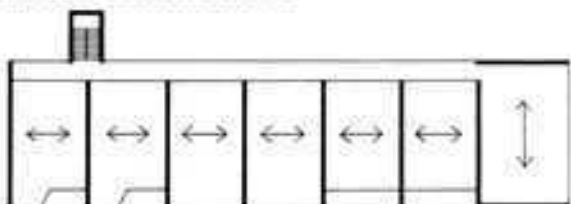
Entre las presiones o cargas de dirección horizontal (viento) hay que distinguir las que actúan en dirección perpendicular a la fachada longitudinal de las que actúan paralelamente a la misma. Las presiones perpendiculares a la fachada longitudinal no requieren comprobación estática alguna especial ni medidas constructivas adicionales, porque el cuerpo del edificio, en tal dirección, se halla suficientemente afianzado y consolidado por los pisos y techos y por la resistencia de las paredes transversales. Sin embargo, las paredes exteriores longitudinales tienen que estar en condiciones de poder transmitir a los pisos y a las



CONSTRUCCIONES DE VARIOS PISOS A BASE DE PAREDES TRANSVERSALES DE CARGA

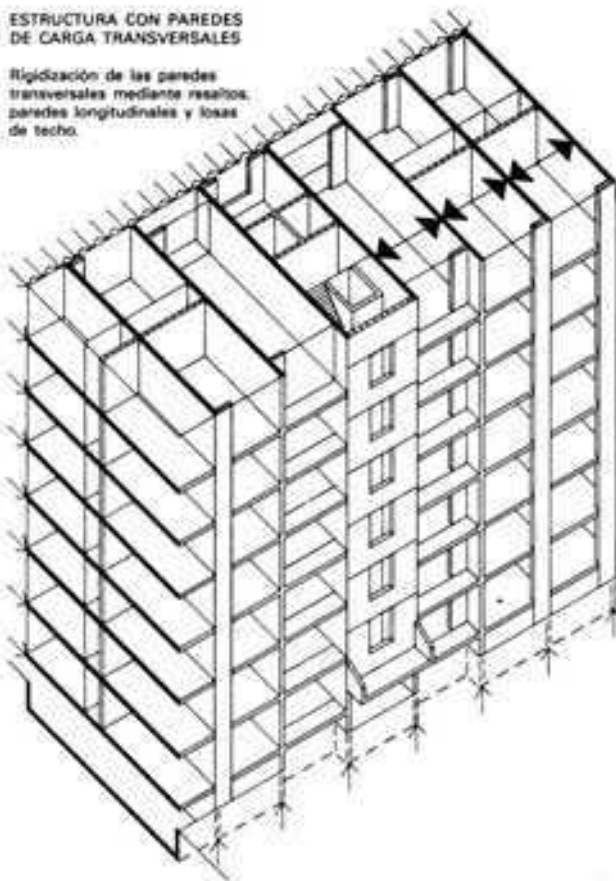


CASA DE GALERÍA LONGITUDINAL



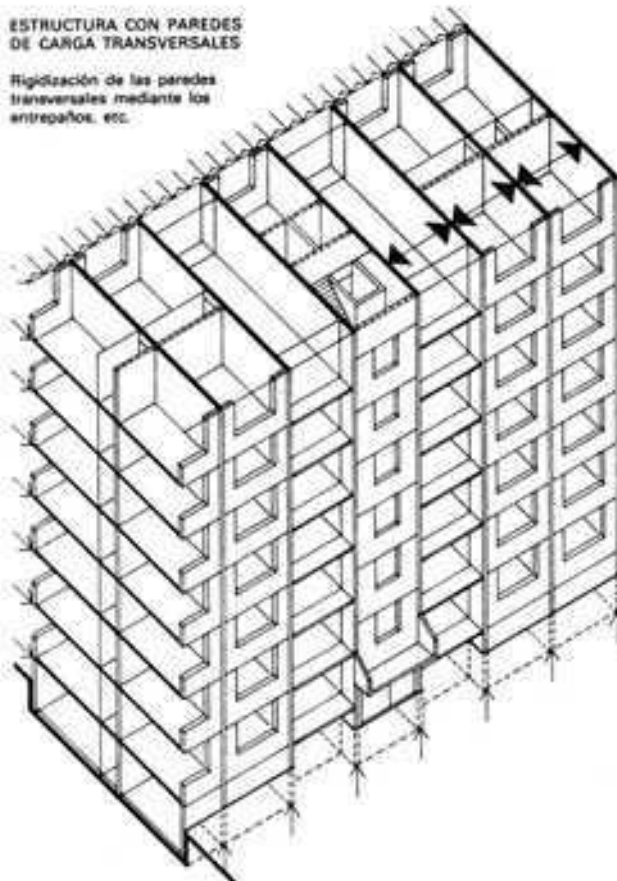
ESTRUCTURA CON PAREDES DE CARGA TRANSVERSALES

Rigidización de las paredes transversales mediante resaltes, paredes longitudinales y losas de techo.



ESTRUCTURA CON PAREDES DE CARGA TRANSVERSALES

Rigidización de las paredes transversales mediante los entregajos, etc.



paredes transversales los esfuerzos del viento tanto de presión como de succión. Tienen que construirse y anclarse de manera que puedan satisfacer esas condiciones. Todos los sistemas estructurales de los pisos que van de una pared transversal a la siguiente, para las profundidades ordinarias de los cuerpos de edificio de 8,50 m a 11,50 m pueden actuar como placas horizontales que transmiten los esfuerzos horizontales del viento a las paredes transversales.

Las losas continuas, los pisos macizos con zona de compresión continua de hormigón hecho en obra o de albañilería bien trabada, de 5 cm de espesor, resultan tan eficaces como los pisos de vigas o de piezas prefabricadas.

La rigidez en sentido longitudinal de las construcciones con paredes transversales de carga debe comprobarse estáticamente en cada caso. En los cuerpos de edificio con muchas células y pocos pisos, la trabazón del conjunto de las numerosas paredes transversales puede ser suficiente para absorber las fuerzas horizontales paralelas al frente longitudinal, transmitidas por los techos continuos. No son, pues, indispensables otros refuerzos para el arriostramiento longitudinal.

Sin embargo, la rigidez y afianzamiento debidos a las paredes transversales pueden llegar a no ser suficientes y, en tal caso, hay que proveer a un afianzamiento longitudinal del cuerpo de edificio mediante placas rígidas en el sentido de la longitud, disponiendo, por ejemplo, paredes de caja de escalera o bien otras paredes macizas en el mencionado sentido. Según indican las figuras que se acompañan, pueden situarse en la parte central o en los extremos.

Los pisos tienen también que estar en condiciones de transmitir a los refuerzos longitudinales las fuerzas del viento que actúan de manera uniformemente repartida sobre los muros pñones. En todo piso de tipo macizo con zona continua de compresión de 5 cm de espesor se halla esto asegurado, pero la máxima eficacia y seguridad se logra con las losas continuas de piso, hormigonadas en obra.

Si todas las fuerzas horizontales quedan absorbidas y contrarrestadas por paredes en forma de placas macizas de afianzamiento longitudinal, el cálculo de las dimensiones de las paredes transversales puede limitarse a lo que requieren las cargas verticales siempre que no haya que cumplir con otros requisitos,

como, por ejemplo, los del aislamiento acústico en el caso de que las paredes sirvan para la separación de viviendas.

Ejecución

Las paredes transversales tienen que estar hechas de manera que puedan absorber todas las cargas verticales existentes. En las testas de las paredes transversales, esas cargas de los pisos y cubiertas se incrementan con el peso de las paredes exteriores longitudinales, por lo que es frecuente que dichos testeros tengan que ser aptos para soportar mayores cargas y haya que construirlos de manera adecuada para esta finalidad. Puede para ello ser suficiente que se use una obra de fábrica cuyas piezas tengan una resistencia más elevada. En cambio, la seguridad contra el pandeo queda mejorada en los bordes de las paredes transversales por la presencia de las placas de la fachada longitudinal, cuando se trata de paredes transversales de obra de albañilería, y por las armaduras de acero en el caso de paredes de hormigón.

Para construcciones altas, lo más adecuado es el hormigón en masa (DIN 4232), cuyas resistencias a la compresión pueden variar según la calidad de hormigón que se emplee; de este modo, los puntos sometidos a mayores solicitaciones, como son los testeros de las paredes transversales, pueden además armarse debidamente.

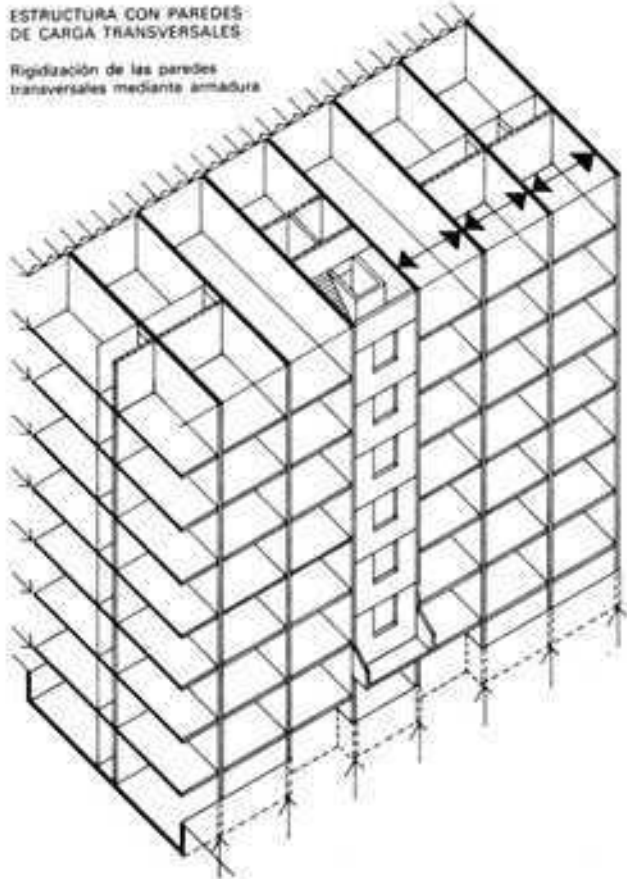
Al calcular el espesor de las paredes transversales, éstas, que son las que han de soportar las cargas, equivalen a las paredes intermedias del tipo de construcción longitudinal, de manera que les es aplicable la norma DIN 4106: "Espesor de paredes en la construcción de viviendas". Los requisitos exigidos son satisfechos perfectamente por las paredes macizas de hormigón y por las de obra de fábrica en combinación con las losas macizas de piso, hechas en obra con hormigón de ladrillo triturado o con hormigón de tipo ordinario.

En los pisos continuos de hormigón armado hay que tener en cuenta la norma DIN 1045: "Prescripciones para la ejecución de obras de hormigón armado". Es necesario disponer juntas de dilatación a distancias de 35 a 40 m.

Las paredes longitudinales exteriores pueden ser hechas de obra de fábrica, de hormigón encofrado o de piezas prefabricadas y pueden hacerse simultáneamente con las paredes transversales

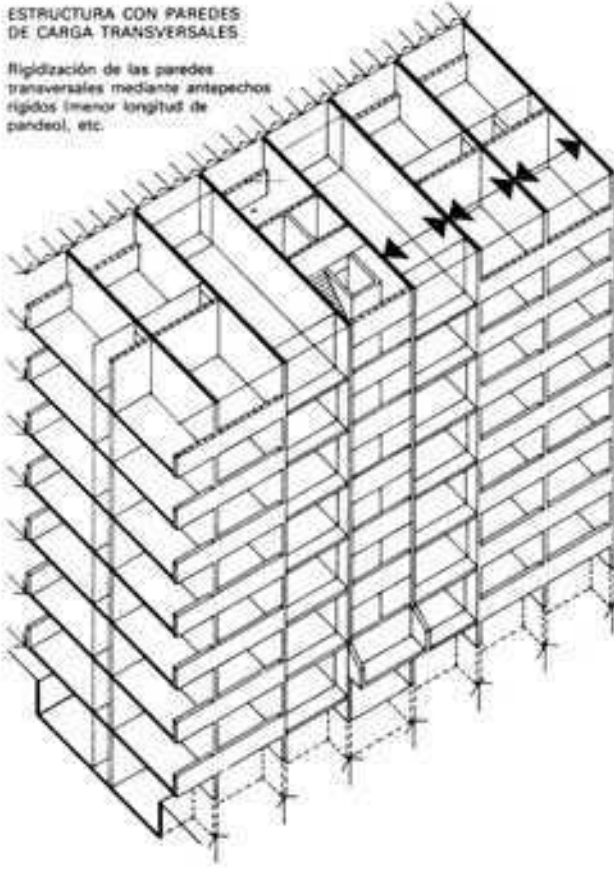
ESTRUCTURA CON PAREDES DE CARGA TRANSVERSALES

Rigidización de las paredes transversales mediante armadura



ESTRUCTURA CON PAREDES DE CARGA TRANSVERSALES

Rigidización de las paredes transversales mediante antepechos rígidos (menor longitud de pandeo), etc.



y los pisos o techos o bien puede esperarse a hacerlos después de su terminación.

Sin embargo, la disposición de galerías y de ventanales muy anchos es lo más característico de las fachadas de los edificios con paredes de carga transversales. Para las paredes con grandes ventanas se suelen preferir ligeras construcciones de entramado metálico o de madera, excepto cuando se trata de antepechos macizos. Se puede prever también un muro cortina suspendido, delante de los cantos de las paredes transversales y de las losas de piso. Respecto al aislamiento acústico, esta solución tiene menos ventajas que la de poner cerramientos entre los elementos de carga.

Protección térmica

El calor requerido para la calefacción de las viviendas bien construidas con arreglo al sistema de paredes transversales de carga suele ser menos importante que el que requieren las viviendas de iguales dimensiones con paredes de carga longitudinales. El tipo de paredes transversales permite construir viviendas estrechas y profundas, con lo cual las superficies de enfriamiento resultan menores y la calefacción más económica. Las paredes exteriores longitudinales de tipo ligero pueden hacerse sin dificultad a base de materiales aislantes, a fin de que cumplan los requisitos exigidos por la DIN 4108 en relación con la "Protección térmica en los edificios".

Las paredes transversales sólidas y gruesas del interior de los edificios representan una acumulación de calor o reserva térmica que al interrumpir la calefacción se enfría muy lentamente. Si las paredes transversales y los techos o pisos se prolongan hacia el exterior, se requerirá que la formación de juntas entre las paredes longitudinales y las transversales o entre aquellas y los pisos esté hecha con especial cuidado. En invierno, la corriente térmica o flujo de calor que desde un local caldeado se dirige al exterior tropieza en las paredes longitudinales exteriores con una mayor resistencia a su paso que en las paredes transversales y pisos o techos que, en general, no se hacen con materiales tan aislantes del calor. Como consecuencia de ello, en los bordes de las paredes transversales y de los pisos y en parte también en las zonas de la pared longitudinal en las inmediaciones de las juntas con dichos elementos se producen temperaturas más bajas que

en los restantes puntos de la superficie de las paredes. Si la temperatura en tales puntos de la superficie de paredes transversales y pisos desciende por debajo del punto de rocío del aire del local, se producirán condensaciones de agua (rocío) en esos puntos.

Para conjurar ese peligro es preciso interceptar la fuga de calor hacia el exterior en la forma más eficaz que sea posible, interponiendo placas aislantes en los bordes de las paredes transversales y de los pisos.

Protección acústica

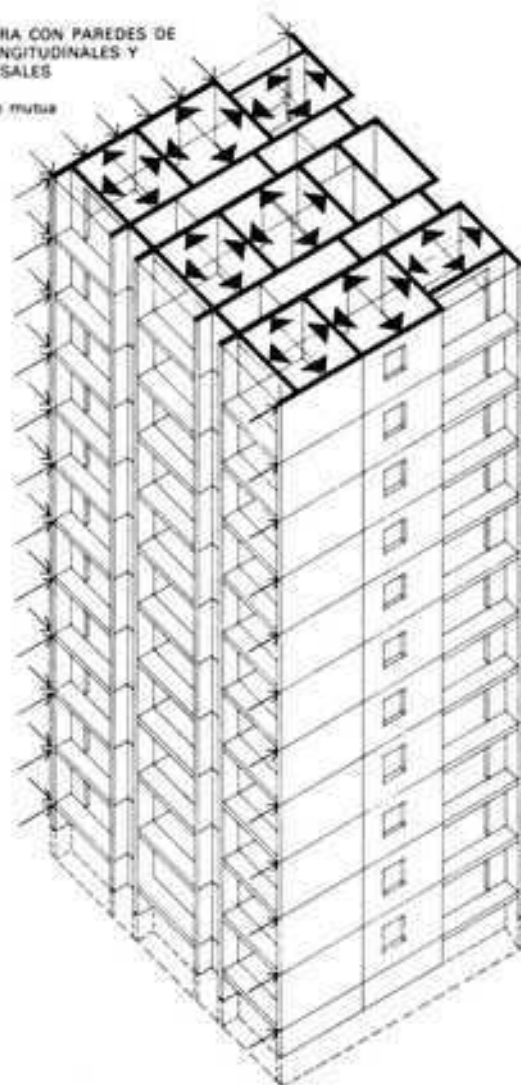
Las paredes transversales de carga cuando están construidas con gran solidez proporcionan un buen aislamiento acústico para sonidos propagados por el aire.

Los pisos continuos favorecen la propagación de los ruidos. Sin embargo, las mediciones efectuadas han demostrado que empleando preferentemente pisos de tipo pesado (losas de hormigón armado) y pisos de dos capas (pisos nervados de hormigón armado con cielo raso suspendido) con pavimentos adecuados conforme a la técnica de la protección contra el ruido, las construcciones con paredes transversales de carga son equivalentes a las de paredes longitudinales.

Por lo que se refiere a la disposición de conducciones que puedan propagar ruidos, sirven aproximadamente las mismas reglas que en el caso de las paredes de carga longitudinales. Tales conducciones están mejor si van colocadas al descubierto y fuera de las paredes transversales medianeras, y se instalan en la zona destinada a servicios y dependencias. De lo contrario, por lo menos deben disponerse a ambos lados de las paredes medianeras los locales de servicio.

Construcciones macizas con paredes de carga longitudinales y transversales

Las estructuras con paredes de carga longitudinales y transversales permiten el empleo de placas o losas de hormigón armado, lisas o nervadas, con armaduras cruzadas. Estos pisos, que



requieren apoyo por todos sus lados, presuponen, por consiguiente, que el local tenga planta cuadrada o por lo menos de una forma aproximada a dicha figura. Contra lo que ocurre en los sistemas que se basan en el empleo exclusivo de paredes de carga longitudinales o transversales, en que los pisos suelen tener su armadura principal en una sola dirección, los pisos con armaduras cruzadas representan la forma más económica de piso en bruto.

Al mismo tiempo, este tipo de piso hace posible, al enlazarse con las paredes de carga longitudinales y transversales, el grado máximo de rigidez y trabazón de la estructura prismática hueca, que es la forma corriente de nuestros edificios.

Las cargas de los pisos se reparten uniformemente sobre las paredes exteriores e interiores, con lo cual se logra que la presión sobre el terreno quede también repartida con más uniformidad que en el caso de paredes de carga exclusivamente longitudinales o transversales.

Todas estas circunstancias indican que se trata en este caso de estructuras de elevada aptitud para la sustentación de cargas y de construcciones sumamente económicas.

Su empleo ofrecerá ventajas siempre que:

- por ejemplo, una estructura de paredes longitudinales de carga, por razones estáticas, requiriese mayores espesores de paredes de los que exigirla la protección térmica;
- tratándose de edificios de considerable altura; expuestos a fuertes cargas debidas al viento, se necesitase una mayor consolidación y arriostramiento de la que podrían proporcionar unas paredes transversales de mayor espesor;
- en cimentaciones sobre placas, una repartición uniforme de las cargas conduce a dimensiones más económicas de las mismas;
- se logra una mayor seguridad contra el pandeo con espesores de pared relativamente delgados;
- a pesar de haber un gran número de pisos, en todas las plantas es conveniente emplear paredes del mismo espesor.

Véase capítulo "Construcción de edificios altos", pág. 424.

Obra de fábrica

La influencia de los materiales y los sistemas de ejecución sobre un conjunto constructivo se explicará a continuación separadamente para obras de fábrica, construcciones de hormigón armado y construcciones a base de piezas prefabricadas.

Para el cálculo de dimensiones y la ejecución de obras o elementos de piedra natural o artificial o de ladrillo se aplica la norma DIN 1053. Las partes más importantes se reproducen a continuación con algunas ilustraciones y textos complementarios.

2. Documentación técnica

2.1. Documentos que comprende

Entre los documentos que componen la información técnica figuran los dibujos básicos, el cálculo estático, y una descripción de la obra desde el punto de vista constructivo, así como los certificados de aprobación de los materiales y sistemas, y los de los resultados de los ensayos.

2.2. Dibujos

Los dibujos para la ejecución de las obras o de los elementos que las componen deben contener todos los datos y medidas necesarios; en ellos hay que indicar además:

- a) Estructura de las paredes;
- b) Clase, peso y resistencia a la compresión de las piedras y ladrillos que se utilizan;
- c) Grupo a que pertenecerán los morteros;
- d) Zunchos;
- e) Ranuras y encajes;
- f) En caso necesario, anclaje de las paredes;
- g) En caso necesario, armadura de la obra de fábrica;
- h) En caso necesario, apoyos desplazables.

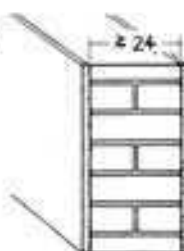
2.3. Cálculo estático

La estabilidad y seguridad de las construcciones y el cálculo de sus elementos deben estar expuestos con toda claridad para poder examinarlos y comprobarlos fácilmente hasta donde sea necesario, o en la forma exigida en esta norma.

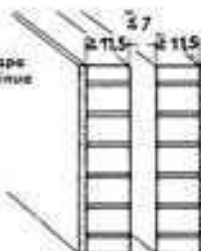
2.4. Descripción de la obra

Todos los datos que sean necesarios para la ejecución de las obras y para la comprobación de los dibujos o de los cálculos estáticos, pero que

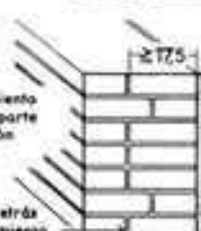
PAREDES EXTERIORES DE CARGA



Pared con capa de aire continuo



El revestimiento no forma parte de la sección de carga



no quedan claramente de manifiesto en los documentos citados en los artículos 2.2. y 2.3., deben ser aclarados en la descripción de la obra.

3. Estabilidad de las obras y partes de las mismas

3.1. Consideraciones generales

La seguridad o estabilidad de las obras de albañilería y partes de las mismas, tiene que estar suficientemente garantizada por paredes transversales de alfileramiento y pisos o por otras medidas adecuadas. Sólo se consideran que tienen bastante eficacia como forjados de rigidización los forjados que actúan como una losa.

3.2. Tipos de paredes. Grosos de paredes

3.2.1. Consideraciones generales

Los espesores de pared estáticamente necesarios deben comprobarse por el cálculo. Puede prescindirse de esta comprobación cuando los gruesos elegidos son manifestamente suficientes. Las paredes deben tener los gruesos mínimos consignados en los artículos siguientes:

- Al elegir los gruesos de las paredes hay que tener en cuenta también la misión de las paredes en lo que respecta a la protección contra el frío y el calor, el ruido, el fuego y la humedad.
- En las paredes exteriores hechas con materiales no resistentes a las heladas debe aplicarse un revoco exterior según la DIN 18550 o bien otra protección contra los agentes atmosféricos.

3.2.2. Paredes de carga

3.2.2.1. Definiciones

Llamaremos paredes de carga a los elementos en forma de losa vertical sometidos a fuerzas predominantemente de compresión, que reciben cargas verticales, por ejemplo las procedentes de los forjados, así como cargas horizontales, por ejemplo, la presión del viento.

3.2.2.2. Paredes de carga exteriores

El grueso mínimo de las paredes de carga exteriores de una hoja es de 24 cm.

Pueden admitirse excepciones en construcciones de una sola planta no destinadas a estancia permanente de personas.

Sobre los gruesos mínimos de las paredes de revestimiento, con cámara de aire continua o sin ella, véase DIN 1053, artículo 5.2.

El ancho mínimo de los machones, sin los batientes de las puertas es de 24 cm.

Cuando se emplean bloques huecos según DIN 18151 y DIN 18153 el ancho mínimo de los machones es de 36,5 cm, y en sección transversal deben tener por lo menos un bloque.

3.2.2.3. Paredes de carga interiores

Las paredes de carga interiores de un grueso < 24 cm deben cumplir las condiciones de la tabla 2.

Sobre el ancho mínimo de los machones véase el artículo 3.2.2.2., párrafo 3.

Tabla 2. CONDICIONES PARA EL EMPLEO DE PAREDES INTERIORES DE CARGA CON ESPESOR < 24 CM.

	1	2	3
1	Espeor de pared en cm	17,5	11,5
2	Altura de techo admisible en m	$\leq 3,25$	
3	Carga accidental admisible en kg/m ² (kN/m ²), incluida la sobrecarga de los tabiques ligeros	≤ 275 (2,75)	
4	Número admisible de plantas completas a contar desde arriba	$\leq 4^{1)2)}$	$\leq 2^{1)}$
5	Sólo admisible como apoyo intermedio de pisos continuos con luces $\leq 4,50$ m, donde si se trata de pisos con elementos resistentes en las dos direcciones se cuenta la luz más pequeña ³⁾ . Entre las paredes transversales de refuerzo sólo es admisible una abertura en cada tramo con una anchura $\leq 1,25$ m.		

¹⁾ Incluidas las posibles plantas con paredes de 11,5 cm de espesor

²⁾ Si los pisos son resistentes y continuos en las dos direcciones, los valores que da la tabla para la dirección en que se obtiene la menor carga sobre las paredes, proceden de los pisos, pueden aumentarse en 2 unidades.

³⁾ Las cargas aisladas centradas procedentes de la estructura de la cubierta son admisibles si se ha comprobado la acción de estas cargas sobre las paredes. Estas cargas aisladas no deben ser mayores de 3 ton (30 kN) en paredes 11,5 cm de grueso, ni de 5 ton (50 kN) en paredes de 17,5 cm de grueso.

3.2.3. Paredes de rigidización

Las paredes de rigidización son elementos en forma de losa vertical¹⁾ que sirven para evitar el pandeo de las paredes de carga. Como paredes de rigidización pueden aprovecharse también las paredes de carga.

Las paredes de rigidización deben tener por lo menos una longitud igual a 1/5 de su altura. Las paredes de rigidización deben reunir las condicio-

Tabla 3. ESPESORES Y DISTANCIAS MINIMAS DE LAS PAREDES TRANSVERSALES DE RIGIDIZACION

Línea	Espesor de la pared cargada que hay que alfilerar	Altura de techo	Pared transversal de alfileramiento		
			En las plantas 1. ^a a 4. ^a a contar desde arriba Espesor	En las plantas 5. ^a y 6. ^a a contar desde arriba Espesor	Distancia entre ejes de paredes
	cm	m	cm	cm	m
1	$\geq 11,5 < 17,5$	$\leq 3,25$	$\geq 11,5$	$\geq 17,5$	$\leq 4,50$
2	$\geq 17,5 < 24$				$\leq 6,00$
3	$\geq 24 < 30$	$\leq 3,50$	$\geq 11,5$	$\geq 17,5$	$\leq 8,00$
4	≥ 30	$\leq 5,00$			

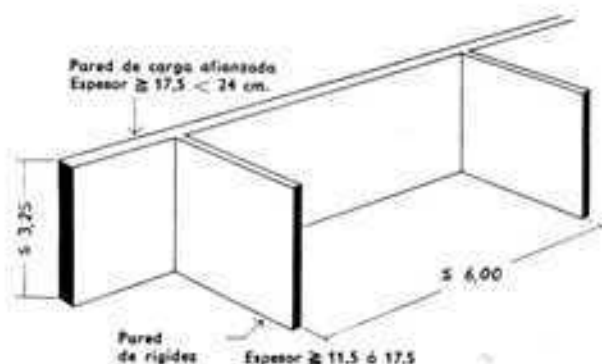
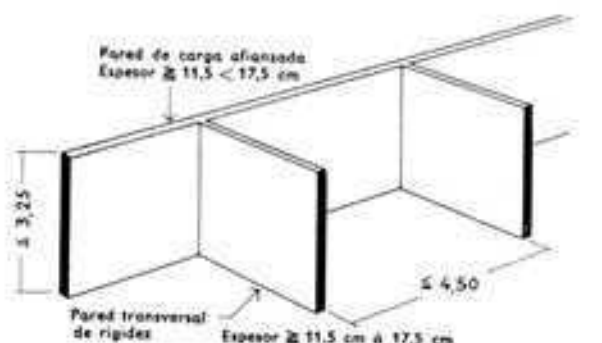
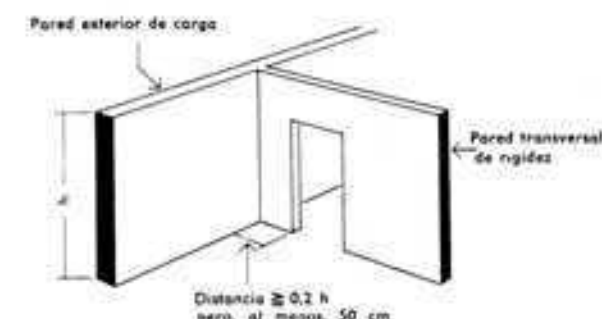
nes indicadas en la tabla 3. Si deben soportar más que el peso propio correspondiente a una planta hay que dimensionarlas como paredes de carga.

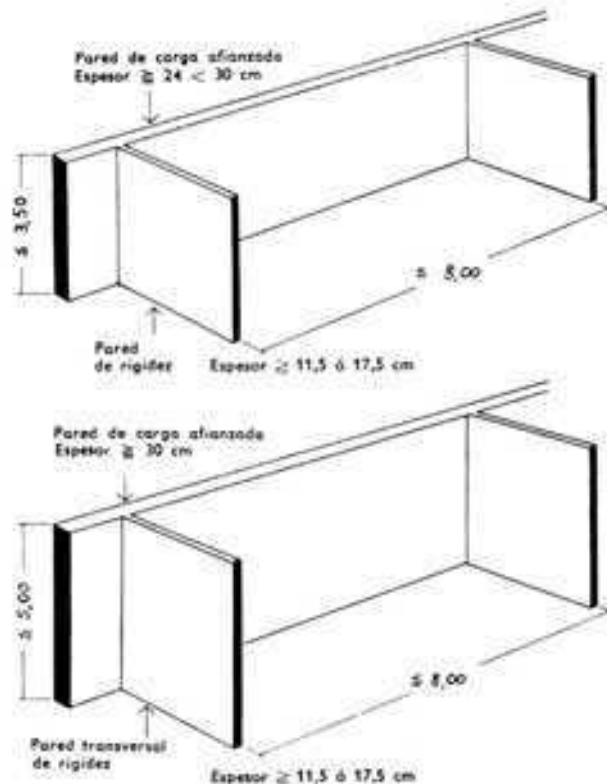
3.3. Rigidización de las paredes de carga

3.3.1. Elementos rigidizadores

Las paredes de carga se consideran rigidizadas cuando no pueden verificar desplazamientos perpendiculares a su plano, por impedírselo unas paredes transversales o los mismos forjados que cargan sobre ellas. Si la pared rigidizadora, o dos paredes rigidizadoras situadas en el mismo plano, están interrumpidas por aberturas, la longitud de la parte de la pared rigidizadora que queda unida a la pared a rigidizar debe ser por lo menos de 1/5 de la altura de las citadas aberturas.

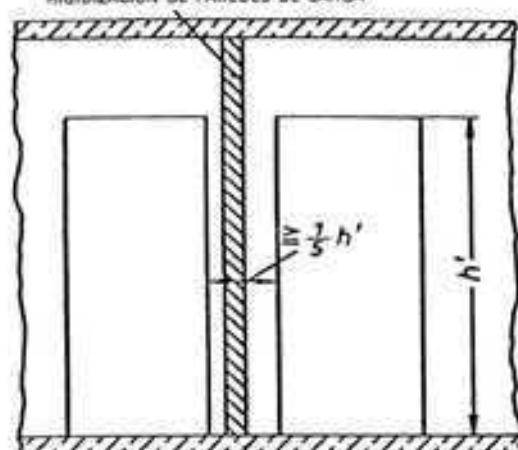
RIGIDIZACIÓN DE PAREDES DE CARGA





Si se emplean forjados que no tienen actuación como losa o bien si a causa de las deformaciones del forjado que sostiene la cubierta se disponen juntas de deslizamiento en los apoyos de los forjados, hay que asegurar la rigidización horizontal de las paredes mediante zunchos u otros sistemas estáticamente equivalentes. Los zunchos y sus uniones a las paredes que rigidizan deben calcularse para una carga horizontal de $1/100$ de la carga vertical de las paredes y, en su caso, para la acción del viento. En el dimensionamiento de los zunchos que van debajo de una capa de deslizamiento hay que tener en cuenta además las fuerzas de tracción correspondientes a las fuerzas de rozamiento remanentes.

RIGIDIZACIÓN DE PAREDES DE CARGA



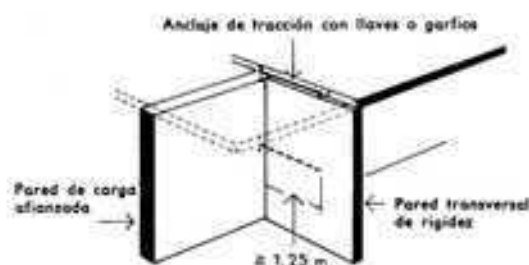
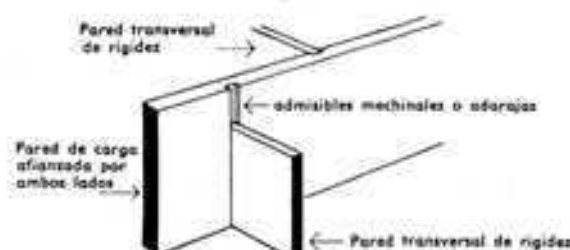
ANCHO MINIMO DE LA PARED RIGIDIZADORA

3.3.2. Unión entre paredes de carga y paredes de rigidización.

Las paredes transversales de refuerzo o rigidización tienen que construirse al mismo tiempo que las paredes de carga que se desea afianzar aparejándolas de manera que queden debidamente trabadas. Los endentados horizontales (escalonador) son equivalentes a la construcción simultánea. Si la construcción simultánea de las paredes de carga y de rigidización es especialmente difícil, se pueden emplear sistemas estáticamente equivalentes.

Cuando las paredes de carga están sujetas por ambos lados por paredes situadas en un mismo plano o desplazadas una respecto a otra en un máximo de seis veces el grueso de la pared de carga, no es necesario recurrir a tales procedimientos.

En edificios con más de 6 plantas completas las paredes a rigidizar y las rigidizadoras deben levantarse siempre simultáneamente, debidamente aparejadas.



3.2.4. Paredes no sustentantes

3.2.4.1. Definiciones

Paredes no sustentantes son elementos en forma de losa vertical que esencialmente sólo soportan su peso propio y no sirven para dar resistencia al pandeo a las paredes de carga. Pero deben transmitir las fuerzas del viento que actúan en su superficie a los elementos resistentes tales como paredes de carga o forjados.

3.2.4.2. Paredes no sustentantes exteriores

En el caso de paredes de relleno de los entrepaños en los edificios a base de entramado o esqueleto puede prescindirse de la comprobación estática cuando

- Las paredes están sujetas por los cuatro lados (por ejemplo, por endentados, resaltes o anclajes);
- se cumplen las condiciones de la tabla 4;
- se emplean morteros de los grupos Ila o III.

3.2.4.3. Paredes no sustentantes interiores

Para las paredes no sustentantes interiores, que no están sometidas a fuerzas del viento que actúan sobre su superficie, véase la DIN 4103: paredes divisorias y tabiques ligeros; instrucciones para su ejecución.

Tabla 4. VALORES MAXIMOS DE LAS SUPERFICIES DE LOS ENTREPAÑOS DE LAS PAREDES EXTERIORES NO SUSTENTANTES QUE PUEDEN ADMITIRSE SIN COMPROBACION POR EL CALCULO

Grueso de la pared cm	1	2	3	4	5	6	7
	Valor máximo admisible de la superficie de los entrepaños de las paredes de entramado para una altura sobre el terreno de						
	0 a 8 m		8 a 20 m		20 a 100 m		
	$\epsilon = 1,0$ m ²	$\epsilon \geq 2,0$ m ²	$\epsilon = 1,0$ m ²	$\epsilon \geq 2,0$ m ²	$\epsilon = 1,0$ m ²	$\epsilon \geq 2,0$ m ²	
1	11,5 ^{a)}	12	8	8	5	6	4
2	17,5	20	14	13	9	9	6
3	≥ 24	36	25	23	16	16	12

^{a)} Si se emplean ladrillos de la clase de resistencia 150 kg/cm² (15 kN/m²) o mejores, los valores de esta fila pueden aumentarse en 1/3.

Aquí ϵ representa la relación entre los lados mayor y menor de la superficie de los entrepaños. Para unas relaciones $1,0 < \epsilon < 2,0$ los valores máximos correspondientes de la superficie de los entrepaños pueden interpolarse linealmente.

3.3.3. Unión de las paredes con los forjados de los pisos y la cubierta

3.3.3.1. Consideraciones generales

Las paredes de cerramiento deben quedar unidas a los forjados de los pisos, sea mediante anclajes o por rozamiento.

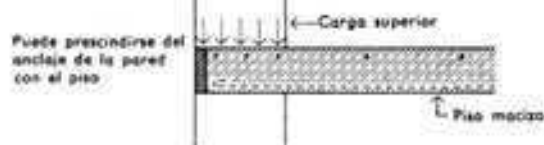
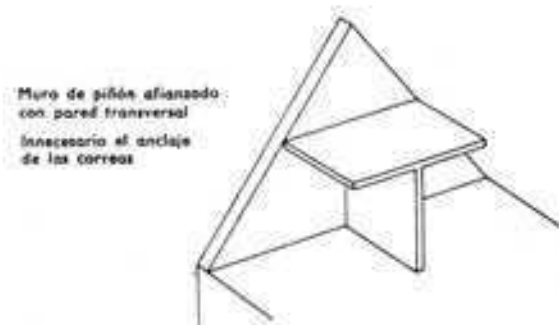
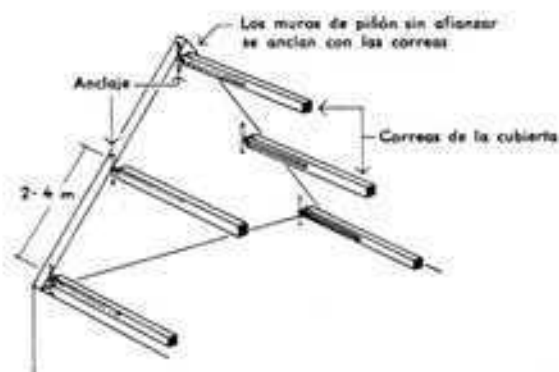
3.3.3.2. Unión mediante anclajes

Los anclajes (en los suelos con vigas de madera, anclajes con chavetas) se dispondrán en lienzos de pared sin huecos o debajo de los montantes de las ventanas. Su distancia no debe sobrepasar en general de 2 m, y, en casos excepcionales, de 4 m. En las paredes paralelas a la dirección del forjado las barras de los anclajes deben alcanzar una franja del forjado de por lo menos un metro de ancho y deben abarcar por lo menos dos nervios o dos vigas (en los pisos con vigas de madera, 3 vigas) o insertarse en un nervio transversal.

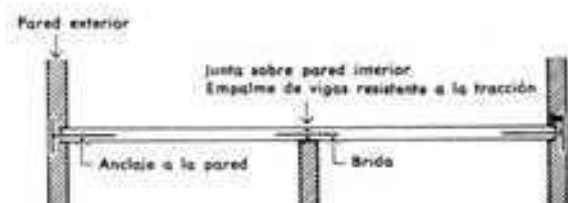
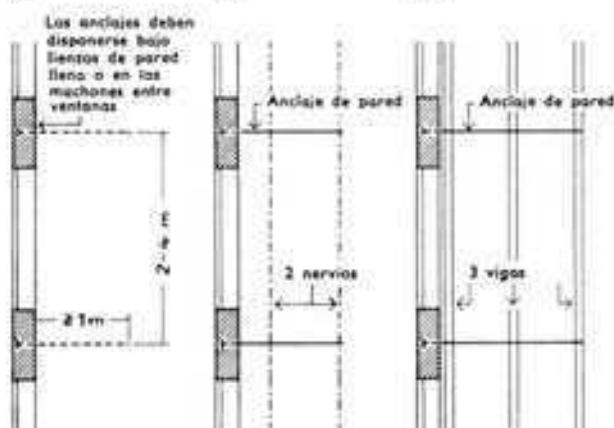
Cuando las vigas ancladas a una pared exterior tienen alguna junta o empalme sobre una pared interior, deben enlazarse o ligarse entre sí en dicho punto, de manera que puedan resistir esfuerzos de tracción. Los muros piñón, en los locales de desván o buhardillas, deben ligarse a prueba de tracción con las armaduras de la cubierta por medio de tirantes y llaves o garfios, caso de que no estén suficientemente afianzados o reforzados por medio de paredes transversales o pilares.

3.3.3.3. Unión mediante adherencia y rozamiento

En los forjados macizos armados no son necesarios anclajes siempre que las armaduras principales y transversales se prolonguen hacia el paramento exterior de las paredes de recinto hasta por lo menos la mitad de su grueso y que la carga de la obra de fábrica existente por encima se apoye directamente sobre dichos pisos macizos.



DISPOSICIÓN DE LOS ANCLAJES EN LAS PAREDES



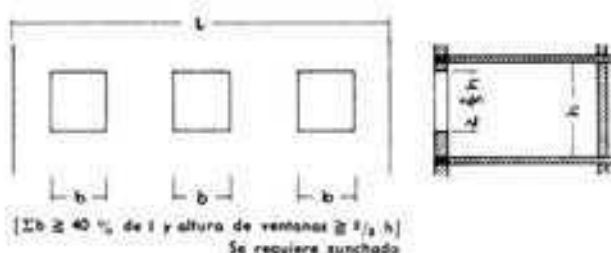
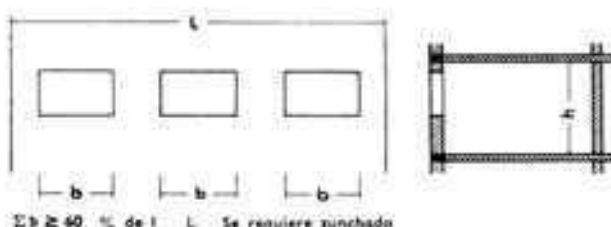
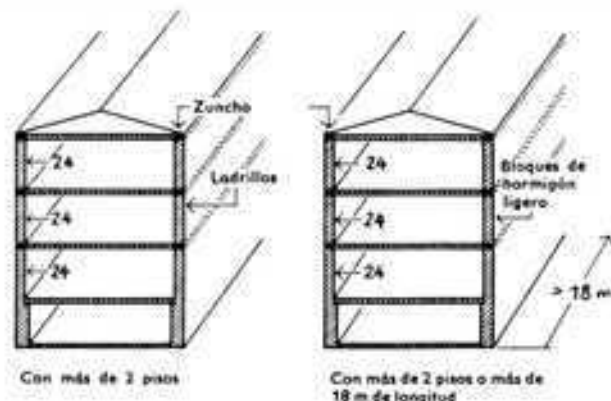
3.4. Zunchados

En todas las paredes exteriores y en las paredes transversales que a modo de losas verticales sirven para transmitir esfuerzos horizontales (por ejemplo, fuerzas del viento) hay que aplicar zunchados o tirantes perifericos continuos.

- En edificios con más de dos pisos completos o que tengan más de 18 m de longitud;
- En paredes que tengan aberturas numerosas o muy grandes, sobre todo cuando la suma de las anchuras de tales aberturas sobrepasa el 60 % de la longitud de la pared, o bien si, con alturas de ventanas que excedan de los 2/3 de la altura de techo, aquella suma sobrepasa el 40 % de la longitud de las paredes;
- Cuando lo exijan las condiciones del terreno de cimentación.

Los zunchos se han de colocar, en altura, al nivel de cada piso o inmediatamente debajo. Pueden combinarse con los forjados macizos o con los dinteles de ventana hechos de hormigón armado.

En los edificios en que los zunchos no pueden ser continuos hay que lograr el efecto que producen los zunchos por otros procedimientos. Los zunchos se armarán con dos barras continuas de acero que bajo las cargas de uso puedan absorber un esfuerzo de tracción de por lo menos 3 ton (30 kN), por ejemplo 2 barras de 12 mm de diámetro, de acero BSt (22/34) (II). Los empalmes de las barras se efectuarán de acuerdo con la DIN 1045, edición de enero de 1972, artículo 18.4.1., cuando se trata de zunchos de hormigón armado, y con el artículo 5.4.2. cuando los zunchos sean de fábrica de ladrillo armada. En todos los casos se procurará que los empalmes de las distintas barras queden desplazados unos res-



pecto de otros. En el cálculo de estos zunchos pueden incluirse con toda su sección las armaduras continuas paralelas a ellos cuando, en el forjado o en los cargaderos de las ventanas, se encuentran a menos de 50 cm de distancia del plano medio de la pared o del forjado, respectivamente.

3.5. Rozas, rebajos y encajes y huecos

3.5.1. Consideraciones generales

Las rozas, rebajos, encajes y huecos sólo son admisibles cuando con ellos no se perjudica la resistencia ni la estabilidad de la obra. Hay que tenerlos en cuenta al dimensionar las paredes siempre que en los artículos 3.5.2. y 3.5.3. no se diga algo distinto.

Cuando las rozas y encajes no se han previsto al aparejar las paredes, deben abrirse con la fresa; no es admisible abrirlas con el cincel.

No son admisibles las rozas y encajes en las paredes de chimeneas.

3.5.2. Rozas, rebajos y huecos verticales

Las rozas verticales pueden perjudicar esencialmente la rigidez de las paredes de carga. Por lo tanto al dimensionar las paredes hay que tener en cuenta los huecos y rozas verticales, o bien considerándolos como aberturas que atraviesan las paredes, o bien estableciendo los gruesos y distancias de las paredes de rigidización y de las paredes a rigidizar según el artículo 3.2.3, tabla 3, a base de los gruesos que quedan en las paredes una vez abiertas las rozas.

Para las rozas y encajes verticales que están de acuerdo con la tabla 5 no es necesaria la comprobación por el cálculo.

3.5.3. Rozas horizontales e inclinadas

En los pilares y en las paredes de carga y de arriostramiento sólo se permiten rozas horizontales o inclinadas cuando la esbeltez de dichos elementos es ≤ 24 cm, y si se ha comprobado por el cálculo que es admisible la disminución de la resistencia de la pared teniendo en cuenta la excentricidad con que entonces actúa la carga y el peligro de pandeo, o bien si se ha comprobado por otros procedimientos (por ejemplo considerando las rozas de longitud limitada como aberturas que atraviesan las paredes) la admisibilidad de tales rozas.

Los encajes y rozas en las paredes sólo son admisibles sin comprobación por el cálculo cuando se cumplen las siguientes condiciones:

- Grueso de pared ≥ 24 cm.
- Altura de la rozá ≤ 6 cm.
- Profundidad de la rozá ≤ 3 cm; con bloques huecos de dos cámaras, ≤ 1 cm.
- Rozas sólo en los tercios superior e inferior de la altura de la pared.
- 2 rozas como máximo en cada pared.
- Distancia entre rozas ≥ 50 cm.
- Las paredes no están hechas con bloques huecos de una cámara.
- Si están hechas con bloques huecos de varias cámaras en la zona de un tercio de la pared sólo se harán rozas en una de sus caras.

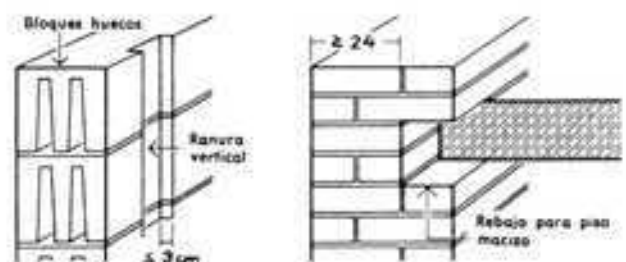


Tabla 5. ROZAS Y ENCAJES VERTICALES ADMISIBLES SIN COMPROBACIÓN POR EL CÁLCULO, EN PAREDES RIGIDIZADAS O RIGIDIZADORAS

	1	2	3	4	5	6	7	8
	Esesor de la pared	Rozas previstas al aparejar la pared		Rozas abiertas con fresa		Distancia mínima entre las rozas y encajes	Distancia mínima a las aberturas	Distancia a las uniones de las paredes según 3.3.2.
	cm	Ancho: cm	Grueso de pared que queda: cm	Ancho: cm	Profundidad: cm			
1	11,5	—	—	Grueso de la pared	≤ 2	199	$\geq 36,5$	≥ 24
2	17,5	≤ 51	$\geq 11,5$		≤ 3			
3	24	≤ 51	$\geq 11,5$		≤ 4			
4	30	$\leq 63,5$	$\geq 17,5$		≤ 5			
5	$\geq 36,5$	≤ 76	≥ 24		≤ 6			

7.4.1.2. Obra de fábrica en los apoyos bajo techos y vigas

En el cálculo de las tensiones que se presentan debajo de los apoyos de techos y vigas puede considerarse que las presiones se reparten uniformemente en la zona que colabora en el apoyo.

Debajo de los apoyos de las vigas perpendiculares a la pared las tensiones en la obra de fábrica pueden alcanzar un valor igual a una vez y media el valor de la tensión admisible en los otros puntos, siempre que el ancho de franja así cargada sea igual a lo más a la mitad del grueso de la pared.

En cuanto a la calidad de la obra de fábrica que va debajo de las vigas, puede exigirse una resistencia mayor que en el resto. Para determinar la altura de esta masa de obra de fábrica se aceptará que la carga se reparte bajo un ángulo de 60°.

Esto también vale cuando la carga sólo puede repartirse hacia uno de los lados, siempre que el empuje horizontal que allí se produce pueda ser absorbido.



7.4.2.4. Esbeltez

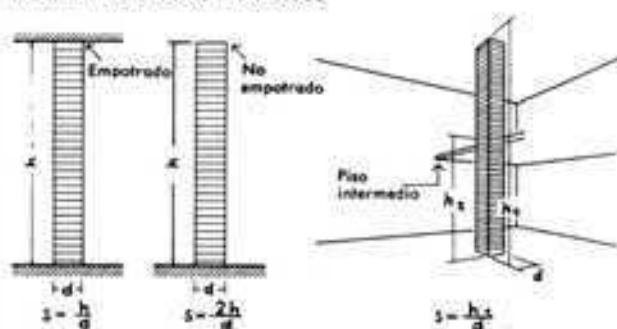
En los elementos de obra de fábrica de sección cuadrada o rectangular se llama esbeltez a la relación h/d .

En esta fórmula, h representa la distancia entre las sujeciones horizontales.

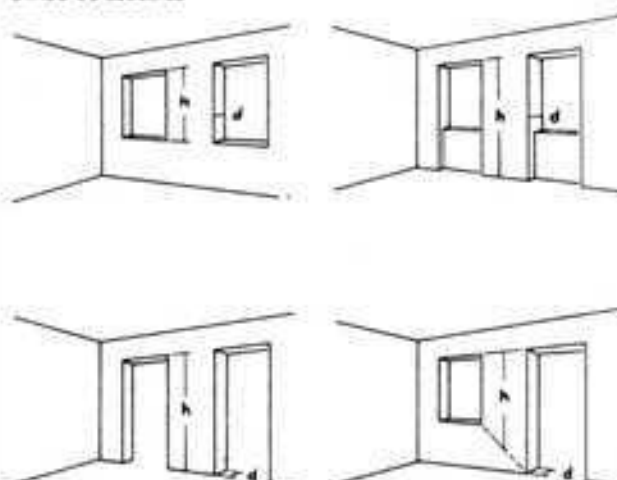
En los elementos cuyo extremo superior no queda sujeto en forma tal que pueda desplazarse lateralmente, h es el doble de su altura. En los machones entre puertas o ventanas, en los casos citados en el artículo 7.4.2.5, puede tomarse como valor de h la altura libre de la puerta o la ventana, siempre que el antepecho y el dintel tengan el espesor total de la pared.

El valor d es la dimensión mínima de la sección transversal del elemento de obra de fábrica que corresponde al valor h ; para las paredes de dos hojas, con cámara de aire o sin ella, véanse los artículos 5.2.1. a) y 5.2.2. a), pág. 182 (1 + 4).

PILARES Y PAREDES NO RIGIDIZADOS



GRADO DE ESBELTEZ



7.4.2.5. Esbeltez supuesta

Para los elementos de obra de fábrica que se describen a continuación no es preciso calcular la esbeltez según el artículo 7.4.2.4, siempre que se adopta para ellos las esbelteces supuestas:

- Para paredes de grueso ≥ 24 cm., rigidizadas según el artículo 3.3., cumpliendo lo indicado en la tabla 3.
- Para paredes interiores según el artículo 3.2.2.3, con gruesos de 17,5 y 11,5 cm., rigidizadas según el artículo 3.3., cumpliendo lo indicado en la tabla 3; para paredes de 17,5 cm. de grueso sin aberturas y con altura de techo de 2,75 cm.: esbeltez supuesta, 10; para las demás paredes: esbeltez supuesta, 12; para paredes de 17,5 cm. de grueso, sin aberturas y con alturas de techo entre 2,75 m. y 3,25 m., puede interpolarse linealmente entre 10 y 12.
- Para la hoja interior de las paredes exteriores de dos hojas según el artículo 5.2., con gruesos de 17,5 y 11,5 cm., rigidizadas según el artículo 3.3., cumpliendo lo indicado en la tabla 3, para hojas interiores de 17,5 cm. de grueso y altura de techo hasta 2,75 m.: esbeltez supuesta, 12; para todas las demás hojas interiores: esbeltez supuesta, 14; para hojas interiores de 17,5 cm. de grueso y con alturas de techo entre 2,75 m. y 3,25 m., puede interpolarse linealmente entre 12 y 14.
- Para paredes divisorias y tabiques de dos hojas según el artículo 5.3., esbeltez supuesta, 12.

Las esbelteces de los machones o entrepaños entre puertas y ventanas deben calcularse por separado. Sin embargo, para estos elementos se tomarán como mínimo las esbelteces supuestas que hemos indicado.

Juntas de separación

Para prevenir los efectos de los asientos de la obra y de la retracción de los materiales, en los edificios de gran longitud se disponen juntas de separación. Si se emplean bloques o ladrillos de hormigón ligero, la distancia entre esas juntas no debe rebasar los 35 m.

Otras condiciones a cumplir

Protección térmica

Para los requisitos exigidos por la protección térmica véase DIN 4108. Cuando se requieren mayores espesores de pared de los que exige el cálculo estático, son éstos los que hay que adoptar.

Protección contra la humedad

Para la protección de las partes de la obra contra la humedad siganse las reglas de la DIN 4117 (para detalles sobre este particular véase la página 27).



Paredes de sótanos

Para las paredes de recinto de la planta de sótanos o del zócalo del edificio hasta unos 50 cm. por encima del nivel del terreno exterior sólo deben emplearse ladrillos cuya resistencia a la compresión ≥ 50 kg/cm². (Véase también "Paredes de sótanos", página 190).

Protección acústica

Para lo referente a la necesaria amortiguación de los ruidos transmitidos por el aire que tienen que efectuar las paredes de separación de viviendas, véase DIN 4109. Véase también artículo en el capítulo Protección acústica.

Por regla general, las paredes que tienen un peso mínimo de 450 kg/m² suelen dar un aislamiento suficiente.

Las paredes de 24 cm. de espesor construidas con ladrillo macizo según DIN 105, a junta llena y enlucidas por sus dos caras, o también a base de ladrillos de cal y arena según DIN 106 o de ladrillos de escorias según DIN 398, satisfacen esas condiciones.

Tabla 10. VALORES BÁSICOS DE LAS TENSIONES A COMPRESIÓN ADMISIBLES EN LAS OBRAS DE FABRICA DE LADRILLO Y DE FABRICA DE BLOQUES. EN kg/cm^2 (MN/m²)

1	Clase de resistencia kg/cm^2 (MN/m ²)	Grupo del mortero			
		I	II	IIa	III
1	25 (2,5)	3 (0,3)	5 (0,5)	6 (0,6)	6 (0,6)
2	50 (5,0)	4 (0,4)	7 (0,7)	8 (0,8)	10 (1,0)
3	75 (7,5) + 100 (10)	6 (0,6)	9 (0,9)	10 (1,0)	12 (1,2)
4	150 (15)	8 (0,8)	12 (1,2)	14 (1,4)	16 (1,6)
5	250 (25)	10 (1,0)	16 (1,6)	19 (1,9)	22 (2,2)
6	350 (35)		22 (2,2)	25 (2,5)	30 (3,0)

Protección contra el fuego

Para la protección de las partes de la obra contra la acción del fuego se aplicará lo prescrito en la DIN 4102.

"Para detalles sobre este particular y especialmente sobre muros cortafuegos, consúltese el capítulo "Protección contra el fuego", página 121. La construcción y cálculo de dimensiones de las chimeneas están descritos con detalle en el capítulo "Chimeneas", página 307.

Paredes cortafuegos

Como materiales para la construcción de paredes cortafuegos hechas de albañilería, sirven todos los tipos de ladrillos que figuran en el artículo 1.31. El espesor y grueso de tales paredes tiene que ser ≥ 24 cm. Chimeneas, conductos de ventilación, rebajos y huecos, etc., sólo pueden penetrar en las paredes cortafuegos de manera que todavía queden por lo menos 24 cm. de espesor intactos. Las vigas y los pies derechos de hierro sólo pueden incluirse en las paredes cortafuegos en el caso en que se hallen revestidos de una protección resistente al fuego. Son inadmisibles las ranuras, rozas o encajes horizontales u oblicuos si no dejan subsistente e intacto un espesor de pared ≥ 24 cm. (véase el artículo 3.5.)

Chimeneas domésticas

Para la construcción en fábrica de ladrillo de chimeneas de uso doméstico es válida la norma DIN 18160.

Tabla 11. TENSIONES A COMPRESIÓN ADMISIBLES EN LAS OBRAS DE FABRICA DE LADRILLO Y DE FABRICA DE BLOQUES. EN kg/cm^2 (MN/m²)

1	Esbeltez o esbeltez supuesta	Valores básicos de las tensiones a compresión admisibles, en kg/cm^2 (MN/m ²)														
		3 (0,3)	4 (0,4)	5 (0,5)	6 (0,6)	7 (0,7)	8 (0,8)	9 (0,9)	10 (1,0)	12 (1,2)	14 (1,4)	16 (1,6)	19 (1,9)	22 (2,2)	25 (2,5)	30 (3,0)
1	10	3 (0,3)	4 (0,4)	5 (0,5)	6 (0,6)	7 (0,7)	8 (0,8)	9 (0,9)	10 (1,0)	12 (1,2)	14 (1,4)	16 (1,6)	19 (1,9)	22 (2,2)	25 (2,5)	30 (3,0)
2	12			3 (0,3)	4 (0,4)	5 (0,5)	6 (0,6)	6 (0,6)	7 (0,7)	8 (0,8)	10 (1,0)	11 (1,1)	13 (1,3)	15 (1,5)	17 (1,7)	20 (2,0)
3	14				3 (0,3)	3 (0,3)	4 (0,4)	4 (0,4)	5 (0,5)	6 (0,6)	7 (0,7)	8 (0,8)	9 (0,9)	10 (1,0)	11 (1,1)	14 (1,4)
4	16						3 (0,3)	3 (0,3)	3 (0,3)	4 (0,4)	5 (0,5)	6 (0,6)	6 (0,6)	7 (0,7)	8 (0,8)	10 (1,0)
5	18									3 (0,3)	3 (0,3)	4 (0,4)	4 (0,4)	5 (0,5)	5 (0,5)	7 (0,7)
6	20													3 (0,3)	3 (0,3)	5 (0,5)

Tabla 13. VALORES BÁSICOS DE LAS TENSIONES A COMPRESIÓN ADMISIBLES EN LAS OBRAS FABRICA DE PIEDRA NATURAL. EN kg/cm^2 (MN/m²)

1	Tipo de fábrica	Grupo del mortero	Grupo de la piedra según la tabla 12 ¹⁾				
			A	B	C	D	E
1	Mampostería ordinaria	I	2 (0,2)	2 (0,2)	3 (0,3)	4 (0,4)	6 (0,6)
2		II/II a	2 (0,2)	3 (0,3)	5 (0,5)	7 (0,7)	9 (0,9)
3		III	3 (0,3)	5 (0,5)	6 (0,6)	10 (1,0)	12 (1,2)
4	Mampostería careada por hiladas	I	3 (0,3)	4 (0,4)	6 (0,6)	8 (0,8)	10 (1,0)
5		II/II a	5 (0,5)	7 (0,7)	9 (0,9)	12 (1,2)	16 (1,6)
6		III	6 (0,6)	10 (1,0)	12 (1,2)	16 (1,6)	22 (2,2)
7	Mampostería por hiladas irregulares y regulares	I	4 (0,4)	6 (0,6)	8 (0,8)	10 (1,0)	16 (1,6)
8		II/II a	7 (0,7)	9 (0,9)	12 (1,2)	16 (1,6)	22 (2,2)
9		III	10 (1,0)	12 (1,2)	16 (1,6)	22 (2,2)	30 (3,0)
10	Sillería	I	8 (0,8)	10 (1,0)	16 (1,6)	22 (2,2)	30 (3,0)
11		II/II a	12 (1,2)	16 (1,6)	22 (2,2)	30 (3,0)	40 (4,0)
12		III	16 (1,6)	22 (2,2)	30 (3,0)	40 (4,0)	50 (5,0)

¹⁾ Tabla 12 de la 1053, pág. 731/2.

Tabla 14. TENSIONES A COMPRESIÓN ADMISIBLES EN LAS OBRAS DE FÁBRICA DE PIEDRA NATURAL EN kg/cm² (MN/m²)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Esbeltez o esbeltez supuesta	Valores básicos de las tensiones a compresión admisibles, en kg/cm ² (MN/m ²)							
		8 (0,8)	10 (1,0)	12 (1,2)	16 (1,6)	22 (2,2)	30 (3,0)	40 (4,0)	50 (5,0)
1	10	8 (0,8)	10 (1,0)	12 (1,2)	16 (1,6)	22 (2,2)	30 (3,0)	40 (4,0)	50 (5,0)
2	12	6 (0,6)	7 (0,7)	8 (0,8)	11 (1,1)	15 (1,5)	22 (2,2)	30 (3,0)	40 (4,0)
3	14	4 (0,4)	5 (0,5)	6 (0,6)	8 (0,8)	10 (1,0)	14 (1,4)	22 (2,2)	30 (3,0)
4	16	3 (0,3)	3 (0,3)	4 (0,4)	6 (0,6)	7 (0,7)	10 (1,0)	14 (1,4)	22 (2,2)
5	18			3 (0,3)	4 (0,4)	5 (0,5)	7 (0,7)	10 (1,0)	14 (1,4)
6	20					3 (0,3)	5 (0,5)	7 (0,7)	10 (1,0)

Bases de cálculo

Las bases de cálculo figuran en la 1053, hoja 1, pág. 14, capítulo 7. Comprenden los siguientes puntos:

- 7.1. Hipótesis de carga.
- 7.2. Influencia de la temperatura.
- 7.3. Magnitudes de deformación.
- 7.4. Tensiones admisibles en los elementos de piedra artificial y ladrillo.
- 7.5. Tensiones admisibles en los elementos de piedra natural.

Para el arquitecto son importantes, sobre todo, las tensiones a compresión admisibles. En las tablas 10 y 11 se dan en correspondencia a los siguientes factores:

- a) Clase de resistencia de los ladrillos y bloques.
- b) Grupo de mortero.
- c) Esbeltez o esbeltez supuesta.

En las tablas 13 y 14 figuran los valores de las tensiones a compresión admisibles, en función de los siguientes factores:

- a) Tipo de fábrica.
- b) Clase de piedra.
- c) Grupo del mortero.
- d) Esbeltez o esbeltez supuesta.

La DIN 1053 agota las actuales posibilidades estáticas y tecnológicas de la obra de fábrica. La disminución que permite en el volumen de las paredes y con ello en los pesos de las mismas lleva a las siguientes consecuencias en relación con la antigua construcción tradicional.

Ventajas:

1. Menor cantidad de material.
2. Menor volumen de mano de obra y ejecución más rápida.
3. Requerir menor cantidad de agua y con ello un secado más rápido.
4. Aumento de la superficie útil al ser más delgadas las paredes.

Inconvenientes:

1. Mayor sensibilidad de los edificios ligeros a las trepidaciones.
2. Menor inercia térmica.
3. Peor aislamiento acústico.

Obras de hormigón

En las construcciones elevadas importantes, especialmente en las destinadas a viviendas, se emplea cada vez más el hormigón como material constructivo, para paredes y techos. En esta clase de obras, la llamada construcción mixta ha superado a la construcción por montaje total.

Por construcción mixta se entiende la ejecución in situ de los elementos portantes, como paredes y techos. Después se completa la construcción mediante piezas prefabricadas, por ejemplo, escaleras, balcones, muros cortina, etc. El éxito de la construcción mixta es debido al desarrollo de las técnicas del encofrado, especialmente a los encofrados de grandes paneles y los encofrados especiales. La técnica del encofrado, que está en importante correlación con la estructura total, se explicará después con más detalle.

Para el cálculo de dimensiones y la construcción de elementos portantes y de rigidización de hormigón y de hormigón armado

se tendrá en cuenta en primer lugar la norma DIN 1045, y para los de hormigón ligero la norma DIN 4232.

Se expondrán a continuación las prescripciones de estas dos normas que tienen importancia para la estructura de las obras, y que no han sido incluidas en los capítulos que tratan de las paredes o los techos.

La exposición de las estructuras a base de paredes y de las construcciones de hormigón, se completará con el estudio de la construcción de edificios a base de paredes sustentantes por montaje de elementos prefabricados.

Paredes de hormigón y hormigón armado, hechas en la obra

Extracto de la DIN 1045, capítulo 25.5.

25.5.1. Reglas básicas

En este capítulo se definen como paredes unos elementos constructivos en forma de placa o losa vertical sometidos principalmente a compresión. Pueden ser:

- a) Paredes portantes, capaces de absorber cargas verticales como por ejemplo cargas de forjado; las losas verticales para absorber cargas horizontales (por ejemplo las paredes de arriostramiento) se considerarán también como paredes portantes.
- b) Las paredes que dan rigidez a las paredes portantes e impiden el pandeo de las mismas; sin embargo, también las paredes portantes pueden cumplir con esta función.
- c) Las paredes no portantes, en su mayoría, sólo están sometidas a su peso propio, pero deben tener la capacidad de transmitir las fuerzas del viento que actúan en su plano a elementos portantes, como placas de techo o paredes.

Las paredes prefabricadas se tratarán en el capítulo 19, especialmente en la sección 19.8.

25.5.2. Rigidización de paredes de carga

Según el número de bordes fijos, indesplazables perpendicularmente al plano de la pared, distinguiremos entre paredes sujetadas por dos, tres o cuatro lados. Como elementos de sujeción no desplazables consideramos las placas de techo, las paredes de arriostramiento y otros elementos que tengan suficiente rigidez. Las paredes y otros elementos de arriostramiento tienen que levantarse simultáneamente con las paredes de carga, o bien establecer un enlace con ellas capaz de transmitir fuerzas (véase artículo 19.8.3.). Las paredes de arriostramiento deben tener una longitud de al menos 1/5 de la altura del piso; a no ser que se efectúe la comprobación de pandeo para la sección del conjunto formado por la pared arriostrada y la de arriostramiento.

Si las paredes sujetadas por los cuatro lados tienen aberturas, cuyas alturas netas de luz son mayores que 1/3 de la altura del piso o cuyas superficies ocupan más de 1/10 de la pared, consideraremos el tramo de pared comprendido entre la abertura y la pared de arriostramiento como sujeta por tres lados; y el tramo comprendido entre las aberturas como pared sujeta por dos lados.

25.5.3. Espesor mínimo de las paredes

25.5.3.1. Condiciones generales

En tanto que la estabilidad, la protección térmica y acústica o al fuego no requieran espesores mayores, se aplica la norma 25.5.3.2. y, para paredes prefabricadas, la norma 19.8.2.

El espesor mínimo de las paredes con huecos se fija según los artículos 25.4. y 25.2.1., tabla 31.

25.5.3.2. Paredes de sección llena, rectangular

Para el espesor mínimo de paredes de carga se aplica la tabla 33. Los valores de las columnas 4 y 6 también tienen aplicación cuando los techos no son continuos, siempre que se compruebe que la excentricidad de las cargas verticales es menor que 1/6 del espesor de la pared. Las paredes de arriostramiento deben tener un espesor mínimo de 8 cm. Los espesores mínimos de la tabla 33 también son válidos para tramos de pared de $b < 5d$ situadas entre aberturas o al lado de éstas, o para paredes sometidas a cargas aisladas, aun cuando estén ejecutadas según § 25.2 con armadura con estribos, como "barras" a compresión. Para paredes secundarias como por ejemplo las de garajes individuales prefabricadas, de una sola planta, se permiten espesores menores siempre que se hayan tomado precauciones adecuadas, por ejemplo que las paredes hayan sido hormigonizadas en posición horizontal.

Tabla 33. ESPESORES MÍNIMOS DE LAS PAREDES DE CARGA.

1	2	3	4	5	6	
Clase de hormigón	Fabricación	Espesores mínimo para las paredes de:				
		hormigón sin armar		hormigón armado		
		Techos sobre paredes		Techos sobre paredes		
		no continuas cm	continuas cm	no continuas cm	continuas cm	
		cm	cm	cm	cm	
1	hasta Bn 100	Horm. in situ	20	14	—	—
2	desde Bn 150	Horm. in situ	14	12	12	10
3	Elem. prefabi.	Elem. prefabi.	12	10	10	8

25.5.4. Hipótesis para el cálculo de dimensiones y la comprobación de la seguridad al pandeo

25.5.4.1. Excentricidad del punto de aplicación de la carga

En el caso de paredes interiores que en ambos lados soportan techos, pero que no tienen enlace rígido con ellos, en general no se tiene en cuenta en el cálculo la excentricidad de las cargas.

En las paredes cargadas con techos en un solo lado, debe considerarse en el borde superior una distribución triangular de esfuerzos en la superficie de apoyo de techo, siempre que no puede garantizarse mediante medidas especiales una actuación centrada de la carga. En el borde de la base puede suponerse una articulación en el centro de la superficie de apoyo.

25.5.4.2. Longitud de pandeo

Según el tipo de rigidización de las paredes, se calcula la longitud de pandeo h_k en función de la altura del piso mediante la fórmula (47)

$$h_k = \beta \times h_p \quad (47)$$

en donde se aplica el siguiente coeficiente:

a) para paredes apoyadas por dos lados

$$\beta = 1,00 \quad (48)$$

b) para paredes sujetas por tres lados

$$\beta = \frac{1}{1 + \left(\frac{h_p}{3b}\right)^2} \geq 0,3 \quad (49)$$

c) para paredes sujetadas por cuatro lados

$$\text{con } h_p = b: \beta = \frac{1}{1 + \left(\frac{h_p}{b}\right)^2} \quad (50)$$

$$\text{con } h_p > b: \beta = \frac{b}{2h_p} \quad (51)$$

En donde:

b es la distancia entre el borde libre y el centro de la pared que arriostra, o bien la distancia entre los centros de las paredes que arriostran.

Para paredes sujetas por dos lados y unidas rigidamente con los techos en los bordes superior e inferior mediante armadura y hormigón in situ, de manera que los momentos en los bordes estén absorbidos por completo, se toma para $h_p \geq b$ sólo el 0,85 de la longitud de pandeo.

25.5.4.3. Comprobación al pandeo

La comprobación al pandeo de paredes con armadura o sin ella se realiza según los artículos 17.4. ó 17.9. Para otros procedimientos de aproximación, véase la norma DIN 4224. Para paredes con un espesor menor que 14 cm hay que reducir la capacidad de carga multiplicando su valor por $\frac{d + 10}{24}$ (d en cm).

25.5.5. Ejecución

25.5.5.1. Paredes sin armadura

Debe comprobarse la transmisión de las fuerzas horizontales en los apoyos de los techos sobre las paredes.

Para evitar las gruesas grietas de contracción, véase el artículo 14.4.1. Además, hay que colocar en las paredes exteriores, y en las de separación entre casas y viviendas, dos barras redondas continuas de un diámetro mínimo de 12 mm (zunchados), aproximadamente a la altura de cada techo. En los bloques de edificación comprendidos entre las juntas de movimiento que tiene el edificio no se debe interrumpir esta armadura; tampoco se interrumpirá por las ventanas y cajas de escalera. Las uniones de las barras deben construirse según el artículo 18.4.1. y estar alternadas unas respecto a las otras.

En el cálculo de estos zunchados se puede considerar incluida una armadura continua y paralela a ellos:

- con su sección completa, si la armadura está situada en los techos o en los dinteles de las ventanas, a una distancia de 50 cm máximo del plano medio de la pared o del techo, respectivamente;
- con la mitad de su sección, si está situada en paredes y la distancia entre ella y el plano medio del techo es más de 50 cm, pero no pasa de 1,0 m; como, por ejemplo, debajo de las ventanas.

En el dimensionado de las paredes hay que tener en cuenta las rozas, hendiduras, aberturas y huecos a excepción de las hendiduras verticales que se producen en los enlaces de las paredes y de las rozas y hendiduras que cumplen con las siguientes prescripciones sobre la apertura posterior de rozas y huecos con la maceba y el cinal. Abrir posteriormente rozas verticales de una profundidad de hasta 3 cm, sólo está permitido cuando su profundidad no pasa de 1/6 del espesor de la pared, su anchura es igual al espesor de la pared como máximo, la distancia entre ellas es como mínimo de 2 m y el espesor de la pared tiene un mínimo de 12 cm.

25.5.5.2. Paredes de hormigón armado

En cuanto a continuación no se dice lo contrario, se aplica para las paredes armadas el artículo 25.5.5.1., y para la armadura longitudinal el 25.2.2.1. Las paredes que llevan cargas y tienen una armadura menor que el 0,5% de la sección estáticamente necesaria, no se consideran como armadas. Por lo tanto se las dimensiona como las paredes sin armadura, según el artículo 17.9. No obstante, la armadura de estas paredes sirve para la absorción de los momentos flectores que actúan localmente; y en el caso de paredes prefabricadas, también para las sollicitaciones de cargas como las que se presentan en el transporte y montaje. Además compensan las sollicitaciones de coacción tales como las que resultan por ejemplo de un calentamiento irregular, de las dilataciones impedidas, de la retracción y fluencia, de la existencia de puntales y apeos.

En las paredes armadas las barras de la armadura principal deben tener un diámetro mínimo de 8 mm; las barras de las mallas soldadas para hormigón armado, de BSt 50/55 (IV), 5 mm. Se disponen estas barras con una distancia máxima de 20 cm. entre ellas.

Además hay que colocar una armadura transversal, cuya sección debe ser como mínimo igual a un 1/5 de la armadura principal. A cada lado de la pared se deben disponer, por cada metro de altura, por lo menos:

3 redondos de diámetro $d_s = 7$ mm si son de acero BSt 23/24 (II); 3 redondos de diámetro $d_s = 6$ mm con acero BSt 42/50 (III); y 4 redondos de diámetro $d_s = 4$ mm con acero BSt 150/54 (IV).

Las barras de las armaduras situadas en las caras opuestas de la pared deben unirse en por lo menos cuatro puntos alternados por cada metro de superficie de pared. Por ejemplo, mediante unos ganchos en S. En las paredes gruesas se efectúa un anclaje mediante unos estribos cuyos extremos libres deben tener la longitud de anclaje 0,5 a_c según el artículo 18.3.2. El recubrimiento de hormigón encima de los ganchos en S o los estribos, necesario según el artículo 13.2., puede reducirse en 0,5 cm, pero no quedarse debajo de 1,0 cm.

Si se emplean redondos de 14 mm como máximo y el recubrimiento de hormigón tiene un espesor igual al doble del diámetro de los redondos se puede prescindir de los ganchos en S. En este caso, y siempre en las mallas metálicas soldadas, las barras que actúan en la dirección de la compresión pueden estar situadas en el lado exterior. Una armadura a compresión, estáticamente necesaria, de más de 1% por cada lado de pared, como en los pilares según el artículo 25.2.2.2., debe llevar estribos. En los bordes libres hay que asegurar los redondos de los ángulos mediante estribos.

Paredes prefabricadas

Extracto de DIN 1045, capítulo 19.8.

19.8.1. Generalidades

Para las paredes formadas por elementos prefabricados se aplican las prescripciones sobre las paredes de hormigón in situ (véase artículo 25.5.), siempre que a continuación no se exponga otra cosa. Las paredes de carga y las de arriostramiento (véase artículo 25.5.) deben componerse sólo de elementos prefabricados que tengan como altura la del piso, excepto en las piezas de ajuste situadas en la zona de los descansillos de las escaleras. Si se supone que hay cooperación entre los diferentes elementos prefabricados para absorber las cargas verticales y horizontales, deben comprobarse los esfuerzos que actúan en las uniones (véase también el artículo 19.8.5.). Los elementos prefabricados, cuya anchura es menor que la altura del piso y menor que la distancia entre las paredes de arriostramiento, sólo pueden emplearse —excepto si se trata de piezas de ajuste— en edificios de más de 3 plantas, si se ha realizado una comprobación especial sobre los esfuerzos laterales que deben ser absorbidos por las paredes compuestas por estos elementos prefabricados.

En las paredes compuestas de dos o más piezas de tamaño menor que el de las habitaciones, se considera cada una de las piezas individuales como una pared, apoyada por 2 ó 3 lados, según el artículo 25.5.2.

19.8.2. Espesores mínimos

19.8.2.1. Paredes de elementos prefabricados de sección rectangular llena

Para el espesor mínimo de paredes prefabricadas sustentantes se aplica lo dicho en el artículo 25.5.3.2., tabla 33.

19.8.2.2. Paredes prefabricadas de sección no llena o con huecos

Las paredes prefabricadas de sección no llena (por ejemplo paredes con huecos verticales) deben tener por lo menos el mismo momento de inercia que las paredes de sección llena, y un espesor mínimo según la tabla 33.

El espesor mínimo de los elementos que componen tales secciones debe ser por lo menos de 1/10 de la luz entre los nervios o almas, pero con 5 cm. como mínimo.

19.8.3. Juntas verticales entre paredes de carga y de arriostramiento

Si en la comprobación al pandeo según el artículo 17.4 se considera la pared como apoyada por 3 ó 4 lados, deben establecerse uniones entre las paredes de carga y las de arriostramiento, por ejemplo mediante armaduras y relleno de juntas con hormigón. A ser posible esta armadura se colocará en los tercios de la altura de la pared, y tendrá capacidad para transmitir 1/100 de la carga vertical de la pared de carga a arriostrar. Pero por lo menos hay que disponer, en los tercios de la altura, unas bridas con redondos de 8 mm. de diámetro de acero BSt 22/34 (II), u otras uniones metálicas equivalentes. Las uniones que tienen repartida, a lo largo de la altura de pared, una sección de armadura igual, se consideran como equivalentes.

La armadura de las uniones hay que ejecutarla de tal manera que se puedan llenar de hormigón correctamente y se pueda conseguir una buena compactación.

Si las paredes de carga están estribadas por los dos lados mediante unas paredes situadas en una misma alineación o desplazadas la una respecto a la otra un máximo de seis veces el espesor de la pared de carga, se puede prescindir de la armadura de las juntas entre la pared de carga y las paredes de arriostramiento.

19.8.4. Juntas horizontales de tope

Cuando una pared está colocada encima de la junta entre dos losas de forjado, en el dimensionado, sin tener en cuenta el pandeo, sólo se puede considerar un 50% de la sección de la pared portante; a no estar comprobado mediante ensayos —teniendo en cuenta las condiciones de apoyo— que es admisible un mayor porcentaje.

19.8.5. Paredes que actúan como placas

Si en vista a la rigidez de la estructura varios paneles de pared se combinan para constituir una placa o elemento laminar, habrá que comprobar la correcta transmisión de los esfuerzos cortantes en las juntas verticales. Entonces la componente de tracción, que se obtiene al descomponer el esfuerzo cortante en una componente horizontal de tracción y una componente de compresión inclinada a 45° en relación con la línea de junta, tiene que absorberse mediante una armadura. Esta armadura puede agruparse a la altura del forjado cuando el ancho total de la placa es como mínimo igual a la altura del piso. Para tensiones cortantes mayores de 2 kg/cm² habrá que comprobar también la transmisión de la componente de compresión de un elemento de pared con otro. En las estructuras de entramado las paredes de arriostramiento pueden estar formadas por elementos de pared que no sean de carga o que no alcancen la altura del piso, siempre que los pies derechos del entramado actúen como vigas de borde de las losas que constituyen dichas paredes y se ejecuten como losas de forjado de techo según el artículo 19.7.4. Si las losas de pared son muy flexibles deberán tenerse en cuenta sus deformaciones para el cálculo de las secciones. Esta comprobación podrá omitirse cuando se cumple la condición (3) del artículo 15.8.1.

19.8.6. Atrache de los paneles de pared a las losas de techo

En edificios altos¹ todas las paredes exteriores de carga o de arriostramiento deben unirse, en sus bordes superiores e inferiores, a las losas de los techos, prefabricadas u hormigonadas in situ, mediante armaduras o mediante otra clase de piezas de acero. Cada una de estas uniones debe actuar como un anclaje dimensionado para un esfuerzo de tracción perpendicular a la pared de 700 kg/ml de pared, sin que se sobrepasen las tensiones admisibles. La separación horizontal entre los puntos de anclaje no debe ser mayor de 2 m; su distancia a los bordes verticales de los paneles de pared no debe ser mayor de 1 m.

Cuando los paneles de pared exterior no presentan ninguna junta en el tramo comprendido entre dos paredes de arriostramiento y la separación entre éstas es como máximo el doble de su altura, los anclajes del borde inferior pueden sustituirse por uniones de la misma resistencia total a la tracción, dispuestas en la mitad inferior de las juntas verticales entre la pared exterior y las paredes que la arriostran.

En el borde superior de los paneles de las paredes interiores de carga debe disponerse por lo menos una armadura de 0,7 cm²/m que penetre en el espacio de junta entre los elementos del techo. Esta armadura puede unirse en dos puntos; con paneles de pared con longitud inferior a 2,50 m bastará un solo punto de atrache situado aproximadamente en la mitad de la pared.

En todos los demás edificios, la unión entre los elementos de las paredes exteriores de carga y de arriostramiento y las losas del techo se requiere sólo en el borde superior. Se puede sustituir la armadura mediante otras medidas equivalentes.

19.8.7. Anclajes y uniones de acero en los paneles de paredes compuestas de varias capas

Para los elementos de anclaje y de unión de paneles de pared compuestos de varias capas debe emplearse un acero inoxidable que tenga suficiente resistencia a los álcalis y ácidos y sea suficientemente deformable en frío.

Las tensiones admisibles son de 1.100 kg/cm².

La necesaria soldabilidad de este acero habrá de ser garantizada por la casa productora. También deberá indicar los electrodos que deberán usarse en la soldadura. Para todo lo demás se aplicará en forma adecuada la DIN 4099.

Techos compuestos por elementos prefabricados

El capítulo 19.7. de la DIN 1045 está incluido en el capítulo "Techos", página 230.

Paredes de hormigón ligero

Extracto de la DIN 4232, capítulos 7/8

- 1) Esta norma se aplica a las paredes de carga construidas in situ, de hormigón ligero sin armadura de las calidades LBn 20 a LBn 80, de porosidad intersticial; las paredes prefabricadas se excluyen de esta norma.
- 2) Las paredes de hormigón ligero construidas según esta norma sólo deben emplearse cuando actúan principalmente cargas estáticas (véase DIN 1055, hoja 3, edición de junio de 1971, capítulo 1.4.), y sólo en elementos de construcción, que en estado húmedo no estén expuestos a heladas (véase también el capítulo 7.10.).
- 3) Las construcciones con más de 3 plantas requieren en cada caso la aprobación por las autoridades superiores competentes o por las autoridades que han sido delegadas por ellas, siempre cuando no existe una autorización general para el uso de estos materiales.

7. Ejecución constructiva

7.1. Consideraciones básicas

- 1) En edificios de varias plantas deben disponerse en cada piso unos zunchos (véase capítulo 7.8.); o bien los techos deben ser continuos de hormigón armado.

El terreno y el tipo correcto de fundación habrá que estudiarlos muy cuidadosamente en esta clase de construcciones, ya que las paredes de hormigón son mucho más sensibles a los asentamientos irregulares que se producen en la obra, que las paredes de piedra o ladrillo.

- 2) Las paredes de hormigón ligero con porosidad intersticial sólo deben construirse con sección llena; por lo tanto ni deben tener cámara de aire ni pueden llevar conductos incluidos en el interior de la pared.

¹ Extracto de la "Ordenanza de la Construcción" de los estados federales de Alemania: Edificios altos son edificios en los que el suelo de al menos una sala de estancia está situado a más de 22 m por encima de la rasante oficial del terreno.

7.2. Rigidez espacial

- La estabilidad de los edificios y de los elementos de construcción, particularmente de las paredes cargadas, debe quedar asegurada suficientemente mediante paredes transversales y techos de arriostramiento, o bien mediante otras medidas adecuadas, como por ejemplo el arriostramiento según el capítulo 7.5, de tal forma que las posibles fuerzas horizontales, como la del viento, pueden ser transmitidas con seguridad a los cimientos.
- Para conseguir la necesaria rigidez de los edificios debe colocarse un suficiente número de paredes continuas de arriostramiento que vayan desde una pared exterior a otra pared exterior o bien desde una pared exterior a una pared interior de carga, como por ejemplo un muro cortafuegos, una pared de caja de escalera o una pared de separación entre viviendas.
- Si se exige para los edificios con más de 3 plantas una comprobación mediante cálculo de la estabilidad según DIN 1045, capítulo 15.8., debe determinarse si el módulo de elasticidad del hormigón es del necesario mediante la prueba de aptitud según el artículo 5.1., hallando el valor medio de tres ensayos individuales.

7.3. Espesor mínimo de paredes y pilares

Tabla 4: ESPESORES MÍNIMOS EN CM

1	2
Tipos de pared y condiciones	d'
1 Paredes exteriores	25
2 Paredes interiores de carga	20
3 Paredes interiores de carga, de LbN 80, si existe suficiente arriostramiento transversal mediante tabiques de la misma o mayor resistencia, y la altura del piso no es mayor que 3,5 m (de plano superior a plano superior de los forjados).	
4 Paredes interiores de arriostramiento, no sustentantes	12

7.4. Ancho mínimo de entrepaños o machones de obra comprendidos entre puertas y ventanas

Tabla 5: ESPESORES MÍNIMOS EN CM

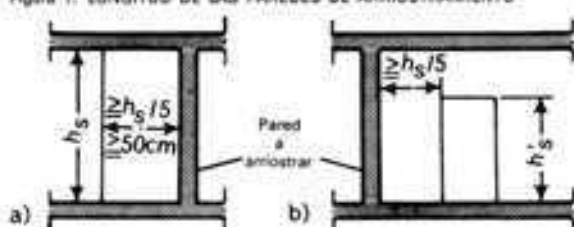
1	2	3
Espeor de la pared	Anchura de machones entre puertas y ventanas	Machones entre ventanas muy estrechas y bajas, o con arriostramiento según el capítulo 7.5
1 < 30	75	50
2 ≥ 30	60	40

7.5. Rigidización

- Según el número de bordes indesplazables perpendicularmente al plano de la pared (por ejemplo mediante losas de techo o de pared), se distingue entre paredes sujetadas por dos, tres o cuatro lados.
- En el caso de paredes sujetas por tres lados, la distancia comprendida entre el borde libre de una pared de carga y el centro de la pared de arriostramiento puede ser igual como máximo a la altura del piso h_s , pero no debe pasar de 4 m.
- En el caso de paredes sujetas por cuatro lados, la distancia comprendida entre los centros de las paredes transversales de arriostramiento puede ser igual como máximo al doble de la altura de piso h_s , pero no debe pasar de 8 m.
- Si las paredes sujetadas por cuatro lados tienen aberturas, cuyas alturas netas de luz son mayores que $1/3$ de la altura del piso o cuyas superficies ocupan más de $1/10$ de la pared, consideramos el tramo de pared comprendido entre la abertura y la pared de arriostramiento como sujeta por tres lados, y el tramo comprendido entre las aberturas como pared sujeta por dos lados.
- Consideramos los elementos de arriostramiento como suficientes, cuando están levantados simultáneamente con las paredes de carga y tienen con ellas unos enlaces capaces de transmitir los esfuerzos suficientes. Dichos elementos pueden colocarse a ambos lados de la pared arriostrada, en una misma alineación o bien desplazados uno respecto al otro en una magnitud hasta seis veces el espesor de la pared arriostrada.
- La longitud de las paredes de arriostramiento debe ser igual como mínimo a $1/5$ de la altura del piso h_s pero no menos de 0,50 m. En

paredes transversales de arriostramiento con aberturas la longitud del tramo entre la pared arriostrada y la abertura debe tener un mínimo de $1/5$ de la altura h_s (véase figura 1). Respecto a su espesor véase el artículo 7.3.

Figura 1. LONGITUD DE LAS PAREDES DE ARRIOSTRAMIENTO



7.6. Ranuras que debilitan la sección

- En las paredes de carga, al efectuar el dimensionado según el artículo 8.2, deben tenerse en cuenta las ranuras o rozas horizontales. Si la profundidad de las ranuras no está fijada en los documentos del proyecto, se añadirán 3 cm al espesor de pared necesario según el cálculo.
- Las ranuras deberían ejecutarse mediante la colocación de unos listones al efectuar el hormigonado.
- Abrirlas posteriormente sólo está permitido cuando se trata de ranuras verticales y su profundidad no pasa de $1/6$ del espesor de la pared, su anchura es igual como máximo al espesor de la pared, y la distancia entre ellas tiene por lo menos 2 m.
- En paredes de carga de 15 cm de espesor es inadmisible cualquier tipo de rozas y ranuras.

7.7. Dinteles de puertas y ventanas

- En edificios con cargas de techo menores de 275 kg/m^2 , incluidos los pasillos correspondientes, los dinteles de puertas y ventanas para cargas accidentales uniformemente repartidos pueden ser de hormigón ligero con estructura porosa siempre que los dinteles se hormigonan simultáneamente con las paredes, y que la altura de los dinteles sea como mínimo de 40 cm si están cargados y sostienen un techo y de 30 cm en los demás casos. Si la unión entre dintel y el forjado macizo es perfecta se mide la altura del dintel hasta el borde superior del forjado, y de no ser así se mide hasta el borde inferior del mismo.
- Los dinteles situados encima de ventanas y puertas cuyas luces máximas sean de 1,5 m, con la altura indicada en el primer párrafo, hay que armarlos con 2 barras de acero nervado de 14 mm de diámetro. Al acoplar la armadura hay que tener en cuenta lo dicho en el primer párrafo de este artículo y en el artículo 7.9., que trata del recubrimiento mínimo y del pintado de protección de la armadura.
- En las paredes que se tienen en cuenta en el cálculo para el arriostramiento contra la fuerza del viento y para la estabilidad de la construcción este tipo de dinteles sólo puede emplearse para absorber las cargas verticales del techo y además para transmitir las fuerzas horizontales de compresión.
- Si se enlaza la armadura de los zunchos perimetrales según el artículo 7.8., con los dinteles de las ventanas, se puede incluir la mitad de la sección de la armadura de los zunchos en el cálculo de las armaduras de los dinteles.
- El hormigón ligero con estructura porosa no es admisible para los dinteles situados sobre puertas y ventanas que tienen una luz mayor de 1,5 m, y tampoco para dinteles sometidos a cargas aisladas.

7.8. Medidas contra grietas de contracción y grietas debidas a asentamientos

- Para evitar la producción de grandes grietas de contracción hay que disponer a distancias de $a \leq 35 \text{ m}$ juntas de separación de una anchura de $a/1200$ que atraviesen todo el edificio. Además, en las paredes exteriores y en las de separación entre viviendas deben colocarse a la altura de cada techo dos redondos, incluso del techo de los sótanos dos redondos (zunchos) que rodeen cada una de las partes en que se ha dividido el edificio. Su diámetro se determinará según la tabla 6.

Tabla 6. DIÁMETRO DE LOS ZUNCHOS

1	2
Longitud del edificio o distancia entre las juntas de separación m (máx.)	Diámetro de los zunchos mm
1 10	12
2 18	14
3 35	16

- 2) Si no se puede evitar una interrupción de los zunchos en la zona de las cajas de escaleras, deben adoptarse otras medidas constructivas.
- 3) Las uniones de las barras de los zunchos estarán alternadas y en ellas las barras de acero se solaparán por lo menos 1,00 m. La armadura de los zunchos puede combinarse con la de los techos macizos o la de los dinteles de hormigón armado de las ventanas. En las paredes que tengan la misma dirección que la armadura principal de los techos macizos, se puede prescindir de los zunchos siempre que estos techos y su armadura atraviesen sin interrupción todo el edificio o las partes del mismo entre dos juntas de separación y que además lleguen casi hasta el borde exterior de las paredes.
- Los techos de piezas cerámicas armadas y las piezas huecas de otros tipos de techo deben sustituirse en la parte correspondiente a las paredes por franjas macizas de hormigón.
- 4) Además es conveniente colocar por debajo de las repisas de las ventanas dos varillas de acero nervado de 10 mm de diámetro, que por ambos lados de la abertura se prolonguen, una barra 0,5 m y la otra 1,0 m. Si esta armadura atraviesa sin interrupción toda la parte del edificio comprendida entre cada dos juntas de separación, puede ser incluida en el cálculo de la armadura del zunchado. En tal caso, a la altura de los techos hay que dejar, por lo menos, la mitad de la armadura que se necesita según el primer párrafo de este artículo. Estas medidas suelen reducir los daños causados por la desigualdad de asentamientos de la obra.

7.9. Protección anticorrosiva de la armadura

En estructuras de hormigón ligero con porosidad intersticial deben protegerse las barras de la armadura, antes de hormigonar, mediante una espesa lechada de cemento. En las fachadas o en los locales con instalaciones de agua (cocinas, baños) deben llevar un recubrimiento de un mínimo de 5 cm.

7.10. Revoque

En las fachadas se aplica un revoque según DIN 18 550, tabla 2, líneas 1 y 2, u otro tipo de protección contra la humedad.

8. Dimensionamiento

8.1. Solicitaciones de las paredes

- Las paredes de carga actúan principalmente como transmisoras de cargas situadas en un plano. A las paredes que absorben las cargas del viento o las que aseguran la estabilidad de la obra, las consideramos como paredes de carga.
- Las paredes de arriostramiento actúan para afianzar las paredes de carga contra el pandeo. Las paredes de carga también pueden tener este objeto.
- Las paredes no portantes están sometidas principalmente a su peso propio, pero también tienen la misión de transmitir las cargas del viento, que actúan en su plano, a las losas de pared o de techo.

8.2. Fundamentos del cálculo para comprobar la seguridad al pandeo

8.2.1. Excentricidad del punto de aplicación de la carga

- En el caso de paredes interiores que soportan techos en ambos lados no se considera generalmente la excentricidad de las cargas. En las paredes cargadas con techos por un solo lado, en el borde superior debe considerarse una distribución triangular de cargas en la superficie de apoyo del techo. En el borde de la base de la pared se puede suponer para el cálculo que existe una articulación. Esta articulación se considera situada en el centro de la superficie de apoyo de pared.
- Hay que comprobar la transmisión de las fuerzas horizontales que se producen en los apoyos de las losas de los techos.

8.2.2. Longitud de pandeo

- Se distingue entre las paredes arriostradas y las paredes no arriostradas o pilares.

La esbeltez de las paredes no arriostradas o pilares no debe pasar de

$$\frac{h_x}{d} = 12 \quad (d = \text{espesor de pared});$$

la de paredes arriostradas no debe exceder de $\frac{h_x}{d} = 20$.

- Para las paredes de carga arriostradas según el artículo 7.5, se supone una longitud de pandeo de $h_x = 0,9 h_p$ cuando están sujetas por tres lados; y de $h_x = 0,8 h_p$ cuando estén sujetas por los cuatro

Tabla 7. COEFICIENTE r

	1	2
	Espesor de pared cm	Coefficiente r
1	15 bis < 20	1,0
2	20 bis < 25	0,8
3	≥ 25	0,6

- lados. Tanto para las paredes sin arriostramiento como para machones entre puertas y ventanas, que no están unidos mediante dinteles o antepechos, se toma $h_x = h_p$.
- Cuando en paredes sujetadas por los cuatro lados, los antepechos y dinteles de ventanas, o los dinteles de puertas abarcan todo el espesor de pared, se toma para los correspondientes pilares de puertas y ventanas una longitud de pandeo, $h_x = h_p + r(h_p - h_p^*) = 0,8 h_p$ en donde h_p es la altura del piso, h_p^* la luz de altura, luz de la ventana o de la puerta y r es un coeficiente que viene en función del espesor de la pared. Por valores intermedios se interpole linealmente.
 - Cuando a ambos lados de un pilar están situadas aberturas que tienen distinta luz en altura, h_p^* hay que aplicar en el cálculo el mayor de los dos valores de h_p^* .

8.2.3. Tensiones de compresión admisibles

- Las tensiones admisibles (presión en los bordes) indicados en la tabla 8, que vienen en función de h_p/d , no deben sobrepasarse ni en las zonas en las que se reducen las secciones por la existencia de rozas.
- Para calcular las tensiones hay que partir de una distribución lineal de tensiones. El trabajo del hormigón referente a la tracción no se debe tener en cuenta.
- En estas condiciones una junta bajo la sollicitación de las cargas de uso sólo podrá abrirse hasta el centro de gravedad de la sección total, como máximo.

Tabla 8. TENSIONES DE COMPRESION ADMISIBLES

1	2	3	4	5	6
Clase del hormigón ligero	Tensiones de compresión admisibles en kg/cm ² en paredes y pilares con esbelteces h_p/d de				
	≤ 6	10	15	20	debajo de apoyos de vigas
1 LBn 20	4,0	3,0	2,0	1,0	5
2 LBn 50	10,0	7,0	4,0	3,0	12
3 LBn 80	16,0	11,0	7,0	5,0	19

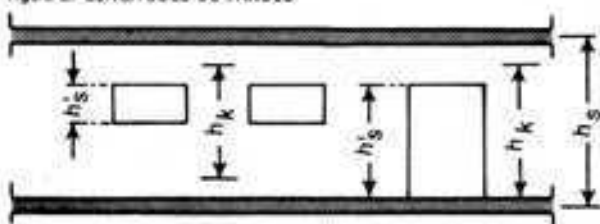
Sistemas de encofrado

La difusión de las construcciones de hormigón corre paralela con el desarrollo de las técnicas de encofrado.

Como masa plástica, el hormigón puede adaptarse a cualquier molde. Los encofrados en sí deben ser estables y resistentes tanto a las sollicitaciones dinámicas que reciben en la obra como a las que se producen durante el proceso del hormigonado. Han de garantizar la estabilidad de los elementos de construcción hasta que el hormigón tenga suficiente resistencia. Al principio se disponía para eso de maderas de distintas formas. Como operarios se utilizaron inicialmente los carpinteros, cuya profesión tomó así nuevo impulso.

Este método tradicional de encofrado tiene dos inconvenientes importantes para las exigencias actuales: las grandes pérdidas de material y los altos costes de mano de obra. Para el progreso de la construcción en hormigón había que vencer dichos inconvenientes, es decir, tenía que conseguirse una disminución de gastos y un aumento de rendimiento. Cada vez más se sustituyó el encofrado hecho a mano en obra por encofrados prefabricados, o bien se tendió a dejar los encofrados en la obra como elementos de construcción; con otras funciones, es decir, como encofrado "perdido", sin reutilización. Los largos tiempos de construcción y elevados costes salariales fueron sustituidos por una mayor inversión de capital.

Figura 2. LONGITUDES DE PANDEO



Gastos de trabajo y material

De los gastos salariales de una obra de hormigón armado hecha a base de encofrados hechos a mano, corresponden 2/3 a la preparación de los encofrados, su montaje y desmontaje, y 1/3 a los trabajos que requieren el armado y el hormigonado.

Se calcula por m² de superficie de encofrado ~ 1,25 horas de trabajo. Las pérdidas de material serán:

tablas para encofrar	aprox. 25 %
maderas escuadradas	aprox. 15 %
puntales y sujeciones	aprox. 10 %
clavos	aprox. 0,2 kg/m ²

En cambio, trabajando con los encofrados modernos de grandes tamaños y con los espaciales, apenas se necesitan 0,25 horas de trabajo por cada m². Los encofrados de grandes paneles de madera con chapeados especiales permiten hasta 100 empleos; los encofrados metálicos más de 400. Dividiendo los costes de inversión por el número de las posibles veces que se emplea un encofrado se obtiene la pérdida de material por cada vez que se usa, que el uso que se debe amortizar.

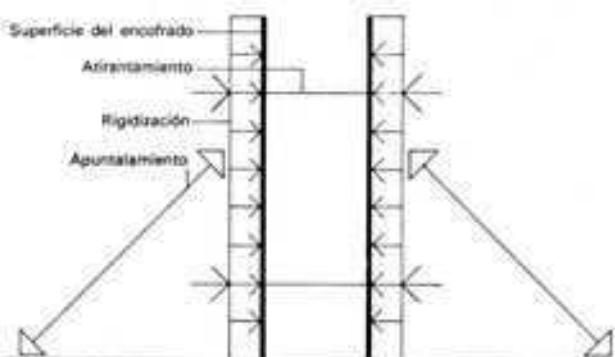
Los esfuerzos por reducir los gastos por mano de obra y la pérdida del material, dieron por resultado nuevos métodos de encofrados, los cuales han tenido esencial influencia en la construcción, la estructuración y la ejecución de las obras.

Encofrado de paredes

El encofrado y sus elementos de apoyo y arriostramiento deben dimensionarse de tal forma que puedan absorber perfectamente todas las fuerzas horizontales y verticales que sobre ellos actúan. En el dimensionado influye también considerablemente la velocidad del vertido y procedimiento de compactación del hormigón. Para las paredes y los pilares que tienen una altura mayor de 3 m, hay que tomar medidas especiales respecto a la determinación de la velocidad del vertido y a la capacidad de carga de los elementos del encofrado, considerando las flechas admisibles. Tanto los encofrados de madera hechos a mano como los nuevos encofrados metálicos constan de los mismo elementos:

- Superficie del encofrado
- Rigidización
- Apoyo
- Atirantamiento

ELEMENTOS DE UN ENCOFRADO DE PARED



La superficie del encofrado

Con objeto de ahorrar salarios y desperdicios de material, antiguamente ya se usaron elementos prefabricados de encofrado, hechos con tablas de madera con estribos de madera o metálicos. Los había de distintas longitudes, manteniendo una anchura de 50 cm.

La calidad de las superficies encofradas de este modo, sólo es aceptable para plantas de sótanos. Para ahorrar el revoque necesario en otros casos, se requerían superficies lisas, continuas y con el mínimo número de juntas posibles. Primeramente se revistió el encofrado a base de tablas con una delgada capa de madera contrachapeada, que cumplía la función como superficie de encofrado, pero que no tenía la misma duración que el resto del encofrado. Hoy día se emplean tableros con encofrado resistente a la temperatura y a la humedad con una capa de plástico según DIN 68 705, que pueden tener las dimensiones de todo un local, con espesores de 20 mm o mayores. Este tipo de encofrado permite ser usado de cincuenta a cien veces. La fijación de su superficie sobre el armazón de base puede hacerse mediante tacos de expansión, con lo cual esta superficie no presente perforaciones. Las perforaciones existentes así como los deterioros deben ser tapados cuidadosamente con pasta aplicada con la espátula antes de cada nuevo uso. En resumen, encofrados a base de tableros de madera se distinguen por su fácil trabajabilidad y su capacidad de adaptación.

En los encofrados de superficie metálica, ésta es más resistente, pero también más cara y más difícil de trabajar. La superficie de encofrado, de chapa de unos milímetros de espesor, está soldada sobre un enrejado de perfiles. Como con este procedimiento resultan pesos muy altos, se trabaja en obra sólo con elementos de dimensiones reducidas. Sus juntas a tope deben ajustar tan exactamente que no se produzcan rebabas, que requerirían trabajos suplementarios. Estos elementos pueden ser usados por término medio cuatrocientas veces, y más todavía cuando se emplean en talleres de prefabricados en forma de grandes mesas de encofrado para piezas del tamaño de una habitación.

Rigidización de la superficie del encofrado

El tipo y las características de la superficie del encofrado determinarán el tipo de rigidización. Con ella se debe impedir cualquier abolladura de la superficie y debe tener la capacidad necesaria para absorber todas las cargas debidas al hormigonado y transmitir a los elementos de atirantamiento y a los apoyos. En el caso de encofrados a base de tablas de madera o pequeños tableros revestidos basta la disposición de unos estribos a distancias de aproximadamente 50 cm entre sí. Para grandes superficies de encofrado sólo se pueden emplear unos armazones espaciales de madera de suficiente rigidez o bien un enrejado de perfiles metálicos. La superficie del encofrado constituida por chapas finas con poca rigidez propia, requiere un armazón con elementos menos distanciados. La rigidización de elementos del encofrado, de un ancho de 1,00 m, se realiza en este caso mediante la colocación de enrejados con perfiles a cada de 25 a 33 cm. Los elementos de una rigidización se dimensionan en general según el estado de cargas en el momento de hormigonar, y la distancia entre ellos depende de la rigidez que tenga la superficie del encofrado.

Atirantamiento entre las dos superficies del encofrado

Para absorber las compresiones que actúan durante el hormigonado sobre el encofrado se atan las dos superficies de encofrado opuestas mediante tirantes de alambres. La distancia admisible entre los tirantes está en función de la capacidad de carga de los elementos de rigidización. Para encofrados a base de tablas y especialmente para los de paredes altas se usan generalmente redondos de acero de 8 mm provistos de tensores. Las distancias en sentido vertical y horizontal dependen de los marcos de rigidización y son por término medio de unos 50 cm. En el caso de encofrados a base de grandes paneles, por ejemplo, en la construcción de viviendas, se disponen sólo dos tirantes, a la altura de la pared o del piso, uno en la zona inferior donde se colocará luego el listón de zócalo, y otro en la zona superior encima de la pared hormigonada. La distancia horizontal entre los tensores normalmente es de 1,5 m. De este modo, habrá que cerrar sólo unos pocos agujeros debidos a los tirantes y situados en partes no visibles.

Apoyos y diagonales de apuntalamiento

Los apoyos y puntales aseguran la estabilidad del encofrado y transmiten las cargas que se producen a elementos de construcción ya existentes o bien al subsuelo. Se utilizan barras inclina-

das de acero, que se disponen entre el encofrado y el suelo; cartelas de acero con husillos, vigas de celosía y entramados espaciales con barras telescópicas para encofrados de grandes paneles y encofrados espaciales en los que se debe exigir mayor rigidez a la torsión.

Andamios de trabajo

En los encofrados hechos a mano no estaba permitido establecer una unión directa entre los andamios de trabajo y de hormigonado y los elementos de rigidización. Los elementos metálicos de rigidización y los apoyos de celosía hoy día en uso pueden aprovecharse para disponer en ellos los andamios de trabajo y de desplazamiento, lo que significa una importante simplificación en el proceso de trabajo.

Encofrado trepador

El encofrado trepador se desarrolló a partir de la idea del andamio del mismo nombre. Es un encofrado de pared que se monta y desmonta en correspondencia con el avance en altura de la construcción y que sirve para hormigonar paredes altas interrumpidas tales como las paredes de hastiales o de núcleos de rigidez. La altura de los elementos de encofrado se corresponde con la de los tramos o fases de hormigonado, o sea el "avance en altura" de cada operación. El encofrado trepador se traslada con ayuda de aparatos de elevación. Sobre una cartela anclada en un tramo inferior ya hormigonado se apoya, y en algunos casos se apuntala, el armazón del encofrado. También el andamiaje de protección, con eventuales nuevas plataformas colgadas (para la realización de otros trabajos posteriores en los tramos ya hormigonados) se fija a la cartela de apoyo y toma parte del dispositivo trepador.

Encofrado deslizante

Los encofrados deslizantes permiten un hormigonado sin interrupciones. La condición para su empleo es que las paredes sean del mismo espesor, continuas de arriba abajo y sin interrupciones horizontales, como por ejemplo las de los forjados de los pisos. Para unión con los forjados de piso se dejan los huecos correspondientes para los apoyos de las vigas. Así pues, los encofrados deslizantes son muy apropiados para la construcción de paredes altas y sin juntas, como las de silos, chimeneas, cajas de ascensores, y para la previa construcción de núcleos de rigidez de gran altura.

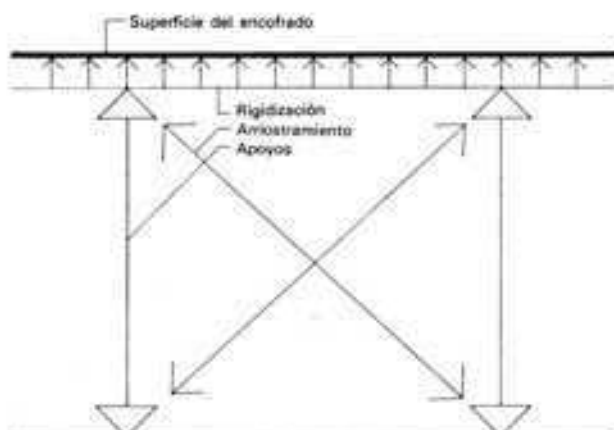
Una corona de encofrado de 1,20 m de altura, que incluye el andamio de trabajo y el armazón colgante envuelve todo el tramo a hormigonar. Mediante una máquina hidráulica elevadora, este encofrado sube paulatina pero continuamente a lo largo de unas barras de guía. En función de la técnica de hormigonado y del estado del tiempo se pueden conseguir velocidades de elevación de hasta 30 cm/h; por término medio ~ 5 m/día. Una condición para tener estos resultados es la aceleración del proceso de fraguado mediante el uso de un cemento de fraguado rápido y, dado el caso, mediante el calentamiento del encofrado. El espesor mínimo de pared debe ser > 15 cm, de modo que el peso de la masa de hormigón sea suficiente para contrarrestar el rozamiento que se produce entre el hormigón y el encofrado al elevar éste. En la mayor parte de los casos el hormigonado mediante el procedimiento del encofrado deslizante se proyecta y realiza por empresas especializadas.

Encofrados de techos

El encofrado de techos está sometido a flexión, como luego lo estará el techo acabado. Tiene que absorber el peso del hormigón vertido y las cargas que se producen durante el desarrollo del trabajo. Desde un principio ya existía la intención de simplificar, en la construcción de techos, el encofrado hecho a base de tableros, que resultaba muy caro en materiales y mano de obra. En el mercado existen varios sistemas de construcción de techos. Actualmente, después de haberse impuesto generalmente la construcción con hormigón, se emplean elementos de encofrado de grandes tamaños tanto para los encofrados de techos como para los de paredes.

Para los techos de losas nervadas y los de vigas con nervios se

ELEMENTOS DE LOS ENCOFRADOS DE TECHOS



han usado como encofrados piezas huecas que presentan al mismo tiempo una superficie inferior plana, o bien se han empleado piezas de encofrados que se tienden entre los nervios de las vigas, así no es necesaria una superficie cerrada de encofrado y sólo hay que apuntalar los nervios mediante unos pilares auxiliares.

Otra posibilidad de simplificar notablemente el encofrado de techos era la de transmitir las cargas del encofrado y del hormigón a vigas de acero o de hormigón armado, apoyadas sobre las paredes de carga.

Superficie inferior del techo

Todos estos tipos de encofrado producen una superficie inferior del techo más o menos rugosa, que requiere en habitaciones de viviendas, salas de oficinas, etc., un enlucido de techo o un cielo raso, lo que de todos modos se necesita muchas veces para la colocación de las tuberías de las instalaciones y como aislamiento acústico. En los casos en que los techos rasos no son necesarios, se encofran las superficies inferiores de los techos —excepto los de locales secundarios— y también las superficies de las jácenas y pilares de un modo que resultan tan lisas, que luego sólo hará falta un ligero emplastecimiento o bien una capa de pintura.

Respecto a las superficies inferiores de techos, debe tenerse en cuenta que están expuestos a la luz rasante que entra por la ventana y que pone en relieve hasta las más pequeñas desigualdades y las juntas del encofrado, de forma molesta. El desarrollo más reciente lleva por este motivo al empleo de encofrados que cubren toda la superficie de los techos, las llamadas "mesas de encofrado".

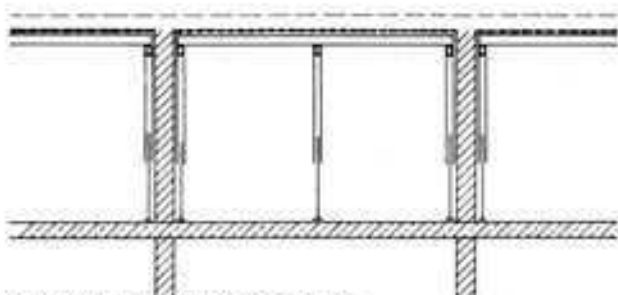
Mesas de encofrado para techos

Consisten, igual que los encofrados de grandes dimensiones para las paredes, en un enrejado metálico o de madera que soporta y da rigidez a la superficie de encofrado. Al mismo tiempo se tiene de este modo un andamio de trabajo. La superficie de encofrado, sin juntas, que tiene las dimensiones del techo o la profundidad de la obra, se apoya sobre un armazón de soporte, a prueba de torsión, abatible o desplazable, o bien sobre cartelas fijadas a las paredes. Al desencofrar se baja primero la superficie de encofrado, para sacarla luego sobre rodillos como una mesa o como un cajón.

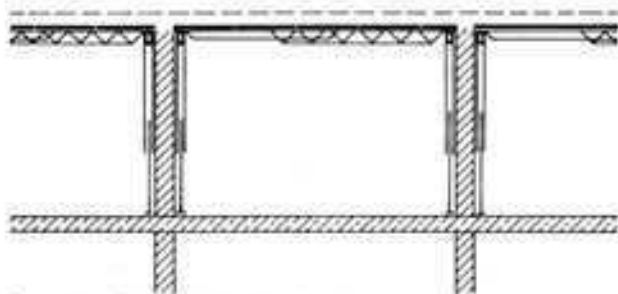
Como esta operación sólo puede realizarse a través de ventanas cuya anchura alcance toda una pared, solamente en las estructuras con paredes de carga transversales es posible el empleo de mesas de encofrado. En el caso de que los antepechos sean macizos, sólo se pueden utilizar las mesas de encofrado que tengan apoyos abatibles o que se apoyen en cartelas de pared, a no ser que se ejecuten los antepechos posteriormente.

Encofrados espaciales

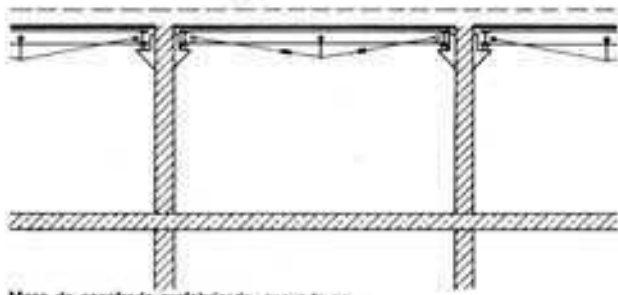
Ya el encofrado y el hormigonado por separado de paredes y techos mediante encofrados con elementos de gran tamaño sig-



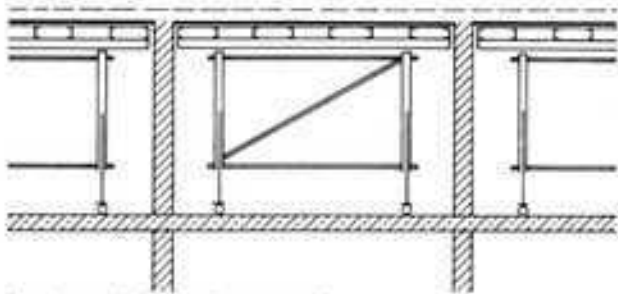
Encofrado a base de tablas sobre bastidores de madera, hecho en obra. Apoyos graduables de tubos de acero



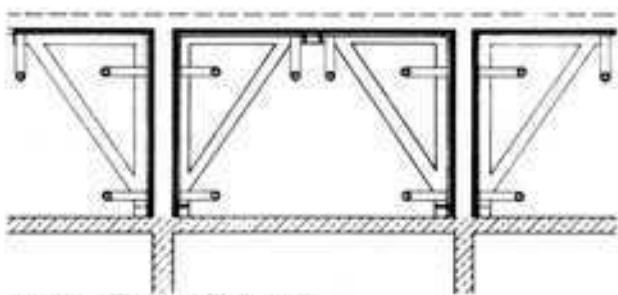
Placas de encofrado, colocadas sobre vigas de celosía



Mesa de encofrado prefabricada, apoyada sobre cantiles. Posibilita encofrados de madera y de metal



Mesa de encofrado para techos transportables, con encofrados de madera o metálicos



Encofrado túnel prefabricado y desplazable, hormigonado simultáneo de pared y techo

nifica, en comparación con los métodos tradicionales, un importante ahorro de tiempo en la ejecución, reduciendo al mismo tiempo los costes de mano de obra. Como se necesita para los techos más tiempo de encofrado que para las paredes —las cuales, además, deben ser desencofradas antes de poder introducir la mesa de encofrado— con sólo la mayoración del tamaño de los elementos de encofrado aún no se consigue la máxima rapidez posible en la ejecución de la obra.

Según la DIN 1045 para el desencofrado se requiere un tiempo que varía, al aumentar la calidad del cemento, desde 4 a 1 día para las paredes, pero que es 10 a 3 días para los techos. Como ya se ha explicado al hablar de los encofrados deslizantes, los tiempos de desencofrado pueden reducirse empleando cementos de calidades adecuadas o bien mediante calentamiento del encofrado. Evidentemente, los techos desencofrados necesitarán unos apoyos auxiliares.

El desarrollo del encofrado a base de grandes paneles ha conducido así a los encofrados espaciales, que se llaman también encofrados túnel por su analogía con los encofrados desplazables empleados en la construcción de túneles.

En este sistema el encofrado del techo y la mitad de los encofrados de las dos paredes correspondientes están unidos y arriostrados mediante un armazón común de soporte. Ya se han realizado por este procedimiento superficies totales de encofrado de más de 100 m². En este caso se requieren unas máquinas elevadoras de mayor peso y sólo suelen ser rentables en grandes obras con un gran número de elementos espaciales iguales.

La forma del encofrado de las paredes resulta de la disposición lineal de los elementos espaciales y del arriostramiento mutuo de las superficies vecinas. Después de haber colocado y ajustado el encofrado se hormigonan las paredes y techos en un día, y durante la noche siguiente se las mantiene a una temperatura constante de 50 °C mediante un sistema de resistencias eléctricas. Al comenzar el trabajo la mañana siguiente, el hormigón alcanza una resistencia de 200-220 kg/cm². De este modo ya puede desencofrarse al día siguiente. Mediante unos husillos telescópicos colocados alrededor se hacen separar las superficies del encofrado y del hormigón, y luego se quita el elemento del encofrado espacial. Después de revisarlos, arreglar posibles deterioros y limpiarlos, ya pueden ser trasladados estos encofrados el mismo día en la siguiente planta. Se necesita un tercer día para colocar la armadura y los posibles conductos de las instalaciones, antes de poder comenzar el hormigonado el cuarto día como principio de un nuevo ciclo de trabajo. Para aprovechar totalmente el ritmo de tres días, hay que equipar la obra con tantos elementos del encofrado espacial, que la parte a hormigonar en cada ciclo comprenda en lo posible toda una planta o partes enteras de ella; y procurar que todos los elementos del encofrado espacial estén cada vez empleados. Sólo debe disponerse de unos elementos de reserva para evitar interrupciones en el ritmo de tres días.

Rentabilidad de los sistemas de grandes encofrados

A las ventajas arriba mencionadas se contraponen los altos gastos de adquisición, los intereses correspondientes y la amortización, y además la necesidad de pesadas máquinas elevadoras. Los encofrados de grandes paneles y los encofrados espaciales deben tener empleo un número mínimo de veces en cada obra y durante todo el año, según sea su coste de adquisición. Por esta causa, dos grandes encofrados no producen una gran reducción en los costes, pero debido a ellos se consigue, lo que hoy es tan importante, reducir el tiempo de construcción para la obra estructural, y ahorrar trabajos para el enlucido de paredes y techos así como para la colocación de instalaciones, lo que significa una importante reducción de los trabajos y de los costes de mano de obra.

Mientras las grandes constructoras muchas veces fabrican ellas mismas sus encofrados de grandes paneles, hay varias empresas especializadas que se dedican exclusivamente al desarrollo y a la fabricación de encofrados prefabricados. También están estudiando al mismo tiempo el empleo más racional de los encofrados en determinadas obras, el número necesario de ele-

mentos para conseguir el ritmo de trabajo más favorable y el número de obreros del equipo requerido para esto.

De esta forma, también las empresas constructoras pequeñas y medianas pueden aprovecharse de las ventajas de los sistemas de grandes encofrados. La elección entre los distintos sistemas de grandes encofrados y las diferentes marcas no sólo depende del precio, sino también de su capacidad según el número previsto de veces que se empleará. Para el arquitecto es muy importante, en grandes obras, colaborar con la constructora —que hoy día se ha convertido muchas veces en un contratista general— durante el proceso de elaboración del proyecto y tener en cuenta sus sistemas de encofrado.

Influencias sobre la estructura del edificio

Para aprovechar lo mejor posible las ventajas de los sistemas de encofrado para paredes y techos se procura trabajar con sólo un número reducido de elementos de encofrado que, sin modificaciones, tengan las más posibles aplicaciones en la obra.

Estos elementos deben montarse y desmontarse fácilmente o bien ser desplazables mediante una grúa. La construcción que más cumple estas exigencias es la construcción con paredes de carga transversales. Especialmente para el desplazamiento de las mesas de encofrado de techos y de los encofrados espaciales se necesita por lo menos que un extremo del local quede abierto. Mediante unas máquinas adecuadas los elementos de grandes tamaños pueden trasladarse hasta aproximadamente 11 m de longitud o de profundidad de la obra.

En el caso de locales interiores y cerrados por todos los lados ya no se pueden hacer las paredes y el techo simultáneamente y en cadencia con los demás elementos constructivos. En algunos casos podrán ejecutarse primero, pues de lo contrario provocarían retrasos en la ejecución de la obra, por lo que no se obtendrían las ventajas del sistema de grandes encofrados. Lo más conveniente para los locales interiores es el encofrado perdido, especialmente los elementos de encofrado de grandes dimensiones, compuestos por láminas de hormigón armado con un espesor de 4,6 cm. Como alternativa para locales con muchos conductos de instalación se ofrece, finalmente, el empleo de elementos celulares: completamente prefabricados. Véase lo que se dice sobre la "construcción mediante elementos celulares" en la página 311.

Se favorece aún más el empleo de encofrados en grandes paneles cuando no se ponen dinteles en las puertas sino que se dejan libres las aberturas de las puertas hasta el techo. De esta manera se facilita el proceso de encofrado y las inevitables tolerancias de medida pueden ser absorbidas en las aberturas de las puertas, es decir, en todos los extremos de pared libres. En el proyecto y en la construcción de una obra es aún muy importante que, desde la cimentación, las paredes tengan el mismo espesor en todos los pisos, de modo que los elementos de encofrado pueden emplearse sin modificaciones en todas las plantas. Mediante el empleo de hormigones de distintas calidades se adaptan las paredes a las diferentes solicitaciones de carga. Además hay que tener en cuenta que en el proyecto debe considerarse todo hasta el último detalle, sobre todo las instalaciones, ya que los cambios durante la ejecución o más tarde suponen altos costes. Ya sólo por este motivo es muy necesaria, en la planificación, la colaboración entre el arquitecto, el calculista y el ingeniero especialista en instalaciones, así como con la constructora o contratista general, o bien sus especialistas en organización y racionalización del desarrollo de la obra.

Formas de encofrado y construcción por montaje de piezas prefabricadas

Los esfuerzos para crear encofrados de grandes tamaños con la mayor exactitud posible de medidas y que se puedan emplear centenares de veces, reduciendo así a un mínimo la proporción de los costes de encofrado por superficie de elemento de construcción, tienen sin embargo un límite. Los elementos del encofrado podrían llegar, en un último caso, a ser tan grandes y pesados, tan complicados y expuestos a desperfectos, que ya no tuviesen las calidades necesarias para ser empleados directamente en la obra. La forma más perfecta es por lo tanto usar estos encofrados en las fábricas que producen piezas prefabricadas. En estos casos se puede también preparar el hormigón y efectuar el hormigonado lo más mecánicamente posible, y tra-

bajar independientemente del estado del tiempo. Sin embargo, a estas ventajas se contraponen tanto los mayores costes de intereses y de amortización del capital necesario para instalar una fábrica de piezas prefabricadas, como los costes de transporte y montaje de los elementos prefabricados. Mientras en las construcciones con hormigón in situ el montaje del encofrado resulta tanto más económico cuanto mayores son sus elementos y mayor es el tramo a hormigonar, el tamaño de los elementos en la construcción por montaje de piezas prefabricadas está limitado por problemas de transporte.

Determinar cuál de los dos procedimientos resulta más ventajoso, el de construcción mediante hormigón in situ o el de montaje de piezas prefabricadas, es una cuestión que sólo puede resolverse en una obra dada mediante una comparación exacta de los respectivos costes y tiempos de construcción. Actualmente las construcciones mixtas, es decir la combinación de hormigón in situ con encofrados racionales y elementos prefabricados, suelen ser muchas veces la solución más favorable, técnica y económicamente. Sólo en obras muy grandes, cuya realización ocupará varios años, y en las que existe un gran número de elementos iguales, la construcción sólo a base de montaje de piezas prefabricadas resulta más económica.

Edificios a base de paredes sustentantes construidos por montaje de piezas prefabricadas

Entendemos por construcción por montaje de piezas prefabricadas la prefabricación de todos los elementos constructivos en una o varias fábricas especiales y su colocación y unión en la obra, sin ajuste posterior, mediante aparatos auxiliares como máquinas elevadoras, grúas, etc. Es también, prescindiendo del relleno de juntas, una construcción en seco.

La construcción por montaje de piezas prefabricadas se extiende principalmente a campos muy determinados. Entre ellos contamos actualmente: la construcción de viviendas, la de escuelas, la de hospitales, y en la construcción industrial la de naves y la de edificios de pisos. En estos casos las mejores soluciones de los problemas que se presentan ya son conocidas y están aceptadas, el número de soluciones es limitado y las ventajas de la construcción puramente a base de montaje de piezas prefabricadas están comprobadas: realización de grandes obras estandarizadas en reducido tiempo.

Desde que se conoce la construcción como actividad creadora racional, ésta consiste en unir piezas sueltas, preparadas o fabricadas con más o menos exactitud. Los materiales eran principalmente de origen natural y eran trabajados a mano. Ya en los rolizos de madera, que —cruzándose y unidos mediante cuerdas de rafia— cubrían las fosas excavadas en la tierra, había que quitar las ramas y cortarlas a medida. Los adobes, vertidos como masa de arcilla en unos moldes y posteriormente secados, están considerados como primeros elementos prefabricados en cantidad, y de medidas bastante exactas, mediante un procedimiento racional. Los templos egipcios hacia el 3000 a. C., y en forma más perfecta los templos griegos de mármol, fueron levantados o montados exclusivamente con piezas sueltas, en parte muy pesadas, prefabricadas y elaboradas manualmente con gran exactitud, y fuera de eso sin ningún tipo de masa para las juntas. Así pues, el empleo de elementos prefabricados no es de ningún modo un invento nuevo ni una nueva idea constructiva.

La diferencia entre los modernos elementos prefabricados y los antiguos, elaborados a mano, consiste ante todo en que aquéllos tienen medidas más exactas y tamaños, en parte, bastante mayores. Ya no necesitan trabajos posteriores de ajuste y pueden intercambiarse, como las piezas normalizadas de maquinaria. Pero la diferencia principal la tenemos en la fabricación mecanizada, dando preferencia a los materiales sintéticos como, por ejemplo, los distintos tipos de hormigón y piedras artificiales, los plásticos y los metales.

Los materiales naturales, como por ejemplo la madera y la piedra, hay que adaptarlos mediante elaboración a las dimensiones

y formas deseadas. Se producen desechos y virutas; el material puede aprovecharse sólo incompletamente. Los modernos materiales sintéticos están desarrollados y fabricados con la calidad, la resistencia a la compresión, y la resistencia a la flexión y tracción deseadas, y con el peso, el color y la estructuración de superficie, etc., pedidos; y sin tener desechos considerables son vertidos, comprimidos o recortados con ayuda de máquinas. Se los fabrica industrialmente en serie y en cantidades más o menos grandes, reduciéndose cada vez más la parte de elaboración manual. Pero para ello se requiere una alta inversión de capital y un trabajo de alta calidad para confeccionar los moldes y las máquinas. Debido a los costes de preparación y de desarrollo de un producto, una serie requiere un número mínimo de producción, para que luego el elemento no resulte demasiado caro.

En las obras grandes ya puede emprenderse la construcción de la serie independientemente del tamaño del elemento, debido al gran volumen de la construcción. En las obras menos importantes, sólo con elementos menores y de pocos tipos puede conseguirse que sean mayores los números de piezas de las series, con lo cual se aumentan por cierto los costes de montaje.

La serie necesaria y deseada está condicionada por una diversidad de aplicaciones, cosa dada y garantizada de la mejor manera posible cuando se cumplen determinadas medidas. Por lo tanto se requieren unas normas obligatorias. Cuanto mayor sea el campo de aplicación donde rijan estas normas, tanto mayores serán las posibilidades de fabricación y venta.

Entre las construcciones tradicionales que muestran dentro de sus límites también un cierto desarrollo (pensamos en el desarrollo de la técnica del encofrado del hormigón) y que tratan de emplear algunos elementos prefabricados, como por ejemplo los ladrillos perfilados para chimeneas, los elementos de escalera, de pared exterior, de pilares, techos o terrazas, etc., y los sistemas puramente de montaje existen por lo tanto unos límites difusos.

Actualmente la construcción mixta, hecha en obra con utilización de elementos prefabricados, es la que tiene mayor extensión. En los casos en los que sólo importan los costes y no el tiempo empleado en la construcción, la construcción mixta para la obra gruesa resulta en la mayoría de casos la más ventajosa. Ya se demostró que era una ilusión, que pudieran reducirse considerablemente los costes de una obra mediante la construcción a base de sistemas puramente de montaje. El impulso de su progreso se basa principalmente en la escasez creciente de mano de obra, ante todo de mano de obra calificada, en los crecientes salarios, en el aumento del volumen de las obras y en la posible reducción del tiempo.

Estructuración, tamaños de los elementos y métodos de fabricación

Como siempre que se está ante grandes transformaciones técnicas, son varias las posibilidades en pugna por imponerse; especialmente allí donde existe una demanda masiva de elementos iguales, por ejemplo en la vivienda. Se plantean las siguientes preguntas: ¿Qué sistema es el más apropiado y el más económico? El sistema de estructura en entramado, que brinda plantas libres para subdivisión, necesita para el aislamiento térmico y acústico la utilización de unas placas de revestimiento que no por ligeras son menos caras. ¿Es entonces preferible el montaje de paredes completas que aguantan, aíslan y subdividen pero que no ofrecen libertad de diseño en planta? ¿Qué es mejor, construir casas y elementos en la fábrica y limitarse a montarlos en la obra o bien, por así decirlo, trasladar la fabricación a pie de obra? Es más: ¿tiene sentido utilizar los mismos elementos en los edificios altos que en los bajos?; o bien ¿qué es preferible, la utilización de elementos pequeños o voluminosos? Algunas de estas y otras preguntas similares vienen contestadas, de acuerdo con el nivel técnico alcanzado últimamente, por el texto que sigue a continuación.

Los problemas se han ido aclarando hasta por lo menos poder afirmar que para obras pequeñas y en las que no se pasa de tres plantas es más conveniente el sistema de paneles prefabricados de pared y techo enlazables por todos sus bordes que se levantan

tan fácilmente con una grúa móvil o, si es necesario, a mano (por ejemplo los paneles de hormigón gaseoso y los forjados prefabricados). Estos elementos tienen su peso limitado a 150 kg. En planta y aspecto exterior hay poca diferencia de libertad en relación con los sistemas tradicionales.

Para obras de mucha extensión y a partir de cuatro pisos, el sistema de montaje de paredes prefabricadas es lo más económico, ya que la estructura de entramado, en sí preferible, deja pendientes los cuantiosos costes de paredes de cerramiento y compartimentación. Si prestamos atención al sistema del hormigón revestido, que en cierto modo queda entre los sistemas tradicionales y los modernos de montaje, nos daremos cuenta que no está todavía decidido si a la larga será más económica la prefabricación a pie de obra o en la fábrica fija, donde se ensamblen grandes superficies de paredes y techos que tan sólo puedan colocarse con una grúa pesada.

Si las piezas se prefabrican a pie de obra no son necesarias grandes inversiones ni series muy numerosas y además se goza de mayor libertad en la composición y combinación de los elementos y paredes. Además se elimina el difícil transporte de placas enormes, pesadas y de fácil rotura; pero en tal caso han de tomarse en cuenta las desventajas de una racionalización incompleta, a saber, gasto y esfuerzo elevado, poca exactitud en las medidas y poca seguridad de conseguir las calidades de material requeridas. También se depende, en mayor o menor grado, de la estación del año.

En la fábrica se puede construir prácticamente el edificio entero, tanto la estructura como los acabados de una sola vez y con sustancial ahorro de mano de obra. Además es independiente del clima y la estación. A través de la máxima racionalización y automatización la incidencia de los salarios en el coste del producto, que normalmente suele ser del 45%, desciende. La exactitud de medidas es mayor y las calidades requeridas para los materiales se consiguen con más garantías gracias a los métodos de control de calidad. Una fábrica que produzca casas enteras o piezas muy grandes de ellas requiere una inversión considerable de dinero.

Para comprender todas las ventajas que acompañan la utilización de prefabricados grandes de montaje se debe conocer, desde el nivel de planeamiento, todas las propiedades y particularidades de cada material y sistema.

Construcción a base de paneles grandes o pequeños

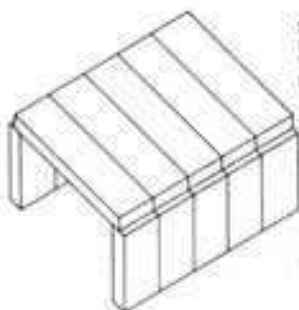
La planificación de una obra a base de elementos prefabricados debe orientarse según las condiciones que resultan de la fabricación de aquéllos. Existe diferencia entre componer una planta mediante elementos prefabricados diferentes, coordinados en sus medidas ofrecidos en el mercado (sistema abierto), o eligiendo los elementos de la serie producida por un determinado fabricante (sistema cerrado). Tales elementos se pueden emplear, por lo general, junto con los de otros fabricantes, a no ser que las dimensiones y los detalles de unión se avengan mutuamente. Mientras los sistemas abiertos son típicos en la construcción con pequeños paneles a base de un gran número de elementos iguales, el sistema cerrado se emplea sobre todo en las construcciones con grandes paneles. Sin embargo, se muestra cierta tendencia hacia el sistema abierto, por la cooperación entre distintos fabricantes y la adopción de un sistema de medidas generalmente aceptado.

En la construcción a base de paneles pequeños se utilizan para la fabricación de los elementos unas mesas de producción o unos encofrados por unidades, en los que por lo menos una de las dimensiones de los elementos es muy difícil de alterar. Por ello habría que conservar un reticulado, por lo menos en una dirección, en la que se sitúan las juntas entre los elementos de los techos y las paredes que tengan la misma dirección. Las aberturas resultan dejando huecos en la alineación de los elementos.

Las construcciones interiores que se realizan durante el montaje sólo pueden ser de poca importancia:

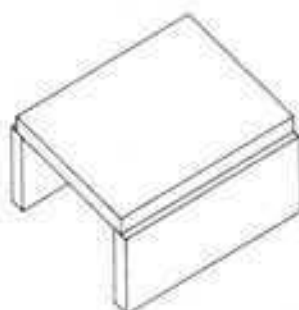
Siendo grande el número de juntas entre los elementos, los conductos de la instalación eléctrica pueden colocarse posterior-

SISTEMAS DE CONSTRUCCIÓN A BASE DE PAREDES SUSTENTANTES, MEDIANTE MONTAJE DE ELEMENTOS PREFABRICADOS



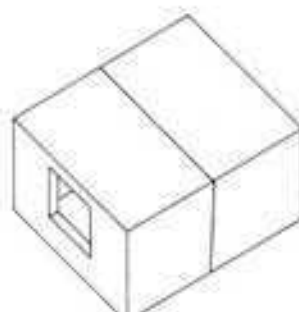
Elementos del tamaño de una parte de pared y de techo. Pesos hasta aproximadamente 2 ton

Construcción a base de pequeños paneles



Paneles de las dimensiones de las paredes y los techos. Pesos hasta aproximadamente 10 ton

Construcción a base de grandes paneles



Elementos celulares con las dimensiones de un local. Pesos hasta de más de 20 ton

Construcción a base de elementos celulares

mente, y esto se hará sólo en las juntas entre los elementos o en escotaduras, y no en los elementos mismos. Las chimeneas de ventilación y las instalaciones sanitarias pueden disponerse conjuntamente en unos elementos especiales, y refiriéndose a una retícula. Aparte del reticulado de las juntas, el montaje a base de pequeños paneles tiene sólo muy pocos condicionantes constructivos.

Como las anchuras de los elementos de hasta aproximadamente 3 m no imponen aún ninguna limitación en lo referente al transporte, la longitud y el espesor de los elementos de techo viene determinada por las dimensiones previstas de los locales y las luces necesarias para los forjados. La construcción por montaje de paneles pequeños facilita una mayor variedad en las plantas, pero por su mayor número de juntas sólo permite menores solicitaciones estáticas.

En la construcción a base de grandes paneles las juntas entre los elementos están situadas exclusivamente en las esquinas de los locales. Este tipo de montaje no requiere que la planta obedezca a una retícula. Ciertamente es necesario coordinar una determinada planta con los distintos sistemas de prefabricación, pero en este caso los moldes de fabricación pueden adaptarse a la longitud y la anchura de los grandes paneles. Sin embargo, los paneles de pared y los techos, que son los elementos más grandes, están sometidos a unas condiciones de transporte que limitan su peso y sus dimensiones. Para mantener pequeño el número de elementos diferentes es muy oportuna la repetición de las dimensiones de las habitaciones y de sus elementos y paneles.

La variedad de una planta consiste entonces en el número de habitaciones por vivienda y no en ser las habitaciones de superficies distintas.

En este sistema las construcciones interiores que se realizan durante el montaje pueden ser de mayor importancia que en el sistema de paneles pequeños. La instalación eléctrica y los elementos de construcción interior como los recubrimientos para el suelo, las paredes y los techos o bien las instalaciones sanitarias ya pueden realizarse en la fábrica, de modo que el tiempo de montaje y el tiempo total de construcción se reducen considerablemente.

Un nuevo desarrollo en este sentido es la "construcción mediante elementos celulares". Este sistema permite realizar la construcción interior y el acabado completamente en la fábrica. En el caso de elementos celulares cerrados la variedad se reduce aún más que en la construcción con grandes paneles, por ser limitada la anchura de las habitaciones a < 3 m, debido a las condiciones de transporte. Más adaptables a las plantas proyectadas son elementos celulares abiertos a dos lados. Aquí las habitaciones pueden sobrepasar la distancia entre las juntas de los elementos. Esto aumenta los trabajos de montaje pero permite, sin embargo, obtener locales de distintas dimensiones que son útiles en caso de construcción de vivienda y también en la construcción de escuelas y edificios administrativos.

Ordenación de medidas

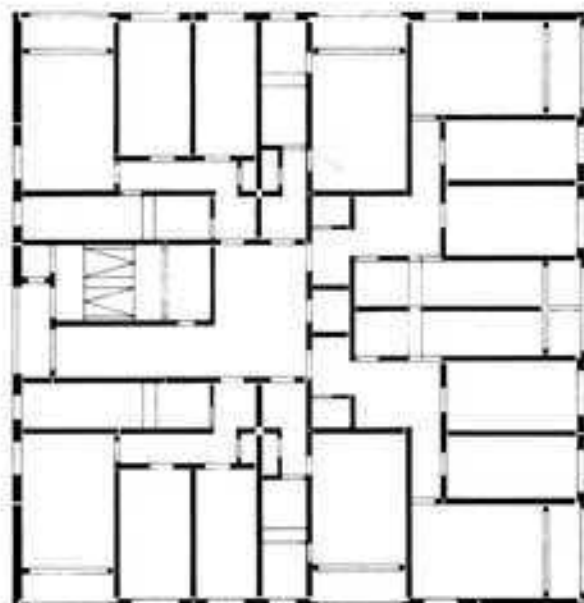
Sin ningún tipo de ordenación de las medidas de los elementos prefabricados no es posible realizar trabajos racionales de construcción a base de montaje de tales elementos. La fabricación en serie requiere unos pocos tipos de elementos y pocos tamaños de los mismos. Estos elementos deberían ofrecer el máximo de posibilidades de combinación sin necesidad de piezas de ajuste ni de trabajos de adaptación. Las medidas y el ajuste de los elementos, las tolerancias de fabricación y de montaje, habrán de coordinarse mediante una ordenación de medidas.

A partir de los años 50, en Alemania se construyó según una ordenación de medidas octamétrica, es decir, según unas medidas básicas, que resultan de la división de las magnitudes de 1 o 10 m. Este sistema es la base de la "Ordenación de medidas en la Construcción" DIN 4172, véase página y DIN 4171 "Construcción industrial, distancias entre ejes y alturas de pisos", las dos publicadas por vez primera en el año 1955. Debido al desarrollo de la construcción en los años de la última posguerra, ya han tenido un largo tiempo de comprobación y de confirmación práctica. Aplicando la norma DIN 4172 se han construido millones de viviendas. Las medidas de sus locales, sus aberturas y elementos constructivos, teniendo en cuenta las juntas, se deducen de los múltiplos y las tracciones de la medida octamétrica 12,5 cm. Los tamaños de los ladrillos según la DIN 105 ya fueron adaptados a ella en el año 1952:

$$12,5 \text{ cm} = \text{anchura del ladrillo}$$

11,5 cm + una junta de 1 cm, lo que también era favorable en la fase de trabajo —por el tamaño de la mano— y para el dimensionado de ladrillos de mayores tamaños. Pero cuando al principio de los años 60 progresaron otros materiales y otros tipos de construcción, el que entonces era ministro de Vivienda y Urbanismo recomendó ya en el año 63 la aplicación de una ordenación de medidas a base del módulo M = 100 mm.

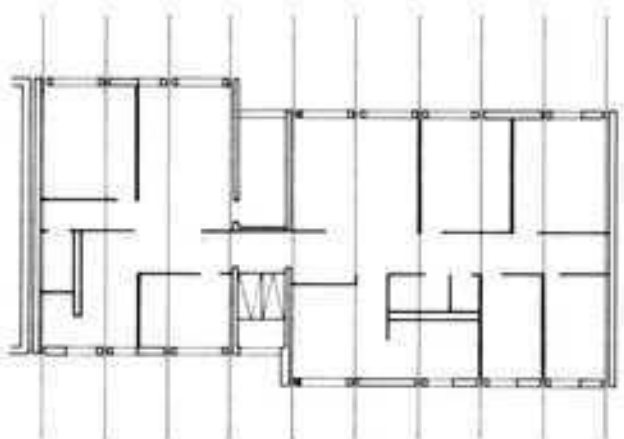
Esta ordenación de medidas ha sido elaborada con participación universal también alemana, por la ISO = International Organization for Standardization y la IMG = International Modular Group. Está basada en un sistema duodecimal, que tiene una mejor divisibilidad que el sistema octamétrico. Mientras para las medidas grandes carece de importancia si escribimos 2,40 o 2,50, o bien 7,20 o 7,50, para las medidas parciales y básicas una mayor posibilidad de subdivisión sin fracciones de mm es muy adecuada para una construcción con elementos industrializados. Las divisiones más pequeñas deben contener un número exacto de milímetros, porque las instalaciones automáticas de fabricación sólo suelen ser graduables con un escalonado en milímetros. Al sumar las tolerancias de varios elementos, los redondeamientos a milímetros enteros llevaban a tolerancias totales



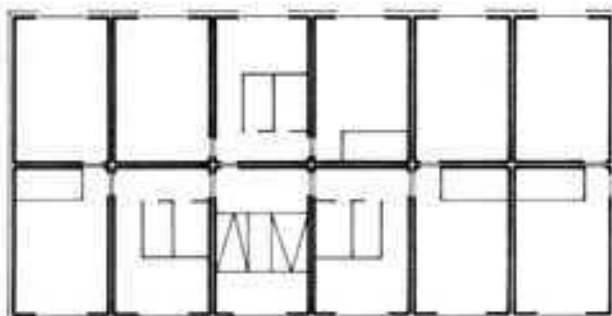
Construcción con grandes paneles: pequeño número de elementos distintos, empleados repetidas veces; no es preciso un reticulado



Construcción con pequeños paneles: mayor libertad en el proyecto, con elementos básicos poco diferenciados. (Gran número de piezas - construcción interior)



Construcción con elementos celulares, abierta: las construcciones interiores y las dimensiones de los locales sobrepasan las medidas de las unidades estructurales



Elementos celulares cerrados: unidades de estructura y de construcción interior de las dimensiones de los locales. Mayor grado de prefabricación.

demasiado grandes y por lo tanto no son adecuados para la construcción industrializada.

En comparación con los multimódulos octamétricos 500 y 625 mm (que tiene los divisores primos 2 y 5), el multimódulo duodecimal 6M = 600 mm (que tiene los divisores primos 2 y 3) es más de dos veces más divisible en milímetros enteros (en total veintitrés veces comparado con once o cuatro veces). En el curso del desarrollo ulterior de la construcción a base de piezas prefabricadas y de la fabricación industrializada de los elementos constructivos, por consideraciones constructivas y económicas, y a consecuencia de la política del mercado, será necesario adaptar no sólo la planificación sino también los elementos de construcción y de acabado fabricados en serie a esta nueva ordenación internacional de medidas. En el período de transición seguramente no podrá evitarse la concomitancia de los dos sistemas de medidas, el antiguo y el moderno, y una adaptación mutua; compárense por ejemplo sólo las diferencias que actualmente existen en las anchuras de los elementos de la industria del hormigón gaseoso: 50 y 62,5 cm al lado de 60 cm.

Comparación con respecto a la divisibilidad del módulo 6 M

Número de piezas	Medidas de las piezas Módulo 500 mm	Medidas de las piezas Módulo 600 mm	Medida de las piezas Módulo 625 mm
1	500	600	
2	250	300	
3		200	
4	125	150	
5	100	120	125
6		100	
8		75	
10	50	60	
12		50	
15		40	
20	25	30	
24		25	
25	20	24	25
30		20	
40		15	
50	10	12	
60		10	
75		8	
100	5	6	
120		5	
125	4		5
150		4	
200		3	
250	2		
300		2	
500	1		
600		1	
625			1

Ordenación de módulos - Coordinación de medidas

Con la DIN 18000 "Coordinación de medidas en la construcción" se introducen también en las normas alemanas los resultados de los trabajos y las recomendaciones del ISO y el IMG. Por esto aquella se basa como unidad de medida, en el módulo fundamental $M = 100 \text{ mm}$, y se sitúa en la línea de la "Ordenación Internacional de Módulos" (IMO). Hay que tener en cuenta que la ordenación de módulos por el momento sólo proporciona teóricamente una coordinación de medidas. De ella hay que derivar para el proyecto de la obra de fábrica y la ejecución práctica las medidas reales de los elementos constructivos bajo consideración de la anchura de las juntas y de las tolerancias de fabricación y colocación. Los distintos conceptos referentes a las medidas y la ordenación se definen a continuación:

- **Medida de coordinación:** Medidas que definen la coordinación de los elementos, su situación dentro de la estructura de la obra y las uniones entre ellos.
- **Medidas directrices (medidas normalizadas):** Medidas de elementos constructivos incluidas las partes correspondientes de las juntas respecto a los elementos de unión, tomadas entre los centros de las dos juntas. Son múltiplos enteros del módulo elemental M (gran o multimódulo), o submúltiplos de M (submódulos).
- **Medidas de construcción (medidas nominales):** Medidas teóricas de elementos constructivos sin tener en cuenta las juntas ni las tolerancias. No son medidas normalizadas.
- **Medidas reales:** Son las que tienen efectivamente los elementos; que aun pueden diferir de las medidas constructivas en las tolerancias admisibles.
- **Medidas preferentes:** Medidas, para un determinado grupo de elementos constructivos, elegidas entre todas las posibilidades que permite la ordenación de medidas, con el fin de reducir la variedad del surtido.
- **Dimensiones de retículo:** Distancias entre las rectas o los planos de un sistema de coordenadas de dos o tres dimensiones, a base de medidas básicas.
- **Estructura primaria:** Sistema de ordenación de la estructura sustentante.
- **Estructura secundaria:** Sistema de ordenación para todos los elementos complementarios que habrá de coordinarse con la estructura sustentante. Un desplazamiento de los retículos de la estructura principal y los de la secundaria (alternancia en lugar de superposición) aumenta la independencia mutua, evita elementos de ajuste y permite de este modo mayor libertad en los acabados.
- **Estructura terciaria:** Todos los elementos de las instalaciones y del acabado técnico, tanto dentro como entre los elementos portantes y divisorios, para los cuales también llevan ventaja las medidas modulares y coordinadas; considérense por ejemplo las lámparas incorporadas o empotradas.

Debido a las limitaciones del surtido, pero también para mayores posibilidades de ampliación y de intercambio y ajuste, se recomienda además dentro de la ordenación modular una cierta ordenación.

En sentido horizontal esta ordenación es:

3 M - 6 M - 12 M - (15 M) - 30 M - 60 M.

El llegar a un acuerdo internacional respecto al módulo elemental M y a la correspondiente serie significa hacer un compromiso de aproximación entre los sistemas de medidas en cuestión, el métrico y el no métrico. Por lo tanto no es ciertamente pura casualidad, que a través del módulo elemental "decímetro" puede derivarse la relación siguiente con las unidades anglosajonas "pie" y pulgada:

4" (inch - pulgada)	= 101,6 mm ~ 1 M
12" = 1' (foot - pie)	= 304,8 mm ~ 3 M
24" = 2' (foot - pie)	= 609,6 mm ~ 6 M
36" = 3' = 1 yd (yarda)	= 914,4 mm ~ 9 M

También la estandarización en los estados del Comecon se basa en una ordenación según el módulo básico $M = 100 \text{ mm}$ y la serie correspondiente. Los multimódulos de distinta magnitud

que aparecen en esta ordenación corresponden a grupos parciales, previstos cada uno para un determinado tipo de elementos constructivos. De esta forma se emplean los módulos 3 M y 6 M especialmente en la construcción de viviendas, y los 30 M y 60 M están recomendados para las construcciones industriales. Las dimensiones en sentido horizontal deben cumplir las reglas siguientes:

- que cuando se emplea una serie de grandes módulos por motivos de intercambiabilidad cada uno de los módulos grandes debería ser un múltiplo entero del módulo inmediatamente anterior;
- cuanto mayores sean las dimensiones de un elemento constructivo tanto mayores pueden ser los saltos de medida entre los elementos consecutivos de una serie.

Según la propuesta del ISO todas las medidas de la obra gruesa deberían también corresponder naturalmente a los módulos. Por ejemplo, una abertura de puerta debería tener, en la obra estructural $3 \times 3 \text{ M} = 90 \text{ cm}$. De este valor se restan las medidas de los cerros, de modo que queda aproximadamente una luz de 80 cm para la abertura de paso. De la misma manera habrá que tratar las aberturas de las ventanas.

La serie sería entonces como sigue: 60 - 90 - 120 - 150 - 180 cm, etc. Las medidas reales no corresponden por lo tanto precisamente a las medidas exactas de los módulos, sino que varían por la anchura de las juntas y las tolerancias.

También las alturas de piso son distintas de las de nuestras normas DIN. Según las propuestas del ISO en la construcción de viviendas no se emplean grandes módulos, sino solamente saltos de medidas de $1 \text{ M} = 100 \text{ mm}$. Las alturas de piso deberían tener 26 M - 27 M - 28 M o 30 M. En la construcción industrial se propone saltos de 6 M cada uno.

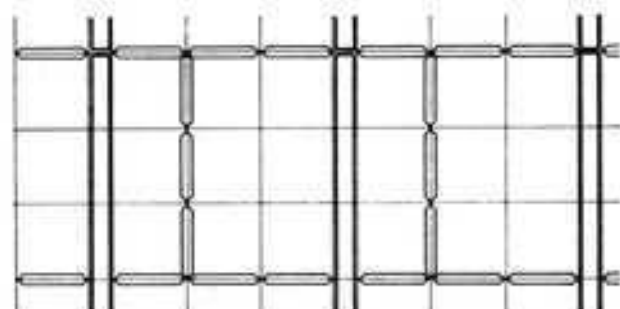
Entre los dos campos de la construcción, el de viviendas y el de la construcción industrial (preferentemente construcción de naves), existen, tanto por las exigencias como por las dimensiones de la obra y las de sus locales y por las necesidades de espacio, una serie de importantes construcciones —como por ejemplo, colegios, oficinas, institutos, etc.— para las que aún no se han dictado normas.

Hasta ahora no existe ninguna ordenación de medidas para el campo de actuación llamado submodular. En él contamos principalmente las dimensiones de elementos constructivos: las secciones de vigas y jácenas, los techos nervados y los de losas, las placas, el espesor del pavimento, etc. Incluso una pulgada puede ser en estos casos una medida demasiado grande. Respecto al espesor total de techo y a la altura de piso, casi no puede estipularse si es mejor someter a la norma la altura total de piso o la distancia entre el techo y el pavimento (las normas actuales toman la última). Escogiendo las alturas de piso, las escaleras y todos los montantes y bajantes de las instalaciones pueden normalizarse, así como las alturas de montaje de los elementos de instalación, los interruptores eléctricos, etc. En este caso la altura de los locales es variable y depende del espesor constructivo y de la composición del techo (espesor del techo portante, la capa aislante, el solado y el pavimento y eventualmente el cielo raso). Someter a la norma la distancia entre techo y pavimento sería de utilidad para la colocación de los tabiques y la estructuración de las piezas que los forman, teniendo en cuenta las dimensiones de puertas y ventanas.

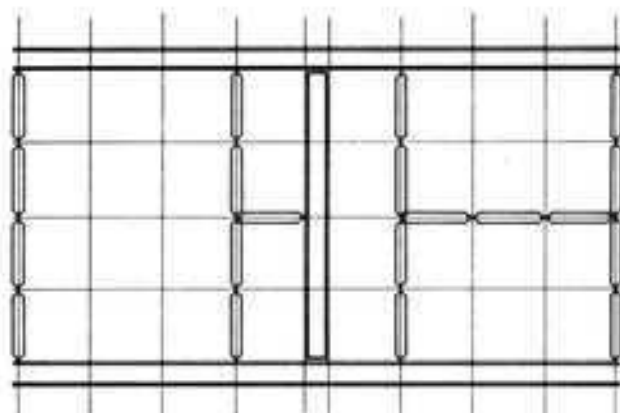
Con estas consideraciones se llega a los límites de una estandarización total. Ya hace tiempo que se han comprobado sus ventajas para la planificación y estructuración, para la fabricación de materiales y elementos constructivos y para la ejecución de las obras. Todavía no se sabe si y cuando habrán normas universales. Pero lo cierto es que de momento no aportarían ventajas técnicas ni económicas. En el campo del comercio internacional tales normas no significarían ninguna ventaja considerando sólo la obra gruesa, incluso cuando se trata de una construcción por montaje de piezas prefabricadas, y que el transporte de elementos pesados sólo es rentable si las distancias a recorrer son de hasta 100-200 km. Además, cada serie de producción tiene, según el grado de acabado un cierto óptimo en su número de piezas. Pasado este valor, un aumento del número de piezas de la serie no trae consigo ventajas económicas, ni para el productor, ni para los consumidores. Esto también es el motivo de que por



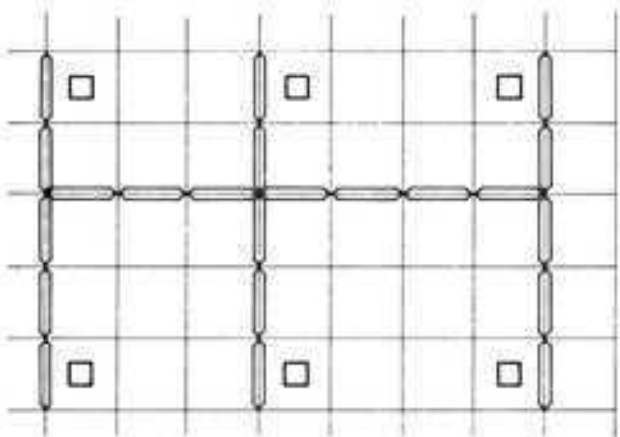
Simple superposición: dimensiones no modulares en el retículo de ejes requieren piezas de ajuste.



Intercalados: disponiendo zonas neutras en el retículo de ejes se evitan piezas de ajuste.

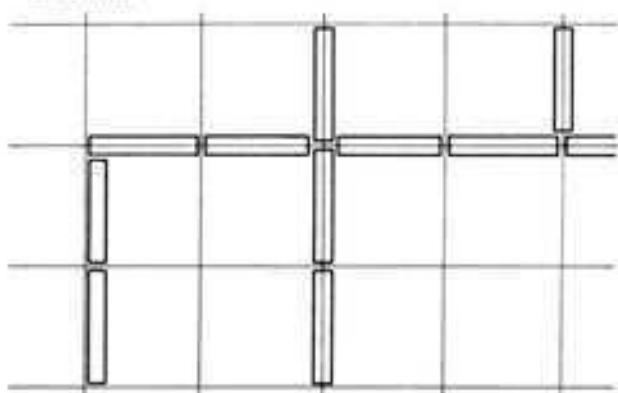


Retículo de acabado dentro del retículo de la estructura

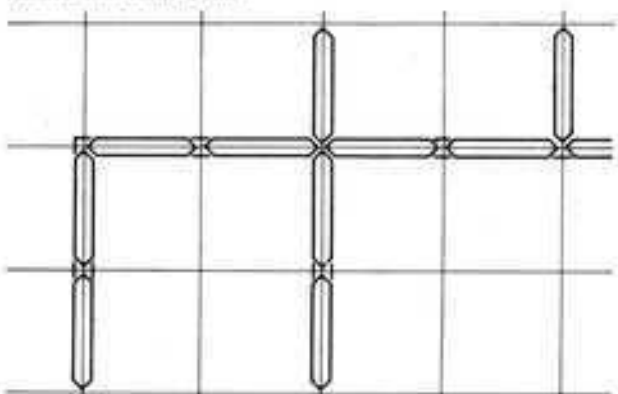


Retículo de acabados y de estructura desplazados en dos direcciones

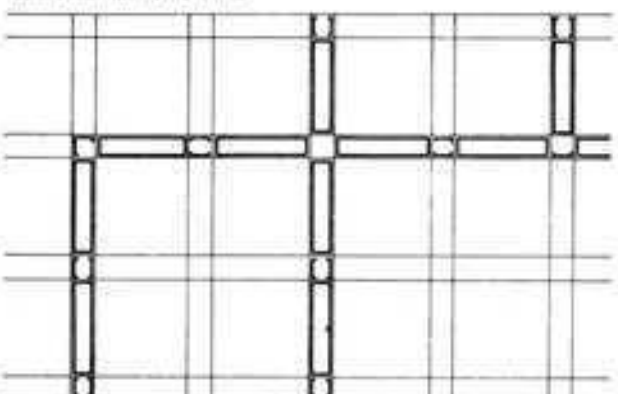
Piezas de ajuste



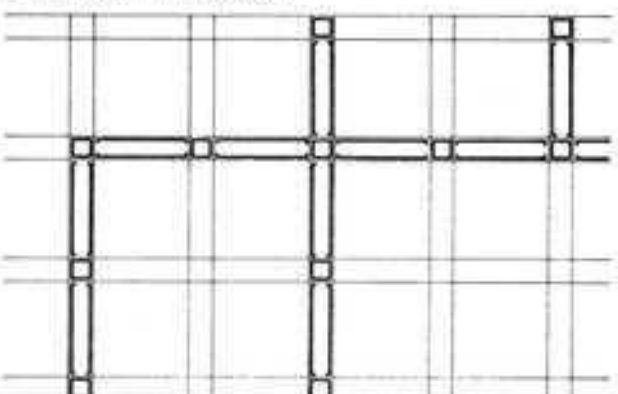
Uniones ideales con tapajuntas



Placas con listones tapajuntas



Cerramiento con montantes y placas



ejemplo en el campo técnico más racionalizado, el de la construcción de automóviles, la variedad de las piezas más bien haya crecido que disminuido y que ninguna pieza de un "Opel" se ajuste a un "Ford".

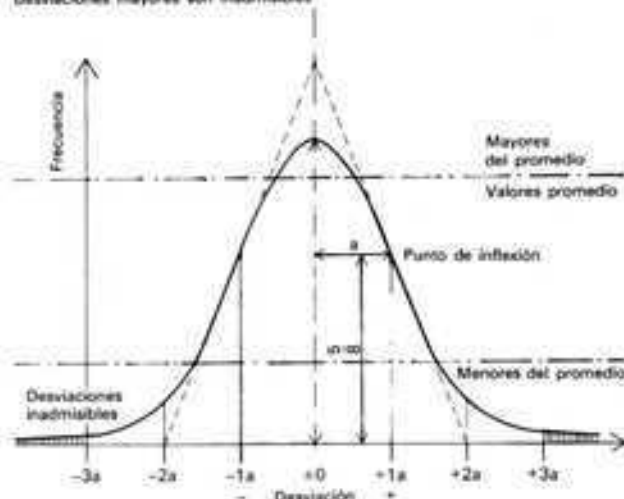
Finalmente aún habrá que tener en cuenta todavía que el empleo de piezas normalizadas de grandes dimensiones quizás tendrá ventajas económicas en la construcción de la obra gruesa, pero que aumenta el volumen de la construcción, los costes de acabado, del mantenimiento de la obra (calefacción-iluminación) y de su conservación. Si no construimos en medio de un prado que permita un dimensionado totalmente libre de la obra, tendremos que adaptarnos a las dimensiones predeterminadas del solar, lo que impide cumplir en un 100% con una ordenación de medidas establecidas, sin tener problemas de adaptación. De ello se deduce el criterio siguiente: Mantenimiento de las medidas normalizadas en tanto sea posible, con los consiguientes trabajos de adaptación o utilización de elementos especiales hasta lo que sea necesario.

Concepto de las tolerancias de fabricación y de montaje

En las construcciones tradicionales las longitudes, anchuras y alturas de los pilares, ventanas y aberturas de puerta sólo se cumplen dentro de un cierto campo de variación: es la llamada tolerancia de medidas. El albañil ejecuta las juntas con un ancho dado a ojo: la altura de los techos disminuye al comprimirse el mortero de las juntas horizontales. Cuando creemos tener 100 aberturas iguales de ventanas y puertas, si éstas están ejecutadas sin montantes suplementarios que aumentan los gastos, bastidores o patrones, resultarán tales diferencias de medida, que por ejemplo no pueden ya disponerse 100 ventanas iguales, sino que habrá que trabajar con 2 o 3 tamaños de ventana, es decir, el suministrador no cuenta con una gran serie de medidas uniformes sino con dos o tres series menores. Además habrá que medir cada abertura en la obra, anotar las medidas en el plano, y fijar la posición de las ventanas para su instalación. Sin embargo, no se podrán evitar los trabajos de ajuste. Siendo grande el número de piezas las diferencias de medidas en las construcciones tradicionales siguen la curva de frecuencia de Gauss.

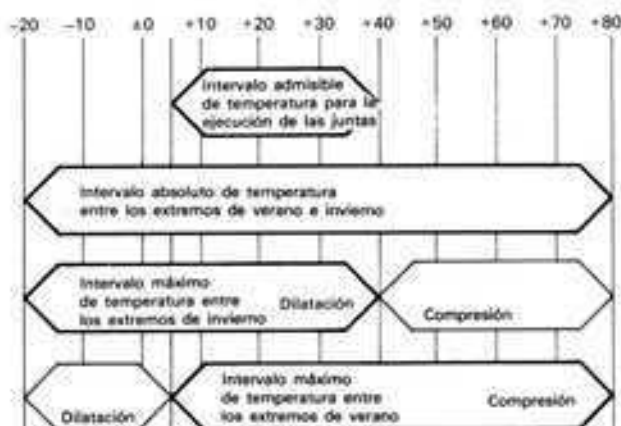
DISTRIBUCION DE LAS FRECUENCIAS DE LOS VALORES MEDIDOS (CURVA DE FRECUENCIA DE GAUSS)

La desviación de medida admisible es de $\pm 3\sigma$
Desviaciones mayores son inadmisibles



En la construcción industrializada hay que cambiar las disposiciones: el pulgar y el ojo son medios de medida inadecuados. Las diferencias de tolerancia de centímetros serán sustituidas en la obra por tolerancias de milímetros y en la producción de series en fábrica, incluso de 1/10 mm. Por esto son imprescindibles

INTERVALOS MAXIMOS DE LAS TEMPERATURAS SUPERFICIALES



El desprecio de la diferencia más favorable en el cálculo aproximado es un suplemento de seguridad

bles métodos más exactos de medición de los elementos constructivos y de montaje. De este modo pueden emplearse elementos de un mismo tamaño y las tolerancias de montaje en las juntas podrán compensarse invisiblemente mediante las juntas de unión. En principio tenemos la regla de que las diferencias de medida tanto más se acumulan cuanto menores son los elementos empleados y cuanto mayor sea por lo tanto su número. Y viceversa las diferencias de medidas pueden mantenerse proporcionalmente en límites tanto más pequeños cuanto mayor sea un elemento constructivo y cuanto menos el proceso de producción dependa de trabajos manuales.

Como caso extremo de elementos del tamaño de una habitación, fabricados con encofrados metálicos, se podrían reducir las diferencias de medidas de los elementos a ± 1 mm de tolerancia de fabricación. En cambio, en el montaje las inevitables tolerancias aumentan con el tamaño de las piezas.

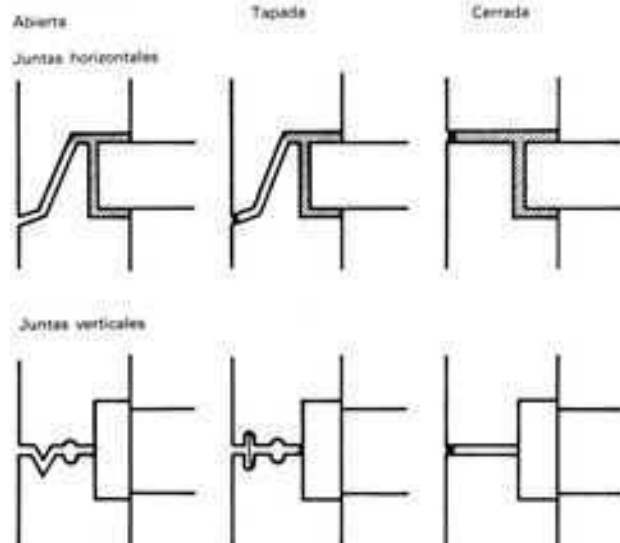
Juntas de montaje

Las juntas son consecuencia de la descomposición constructiva de las construcciones y sus partes en elementos sueltos, y también de la unión de elementos de distintos materiales.

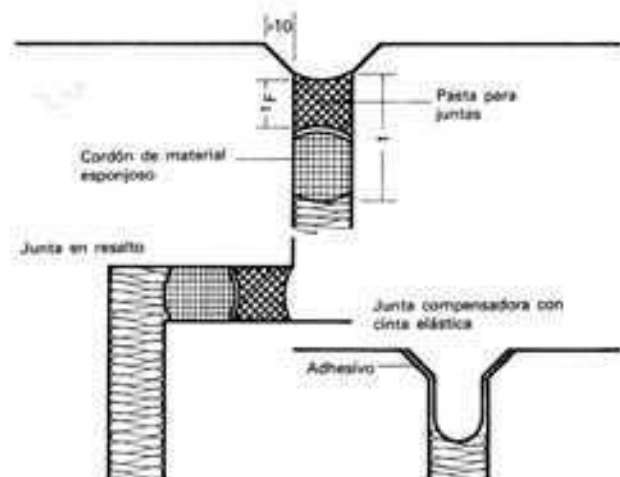
En comparación con el alto porcentaje de las juntas en las obras de fábrica, este porcentaje se reduce con el aumento de tamaño de los elementos prefabricados. Los anchos y los espesores efectivos de las juntas se determinan no sólo por el tamaño de los elementos y las tolerancias de fabricación y montaje, sino también son cuestión de exigencias estáticas, constructivas y de montaje. Una junta amortiguada, sola, no puede cumplir todas estas exigencias al mismo tiempo. Las juntas y los materiales que las cierran cumplen con objetos especializados.

Comparada con el montaje de piezas prefabricadas de hoy día, la tradicional construcción en ladrillos con sus innumerables juntas no acusa cambios importantes de longitud y altura, ni en casos de grandes dimensiones y grandes cambios de temperatura. Pero cuanto mayor es un elemento y cuanto menos juntas tiene, tanto más sufren sus juntas bajo los aumentos y disminuciones en la longitud, el ancho y la altura debidos a los cambios de temperatura. Esto afecta principalmente a las fachadas, mientras que en las paredes interiores sólo se producen cambios insignificantes de temperatura. Como las fachadas prefabricadas tienen un menor espesor que las tradicionales (de fábrica de piedra o ladrillo y revocadas; espesor total, 34 cm), ya no puede ejecutarse la clásica junta amortiguada continua y de aproximadamente 10 mm de grueso, ya que el mortero tiene una mayor transmisión térmica que el ladrillo. La red de juntas se señalaría en el lado interior de la pared.

Para los diferentes tipos de montaje se han encontrado toda una serie de soluciones para la disposición de las juntas, según las distintas sollicitaciones y condiciones de montaje, siendo nece-



Secciones de juntas



sario siempre que las juntas horizontales y verticales se avengan. La disposición de las juntas no sólo tiene importancia técnica y económicamente, sino que también influye en la estética, pues pone de manifiesto la estructuración bajo la cual se presenta la obra.

Disposición constructiva - estática de las juntas

Las juntas horizontales entre elementos portantes deben transmitir las fuerzas de compresión debidas al peso propio de dichos elementos y al de los elementos o pisos situados encima de ellos. En el caso de paredes de carga las solicitaciones de las juntas varían y aumentan al crecer el número de los pisos situados encima de las juntas, y pueden limitar el número de pisos en edificios altos. La resistencia a la compresión de las juntas no puede aumentarse en el mismo grado que, por ejemplo, la del hormigón. El espesor de una junta horizontal (junta de asiento) depende del tamaño y de la exactitud de medidas del elemento a colocar así como de la forma de colocación.

Si los elementos se colocan desde arriba encima de una capa de mortero preparada, el espesor de las juntas puede reducirse a pocos milímetros sólo en el caso de paneles de hormigón poroso, de gran exactitud de medidas, y un adhesivo plástico. Para la mayoría de las piezas prefabricadas de menos exactitud, habrá que contar con un espesor de junta > 1 cm, empleando un mortero normal.

Los elementos de pared del tamaño de las habitaciones ya no pueden colocarse encima de una capa de mortero preparada. Primero se los apoya encima de unas cuñas o, como mejor solución, se los ajusta en su posición exacta mediante unos tornillos. Como las juntas de asiento pueden rellenarse sólo posteriormente, deben tener un espesor mayor. Por lo tanto debe contarse con un espesor de junta > 2 cm para poder cerrarla completa, exacta y compactamente en la sección total de la pared. Para el relleno de juntas que transmiten fuerzas se emplean distintos tipos de mortero:

1. para las juntas de aproximadamente 1-3 mm, adhesivos plásticos;
2. para las juntas de aproximadamente 3-7 mm, mortero de cal o cemento con arena fina y eventualmente sustancias adicionales a base de plásticos que mejoran la elasticidad y la compacidad;
4. para las juntas de aproximadamente 7-15 mm, morteros normales;
5. para las juntas de aproximadamente 20-30 mm, hormigón fino con predeterminadas curvas de tamizado para la grava y la arena.

Los fabricantes de elementos prefabricados, por lo general, dan para la colocación de sus elementos unas exactas prescripciones sobre la composición del mortero y la proporción de la mezcla, que se basan en la experiencia y que habrá que tener en cuenta muy exactamente.

En el juicio sobre una junta de mortero tiene importancia la disminución de la resistencia a la compresión al aumentar el espesor de la junta. Para mortero de cemento es, por ejemplo,

espesor de junta: 10 mm	Resistencia a la compresión: 300 kg/cm ²
espesor de junta: 15 mm	Resistencia a la compresión: 250 kg/cm ²
espesor de junta: 20 mm	Resistencia a la compresión: 200 kg/cm ²
espesor de junta: 25 mm	Resistencia a la compresión: 150 kg/cm ²

En contraposición a las juntas horizontales, las juntas verticales tienen en primer lugar una función de impermeabilizar. La ejecución de juntas verticales capaces de transmitir esfuerzos es más complicada, porque aquí pueden aparecer simultáneamente tensiones de compresión, de tracción y de cortadura. Cuando las juntas longitudinales están solicitadas estáticamente, como ocurre por ejemplo en las estructuras a base de grandes paneles, habrá que disponer unas juntas "cosidas" con una armadura longitudinal con anillos; si es necesario habrá que perfilar los bordes de la junta.

Realizar la unión sólo mediante el relleno de una junta hueca o mediante disposición de los bordes de las placas con ranura y lengüeta, produce acaso un efecto de rigidización entre los elementos contiguos, pero no sobre la estructura en su totalidad.

Juntas en elementos de fachada

El relleno de juntas que no actúa estáticamente, y el rejuntado de las mismas tienen la función de garantizar la uniformidad en un elemento constructivo o en una fachada, así como de asegurar sus propiedades aislantes y su estanquidad.

Las juntas en las fachadas están solicitadas por los cambios de temperatura y humedad, acción de viento y la radiación del sol. Para evitar que estos cambios, que aparecen periódicamente, provoquen tensiones y grietas difíciles de vigilar, los elementos de fachada no deberían tener uniones rígidas con la estructura interior y tampoco entre ellos mismos.

Dimensionado de las juntas cerradas de fachadas

Existen muchos factores que en parte se superponen, que influyen en la magnitud del movimiento que se produce entre los elementos de fachada, y por lo tanto en el ancho necesario de las juntas:

- Tamaño de los elementos contiguos o sea la distancia entre las juntas que los separan;

- Material de que están formados los elementos y su coeficiente de dilatación;
- Cambios de temperatura previstos;
- Condiciones climáticas en el momento del montaje;
- Comportamiento a la humedad de los materiales (Contracción e hinchamiento);
- Tolerancias de fabricación de los elementos prefabricados;
- Tolerancias de montaje;
- Extensibilidad, elasticidad de retroceso y poder adherente de los materiales de estanqueidad;
- Mantenimiento de un ancho de las juntas constructivamente convenientes entre > 10 mm y < 25-30 mm.

Lo más importante en el dimensionado del ancho de las juntas son los posibles cambios de longitud, a que están sometidos los elementos a unir, producidos por el calentamiento en verano y el enfriamiento en invierno. Su dilatación estrecha las juntas y produce una presión sobre el relleno, su contracción las ensancha, lo que produce tracción en el material e influye en la adherencia sobre todo en los bordes de la junta. Para evitar que se abra la junta o que el material se desprenda, se admiten en general movimientos térmicos del 20 % como máximo del ancho de la junta, es decir, el ancho mínimo necesario de la junta debe ser el quintuplo de los movimientos de temperatura que actúan en ella. En el caso supuesto de que los elementos están anclados en el centro y sus extremos se mueven uniformemente en las dos direcciones, el ancho mínimo necesario de junta, cerrada con un material elástico, puede deducirse de los siguientes valores:

Deformación lineal térmica de los materiales (Dilatación y contracción reversibles)

Materiales	(mm/m°C)
Hormigón con grava	0,009 - 0,012
Hormigón con hormigón expansivo	0,007 - 0,009
Hormigón con cascote de ladrillo	0,008
Hormigón celular	0,008 - 0,008
Mortero de cemento	0,010
Mortero de cal y cemento	0,009
Mortero de cal	0,008
Ladrillo de cal y arena	0,005 - 0,008
Ladrillos	0,005
Piedra arenisca	0,012
Granito	0,008
Piedra caliza	0,007
Ladrillos cerámicos	0,005 - 0,008
Fibrocemento	0,010
Vidrio	0,004 - 0,005
Hierro	0,011
Aceró	0,010 - 0,014
Cobre	0,017
Aluminio	0,024
Cinc	0,017 - 0,028
Plomo	0,029
Roble/en sentido longitudinal respecto la fibra	0,003
en sentido transversal respecto la fibra	0,028
Abeto/en sentido longitudinal respecto la fibra	0,004
en sentido transversal respecto la fibra	0,058
Pino/en sentido longitudinal respecto la fibra	0,005
en sentido transversal respecto la fibra	0,034
Haya/en sentido longitudinal respecto a la fibra	0,006
Fibra de vidrio-poliéster	0,035 - 0,045
Acrylglas	0,070 - 0,080
Poliésterol	0,060 - 0,100
Poliéstereno	0,115 - 0,230
PVC duro	0,070 - 0,090

Deformación de los materiales a causa de la humedad (Contracción e hinchamiento que se superpone a las deformaciones térmicas)

Materiales	(mm/m°C)
Hormigón Bn 350	0,12 - 0,14
Bn 250	0,14 - 0,16
Bn 150	0,16 - 0,18
Hormigón celular	0,05 - 0,07
Mortero de cemento	0,20
Mortero de cal y cemento	0,35
Ladrillos de cal y arena	0,04
Ladrillos	0,06
Piedra arenisca	0,30 - 0,60
Granito	0,10 - 0,15
Piedra caliza	0,09 - 0,16
Vidrio	0
Madera de construcción radial respecto a la fibra	> 10
tangencial	> 20
longitudinal	> 1

Temperaturas máximas de distintas superficies de fachadas (Orientadas hacia el sur y oeste durante el verano)

Material de la fachada	Temperatura máx. de la superficie °C
Cerámica blanca Ladrillo blanco Obra de fábrica blanca	+ 40
Superficies claras de hormigón y de enlucido	+ 50
Ladrillos rojos de revestimiento de fachadas	+ 65
Cerámica negra Ladrillo negro	+ 80

Cálculo de la variación de longitud de un elemento constructivo:

$$\Delta l = \alpha \times \Delta t \times L \text{ en donde}$$

Δl = ancho necesario de la junta, a causa de la temperatura (mm)

α = Coeficiente de dilatación lineal térmica de los elementos (mm/m° C) véase tabla pág. 317

Δt = Diferencia entre los extremos de la temperatura superficial de los elementos:
calentamiento debido radiación del sol en verano (véase tabla) y enfriamiento hasta la temperatura del aire exterior de invierno (-15 a -30° C)

L = longitud del elemento o distancia entre las juntas; para elementos de distintas dimensiones

$$L = \frac{L_1}{2} + \frac{L_2}{2} \text{ (m)}$$

Ejemplo:

Para una junta entre dos elementos de hormigón de 4 m cada uno y una posible diferencia de temperaturas de 80° C se calcula la variación según la fórmula

$$\Delta l = 0,011 \times 80 \times (2 + 2) = 3,5 \text{ mm}$$

De aquí resulta el ancho mínimo necesario de junta

$$b_{\text{mínimo}} = 5 \times \Delta l = 5 \times 3,5 = 17,5 \text{ mm, a 20 mm redondeados}$$

Un dimensionado del ancho de las juntas según estas fórmulas aproximadas garantiza que también todos los demás factores influyentes están cubiertos con suficiente seguridad.

Para una mayor simplificación se determinaron para pastas permanentemente elásticas de juntas en el proyecto de la DIN 18540 "Estanquidad de las juntas de fachada entre elementos prefabricados de hormigón y hormigón armado" los anchos de las juntas en función de la distancia entre ellas (para una temperatura de montaje de + 10° C):

Distancia entre juntas en m Longitud de los elementos prefab	hasta 2 m	1-4	4-6	6-8	
Ancho de junta mínimo b (mm)	10	15	20	25	30
Espesor de la pasta de junta t_f mm	8	10	15	15	20
Diferencias admisibles	$\pm 1,6$	± 2	± 3	± 3	± 4
Profundidad de la junta mm	30	40	50	60	

Elaboración de pastas de estanquidad de elasticidad permanente

Los rellenos de juntas a base de plásticos deben tener las siguientes características: alta capacidad de dilatación, gran elasticidad de retroceso y fuerte adherencia con la base. Deben tener resistencia a las acciones del oxígeno, de los rayos ultravioleta, de los agentes atmosféricos, del agua, del calor del sol y de las heladas. Finalmente habrá que contar con una gran durabilidad; que sus propiedades se mantengan durante muchos años.

Según las experiencias hechas hasta hoy día, principalmente los productos a base de caucho polisulfuro, substancia conocida bajo el nombre de "Thiokol", cumplen con estas exigencias. Con el caucho polisulfuro existe una experiencia de muchos años. Se trata de un caucho artificial a base de pequeñas moléculas, que puede pasar mediante oxidación a un estado de moléculas grandes. En la obra se mezcla la pasta de junta compuesta del material básico y del endurecedor hasta conseguir un color uniforme. El endurecedor produce la vulcanización, es decir, la transformación de la masa del estado plástico al elástico. Según la proporción de mezcla resultan pastas de junta más blandas o más duras, más elásticas o más plásticas, con un tiempo de endurecimiento más o menos largo. Según el material este endurecimiento puede tardar entre 24-48 horas.

Sólo cuando existe una fuerte adherencia en los bordes de la junta, las pastas de junta pueden absorber sin perjuicios una dilatación del 20% respecto a las condiciones de montaje. Durante el proceso de deformación la pasta de junta de elasticidad permanente se comporta como una masa de goma, sujeta en los dos extremos, es decir en los bordes de la junta. Como los cambios de longitud de las placas de hormigón de revestimiento no siempre se efectúan simétricamente —por ejemplo, un canto de la placa puede quedar sujeta por motivos desconocidos— en un caso como éste la dilatación térmica se realizará toda en una sola dirección. Con ella se podría sobrepasar la dilatación admisible, es decir, la tensión de la pasta de junta. Para evitar esta posibilidad, las pastas de junta de elasticidad permanente tienen una plasticidad adicional, limitada, que reduce las tensiones en la pasta de junta en casos de mayores solicitaciones.

El hormigón en los bordes de la junta debe ser seco, antideslizante y compacto. De las superficies habrá que quitar ensuciamientos, polvos, grasa, películas oleosas y bituminosas, con un cepillo de acero, muchas veces aplicando un detergente apropiado y recomendado. En el caso de que una junta sea demasiado estrecha o tenga un ancho irregular, habrá que abrirla a un ancho suficiente. Los defectos en los bordes de la junta habrán que corregirse con mortero de resina epoxi.

Los trabajos para la ejecución de las juntas se realizan entonces en el siguiente orden:

- Pegar los bordes de la junta con tiras de Tesa.
- Pintura previa de las superficies de adherencia de la junta con un material que corresponda a la pasta de relleno que se empleará.
- Se rodeará totalmente la junta con un cordón de material esponjoso, que no se adhiera a la pasta de junta. La pasta de relleno debe pegarse sólo en los flancos de la junta, y nunca fuera de ellos en un tercer lado, lo que impediría la dilatación y podría provocar la rotura de la pasta de junta. El cordón tiene que situarse exactamente a la profundidad que requiere el ancho de la junta. Por tal motivo se trasdosa posteriormente a base de piezas de material espumoso a pequeñas distancias entre sí.
- Inyección de la pasta de junta mediante una pistola. La punta de la tobera debe ser de dimensión adecuada al ancho de la junta. Después de inyectar la pasta de junta hay que alisarla inmediatamente con una espátula cóncava, ya que después de pocos minutos comienza la formación de la película.

Una vez alisada la superficie se quitan en seguida las cintas adhesivas. La pasta de junta sólo debe inyectarse a temperaturas de 5 a 40° C.

Juntas abiertas y ventiladas

Cuando todavía no se disponía de pastas de junta de elasticidad permanente, había que conseguir la estanquidad contra lluvia y viento de los elementos de fachadas prefabricados de hormigón mediante otros métodos constructivos.

Para las juntas horizontales la solución era fácil: Se las dejaba abiertas, con menos de 2 cm de espesor. La placa de encima se solapaba en una cierta medida sobre el canto superior de la placa de abajo. Con un escalonado con alturas de > 15 cm se podía llegar hasta la altura de los edificios elevados, pero por motivos

de seguridad se previó muchas veces una impermeabilización adicional.

Más difícil es cerrar las juntas verticales. El hecho de que se hayan propuesto una serie de soluciones, indica las dificultades del problema. En primer lugar se necesita una barrera contra la lluvia con cámara de aire abierta situada en la junta. La ventilación proporciona la compensación de presión entre el aire exterior y el aire de detrás de la barrera contra la lluvia. La poca agua de lluvia que a pesar de estas medidas puede haber penetrado, puede deslizarse hacia abajo por el espacio libre de la junta. En el lado posterior de este espacio hueco, delante de la capa de aislamiento térmico, se coloca todavía una barrera contra el viento, es decir, una tira de hoja metálica o de plástico, o de cartón bituminoso. En la ejecución de los revestimientos de hormigón la dificultad está en la ejecución de los flancos de la junta. Para poder colocar una franja de estanquidad, lo que se hace siempre después de acabar un piso desde arriba, habrá que disponer en los flancos de la capa exterior por lo menos dos perfiles en U. Los dispositivos de este tipo complican la producción de los elementos prefabricados y dan lugar muchas veces a trabajos posteriores y de reparación.

Desde que se han visto los buenos resultados que han dado las pastas de junta con elasticidad permanente, que posibilitan la protección de la fachada en el punto más importante, es decir en la superficie, las juntas abiertas y con cámaras de aire han ido dejando de emplearse.

En la ejecución de las juntas horizontales, en cambio, se ha conservado en general el escalonado como un seguro adicional.

Montaje de piezas prefabricadas de hormigón celular

El hormigón celular (ya estudiado en el capítulo sobre los ladrillos o aglomerados de hormigón ligero; pág.) también es apropiado para mayores elementos con armadura. Teniendo un peso de cálculo pequeño (incluidas la armadura y la pasta de junta, 720 kg/m³ para GSB 35; y 840 kg/m³ para GSB 50) pueden colocarse con la ayuda de ligeros aparatos de transporte y elevadores; incluso los elementos pequeños pueden colocarse a mano. Las tolerancias de fabricación de ± 3 mm respecto a la longitud y el ancho y los coeficientes de conductibilidad calorífica entre $\lambda = 0,17$ y $\lambda = 0,22$ son un poco más desfavorables que en los elementos corrientes para trabajos intensivos. Además, mediante los elementos de pared de medidas especiales a tamaño de habitación pueden fabricarse superficies de pared totalmente sin juntas, o por lo menos sin juntas visibles desde el interior. Debido al proceso de fraguado, acelerado mediante endurecimiento por vapor, la contracción posterior de aproximadamente 15 mm/m incluso en los grandes elementos no tiene importancia. La dilatación térmica, de 0,8 mm/m como máximo, queda un poco por debajo de la del hormigón.

Al lado de un buen aislamiento térmico y una buena resistencia al fuego (retardador del fuego F 30 con ≥ 5 cm, resistente al fuego F 90 con ≥ 10 cm

de alta resistencia al fuego F 180 con ≥ 15 cm de espesor, siempre sin revoque, los elementos de hormigón celular no son suficientemente aislantes del sonido, debido a su poco peso y su alta rigidez a la flexión. Se debe compensar esta deficiencia mediante medidas adecuadas en los elementos afectados.

Para las fachadas de hormigón celular hay que tener en cuenta que en efecto tienen una baja humedad de equilibrio contra la transmisión del vapor de sólo 3-5 vol. de 0, porque sólo tienen un pequeño coeficiente de resistencia a la difusión, de $\mu = 3-6$. Por este motivo los cuartos de baño deberían situarse en el interior de la planta y las cocinas deberían equiparse con campanas extractoras y poder airearse bien. Si no puede evitarse una gran humedad del aire detrás de las paredes de fachada (como por ejemplo en la industria textil), es necesario prever una capa de pintura que proteja contra el vapor en la cara interior de la pared. Las fachadas se pintan sólo con capas hidrófugas, pero nunca se pintan o emplastecen para formar barreras contra el vapor, a no ser que no se empleen en el interior elementos de varias capas o cuando, debido a las extremas condiciones de humedad, resulta más favorable una pared revestida por ambas caras con un

revestimiento ventilado por detrás. La facilidad de colocación del material es una ventaja, pero su superficie sin protección ofrece sólo poca resistencia a las acciones mecánicas.

Elementos constructivos

Para paredes portantes y no portantes, para forjados de pisos y cubiertas la industria de la construcción (Siporex, Ytong, Hebel) proporciona elementos prefabricados de distintas dimensiones y capacidades de carga. A causa de las diversas solicitaciones de todos los elementos de la estructura se los estudiará detalladamente exponiendo para cada uno las condiciones que debe cumplir.

Fachadas portantes y no portantes

Paneles de un piso de altura

Las paredes exteriores pueden estar formadas por placas que tengan la altura de un piso, o sea 2,50-3,00 m. La ventaja de estos elementos de pared es que la placa sola, con su peso promedio de ~ 150 kg, puede cargarse a mano y llevarse con vehículos especiales hasta pie de obra. Pero es preferible y más racional para obras de gran extensión el empleo de grúas ligeras (p. ej. grúas-camiones).

Gracias al excelente aislamiento térmico de estas placas basta con dar a las paredes portantes exteriores un espesor de 15 cm, para las fachadas menos expuestas al viento y a los elementos, y 17,5 cm para las que están más expuestas a los mismos. A pesar del escaso espesor, estas paredes presentan, una vez que las placas están bien unidas con sus juntas rellenas, una notable resistencia.

Placas horizontales

En lugar de las placas verticales que ocupan todo el piso en altura, pueden utilizarse para fachadas portantes placas colocadas horizontalmente, pero debe ponerse especial atención en el hecho de que el espesor mínimo de tales paredes es de 24 cm. Dichas piezas horizontales pueden suministrarse y colocarse con dimensiones hasta de 5,50 o 6 m de largo por 1,50 de alto, aunque por lo común suelen ser fracciones de éstas las más utilizadas; de cualquier manera puede llegarse a pesos de 1,5 Tm que exigen grúas bastante más potentes para el transporte y colocación. Por el momento se prefieren las longitudes normales que se han impuesto en la demanda cotidiana. Por otro lado se seleccionan medidas que sean múltiplos de 25 cm.

La utilización de estos elementos presenta la ventaja de que las paredes pueden levantarse todavía más deprisa que con los paneles-placas verticales portantes. Son apropiadas en preferencia para el revestimiento o cerramiento exterior en edificios de montaje por piezas con estructura en entramado de acero u hormigón armado prefabricado.

Dinteles y montantes de puertas y ventanas

Lo lógico en el sistema de paneles o placas prefabricados es que incluso los refuerzos de huecos vengan como piezas dimensionadas y armadas exactamente, desde la fábrica, a fin de evitar el trabajo artesanal.

Catálogo de elementos prefabricados de hormigón gaseoso.

Clase del material	GSB	35	50
Densidad (kg/m³) máx. (secado a 105°C)	550	650	650
Peso de cálculo incluida la armadura y la pasta de junta según DIN 4223	720	840	840
Obra de fábrica con junta o sin ella	650 ¹⁾	780 ¹⁾	780 ¹⁾
Coef. de conductibilidad calorífica (kcal/mh°) según DIN 52612 (λ seco = 30% de suplemento por humedad)	λ R	0,15	0,175
Coef. de conductibilidad calorífica (kcal/mh°) según DIN 4108 y documentos de aprobación	λ DIN	0,175	0,225
Resistencia a la compresión (kg/cm²) valor medio	35	50	50
Coefficiente de dilatación térmica 7 x 10 ⁻⁶ °K m/m			
Retracción aprox. 0,14 mm/m			

¹⁾Solo losas de pared p de la altura de los pisos (sin junta)

²⁾Losas de cubierta y techo, debido a su mayor armadura

Paredes de la caja de escalera

Las viviendas plurifamiliares deben presentar una amortiguación acústica que, según la norma DIN 4109, en el hormigón gaseoso (por ejemplo B-35) de peso específico 720 kg/m³ sólo se conseguiría con una pared de 42,5 cm de espesor y revoque por ambos lados. Como la amortiguación del sonido aéreo en paredes homogéneas depende del peso, quedan enfrentadas la ventaja de un buen aislamiento térmico con la desventaja de un mal aislamiento acústico, lo cual ocasiona un aumento de grosor en las paredes de cajas de escalera y medianeras. Sólo pueden lograrse resultados satisfactorios empleando paredes de varias capas.

Catálogo de elementos prefabricados de hormigón gaseoso²⁾

Dimensiones			Peso kg/m²		Resistencia a la transmisión térmica 1/00		Coef. de transmisión térmica A	
Longitud o Altura	Ancho	Espesor	GSB 35	GSB 50	GSB 35	GSB 50	GSB 35	GSB 50
Elementos de pared								
Altura a tamaño piso Portantes								
300	50	12,5	81	98	0,71	0,56	1,11	1,33
	60	15,0	98	117	0,86	0,67	0,95	1,16
	62,5	17,5	114	137	1,00	0,78	0,84	1,03
		20,0	130	156	1,14	0,89	0,75	0,93
		22,5	146	176	1,29	1,00	0,68	0,84
		25,0	163	195	1,43	1,11	0,62	0,77
	30,0	196	235	1,72	1,33	0,57	0,71	
Elementos de pared								
Altura a tamaño piso no portantes								
300	50	7,5	49	59	0,43	0,33	1,61	1,92
	60	10,0	65	78	0,57	0,44	1,32	1,57
	62,5	12,5	81	98	0,71	0,56	1,11	1,33
		15,0	98	117	0,86	0,67	0,95	1,16
		17,5	114	137	1,00	0,78	0,84	1,03
		20,0	130	156	1,14	0,89	0,75	0,93
	22,5	146	176	1,29	1,00	0,68	0,84	
	25,0	163	195	1,43	1,11	0,62	0,77	
Elementos de pared								
horizontales verticales no portantes								
300	50	7,5	54	63	0,43	0,33	1,61	1,92
400	60	10,0	72	84	0,57	0,44	1,32	1,57
500	62,5	12,5	90	105	0,71	0,56	1,11	1,33
600	120	15,0	108	126	0,86	0,67	0,95	1,16
600	150	17,5	126	147	1,00	0,78	0,84	1,03
600	180	20,0	144	168	1,14	0,89	0,75	0,93
600		22,5	162	189	1,29	1,00	0,68	0,84
600		25,0	180	210	1,43	1,11	0,62	0,77
Elementos de pared								
a tamaño habitación no portantes								
600	300	15,0	110		0,86		0,95	
		17,5	128		1,00		0,84	
		20,0	146		1,14		0,75	
		22,5	164		1,29		0,68	
		25,0	182		1,43		0,62	
		30,0	220		1,72		0,57	
Elementos de forjado para pisos y cubiertas								
250	50	7,5	54	63	0,38	0,33	1,77	1,92
350	60	10,0	72	84	0,50	0,44	1,45	1,57
400	62,5	12,5	90	105	0,63	0,56	1,23	1,33
15,0		108	126	0,75	0,67	1,06	1,16	
17,5		126	147	0,88	0,78	0,94	1,03	
20,0		144	168	1,00	0,89	0,84	0,93	
600		22,5	162	189	1,13	1,00	0,76	0,84
600		25,0	180	210	1,25	1,11	0,69	0,77

²⁾Los valores difieren según el fabricante

A causa de la escasa resistencia a compresión del hormigón celular hay que contar con eventuales problemas estáticos, sobre todo en la caja de escalera y la entrada, en casas de hasta tres pisos, que suelen solventarse usando materiales más resistentes como ladrillo u hormigón armado. Esta clase de estructuras mixtas deben, sin embargo, procurar evitarse.

Paredes de separación entre viviendas

Al igual que las cajas de escalera, las medianeras o paredes de separación entre viviendas deben cumplir los requisitos de la norma DIN 4109. Las paredes dobles con cámara de aire son especialmente adecuadas por su construcción simétrica para utilizarlas en las casas alineadas, entre cada dos viviendas. A efectos acústicos es indiferente en cuál de los dos lados se ha colocado una capa antepuesta, pero de cualquier modo hay que tenerlo en cuenta en el replanteo de la planta, a fin de ajustar las medidas compensando.

Paredes de separación entre habitaciones

Para las paredes de compartimentación que no deben cumplir requisitos especiales en cuanto a amortiguación acústica se utilizan paneles de hormigón gaseoso GSB 35 de 7,5 cm, o mejor de 10 cm de espesor.

Paredes cortafuegos

El hormigón celular o gaseoso presenta una elevada seguridad contra el fuego puesto que con sólo 15 cm de espesor ya cumple con todos los requisitos. A causa de su deficiente amortiguación acústica es necesario, en paredes medianeras, construir una pared doble formada por dos capas de hormigón celular de 15 cm cada una, separadas por una cámara de aire de 2 ó 3 cm, o bien construir una pared de hormigón celular de 20 cm con una capa antepuesta por uno de los lados.

Forjados de piso

También pueden construirse forjados de piso y de cubierta a base de placas de hormigón celular de hasta 5 m de longitud. En especial para sótanos y cubiertas que necesitan mayor aislamiento térmico, las placas armadas de hormigón gaseoso GSB 50 resultan muy adecuadas para los edificios de dos o tres plantas. Los forjados a base de placas armadas o losas discontinuas hormigonadas "in situ" constituyen la estructura más estable, pero tienen el inconveniente de no cumplir con la exigencia de empleo de la mínima humedad posible.

Las paredes exteriores en cada piso deben arriostrarse mediante un zuncho perimetral de hormigón armado. En edificios de varias plantas dicho zuncho deberá armarse, como mínimo, con 2 redondos $\varnothing$ 12 mm. Los forjados de losas hormigonadas "in situ" deben llevar esta armadura incorporada; para impedir que se forme una zona "indefensa" térmicamente debe recubrirse exteriormente el espesor del forjado con una placa de hormigón celular de 5 cm.

Tanto si se utilizan forjados nervados prefabricados como placas armadas, el zuncho perimetral debe quedar por debajo del apoyo del forjado. Para edificios en planta baja basta disponer a modo de zuncho un solo redondo $\varnothing$ 12 mm que se coloca por dentro de la ranura superior de las placas.

Tipología estructural

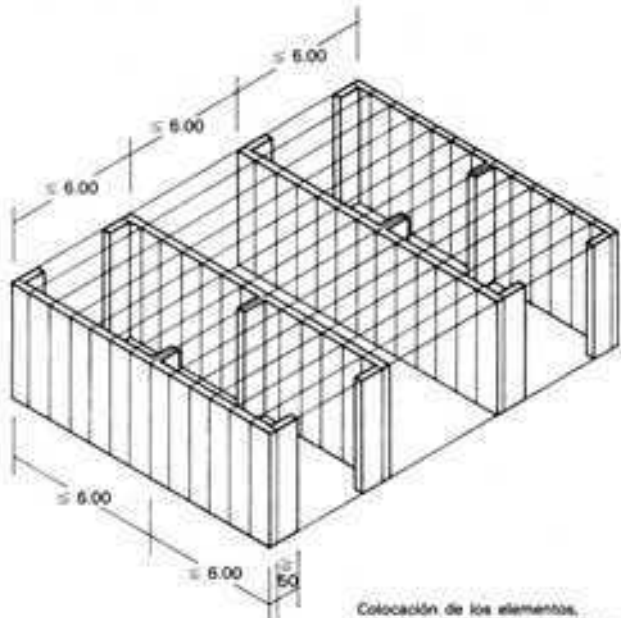
Cuando se quieren construir edificios enteramente a base de placas de hormigón celular, se plantea seriamente, según el propósito concreto del proyecto, qué tipo o sistema estructural es el más adecuado.

Cuando se trata de casas en planta baja no hay cargas importantes y puede adoptarse indistintamente el tipo de fachadas portantes o paredes de carga perpendiculares a la fachada. En casos de dos, y sobre todo de tres pisos, la composición en fachada, y en especial las aberturas, se ven afectadas en sus dimensiones al ir los forjados apoyados en la fachada y muros portantes, paralelos a ella. Dada la anchura de las placas, que es de 50, 60 ó 62,5 cm, existe para las aberturas la limitación de adaptarse a este módulo para utilizar racionalmente el material, de suerte que sus medidas deberán ser: 1 m, 1,50 m, 2,00 m, etc. Si se piensa aplicar un revoque puede jugarse también con piezas fraccionarias, cuya anchura mínima deberá ser 20 cm para ganar un poco de libertad de composición.

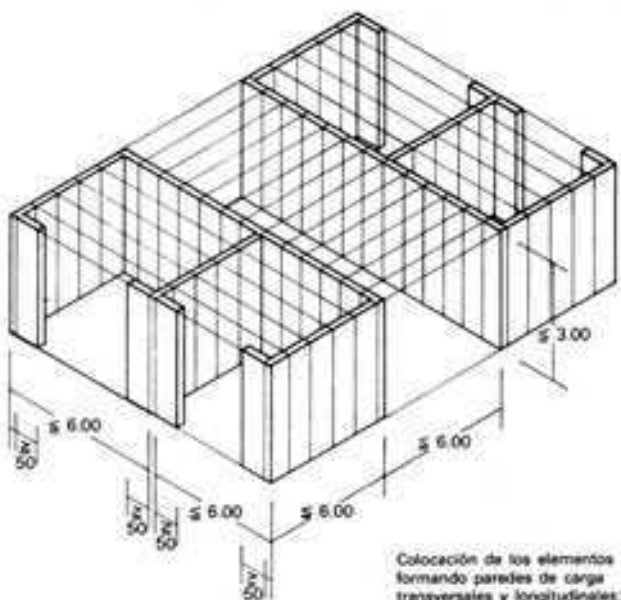
Hay que tener en cuenta que todo aumento en la anchura de las aberturas repercute en un aumento del canto del dintel que las remata por encima. Así, considerando que la altura de un piso es de 2,50 m, una abertura de 2 m de anchura se ve rebajada en 50 cm por ser éste el ancho de la placa-dintel horizontal, lo cual es desagradable desde el interior porque resulta opresivo visualmente. Encargando al fabricante piezas especiales se puede rebajar la anchura del dintel para aberturas menores hasta 25 o 32 cm.

Estas limitaciones pueden obviarse si se adopta la modalidad de construcción con paredes de carga perpendiculares a las fachadas. Las paredes de carga cruzan entonces transversalmente el edificio sin que se practiquen en ellas más que, a lo sumo, una o dos aberturas para puertas de paso. Las paredes de fachada sólo deben aguantar su propio peso y permiten, por este motivo, mayores aberturas. Por otra parte esto facilita la creación de balcones y galerías, mientras que hacerlo en voladizo cuando las

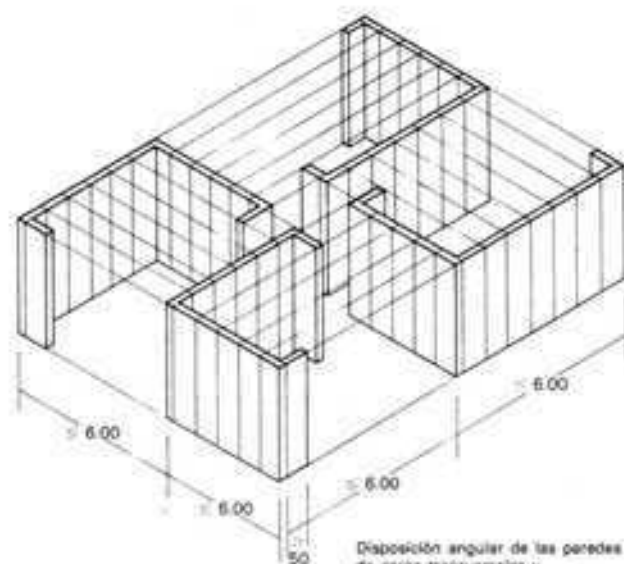
SISTEMAS DE ESTRUCTURA PORTANTE POR MONTAJE DE PIEZAS PREFABRICADAS DE HORMIGÓN CELULAR



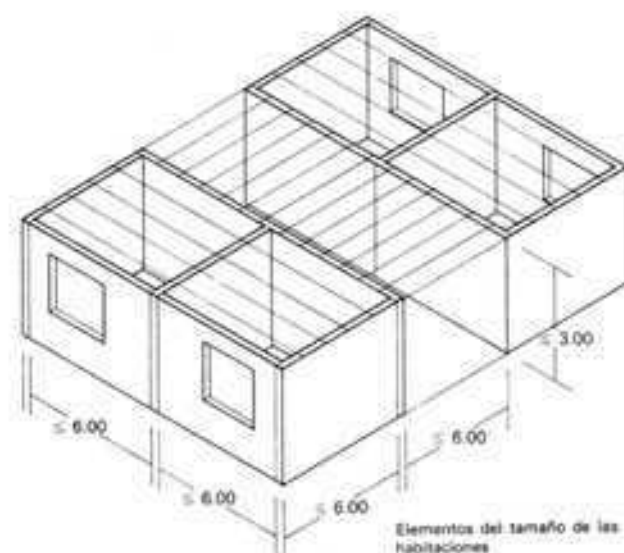
Colocación de los elementos formando paredes de carga transversales y longitudinales; rigidez mediante los jumbos de las puertas.



Colocación de los elementos formando paredes de carga transversales y longitudinales; rigidez mediante los jumbos de las puertas.

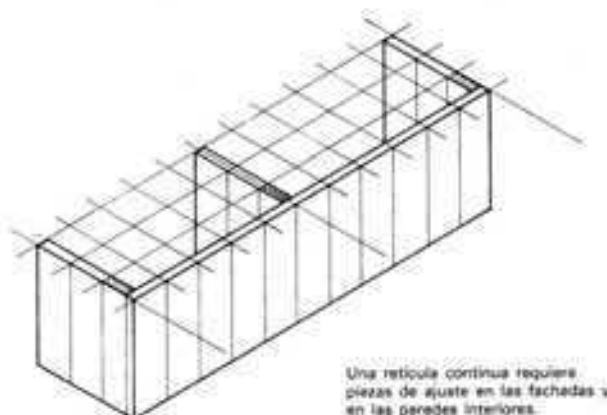


Disposición angular de las paredes de carga transversales y longitudinales; los extremos de las paredes quedan reforzados por los lenzos de pared perpendiculares que se unen a ellos.



Elementos del tamaño de las habitaciones

Juntas de los elementos en una red reticular



Una retícula continua requiere piezas de ajuste en las fachadas y en las paredes interiores.

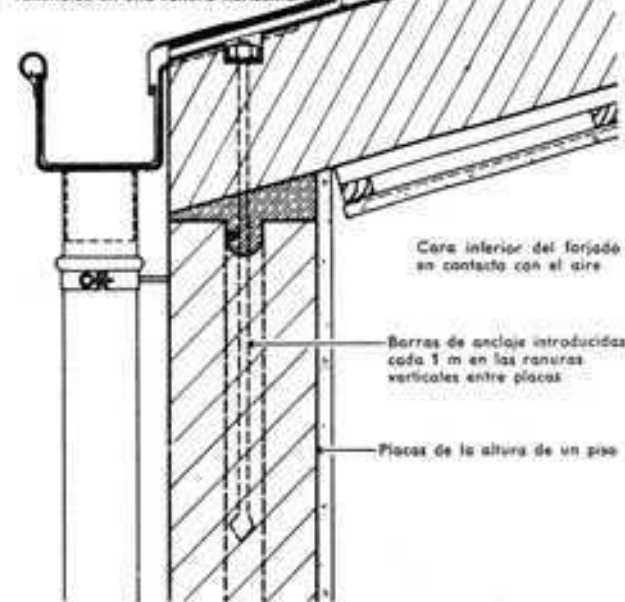


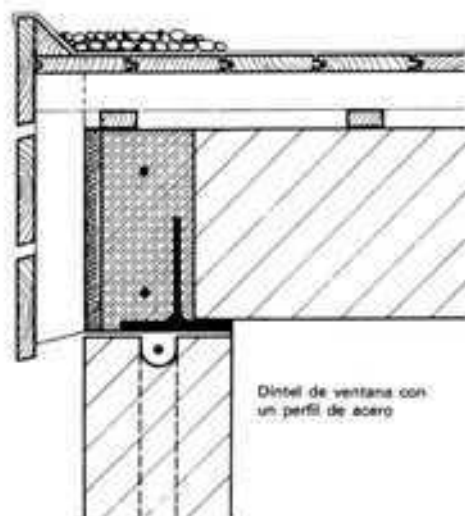
La adopción de una retícula de franjas evita las placas de ajuste en las fachadas y sólo las requiere en las paredes interiores.

fachadas son resistentes ocasiona muchas dificultades y hace casi inevitables las grietas o "puentes térmicos". Naturalmente, hay que tener muy en cuenta desde el principio del proyecto que va a trabajarse con piezas moduladas y hay que partir de un reticulado de 50 x 50, 60 x 60 ó 62,5 x 62,5 cm. Como quiera que este módulo resulta muy rígido, nunca se podrá prescindir de las piezas fraccionarias. La experiencia demuestra, sin embargo, que el número de piezas especiales puede limitarse a un 4 ó 5 %. El fabricante suele estar conforme en suministrar dicho número sin aumento de precio. Como edificios cuyo programa permite su construcción totalmente a base de placas portantes de hormigón celular cabe citar las oficinas y viviendas de dos plantas, aunque por su precaria amortiguación acústica son preferibles para viviendas unifamiliares de uno y dos pisos. Los acabados e instalaciones de los edificios levantados exclusivamente con placas de hormigón celular deben llevarse a cabo de manera artesanal, al igual que en los edificios construidos según sistemas tradicionales. Las instalaciones se colocan como de costumbre, así como los cerros o marcos de las ventanas y puertas, o sea tomando medidas en obra, etc. En el equipamiento del baño y la cocina es posible, no obstante, cierta prefabricación en gran serie.

ARMADURA DEL ZUNCHO PERIMETRAL ϕ 12 INTRODUCIDO EN RANURA HORIZONTAL REHUNDIDA, PARA INCLINACIONES DE CUBIERTA HASTA 30° EN EDIFICIOS DE UNA SOLA PLANTA

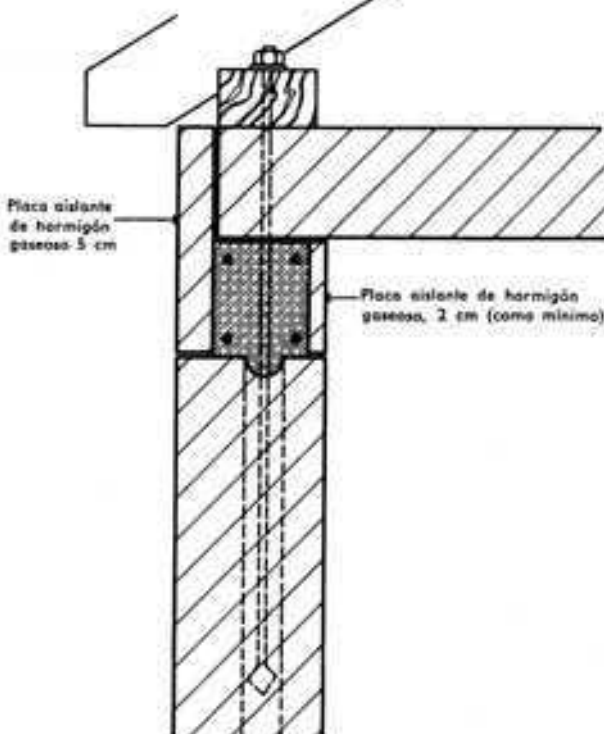
Sujeción del canalón de desagüe mediante un clavo de hierro forjado rehundido en una ranura horizontal





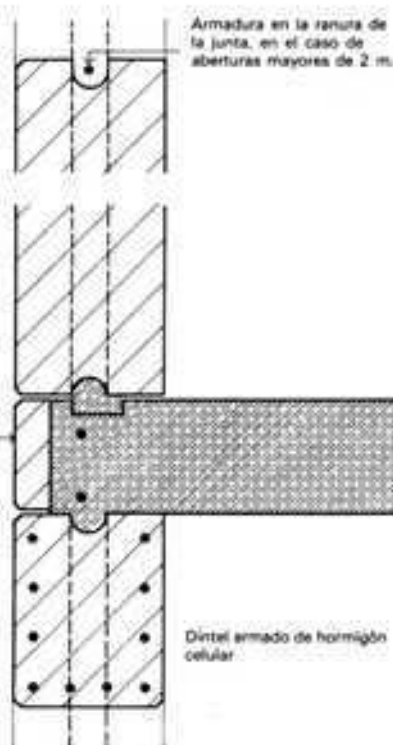
Dintel de ventana con un perfil de acero

ZUNCHO PERIMETRAL DE HORMIGÓN ARMADO EN EDIFICIOS DE VARIAS PLANTAS CON FORJADO DE PLACAS DE HORMIGÓN GASEOSO Y UNA INCLINACIÓN DE CUBIERTA $\geq 30^\circ$



Placa aislante de hormigón gaseoso 5 cm

Placa aislante de hormigón gaseoso 2 cm (como mínimo)



Armadura en la ranura de la junta, en el caso de aberturas mayores de 2 m.

Placa aislante de hormigón celular dispuesta delante de un forjado de hormigón armado, con zuncho perimetral

Dintel armado de hormigón celular

Puesta en obra

La puesta en obra comprende todas las piezas suministradas por el fabricante de acuerdo con la lista de placas en despiece que le habrá entregado el arquitecto a partir de su proyecto. Si se quiere construir de manera racional y rápida, es necesario distribuir el almacenaje de las distintas piezas alrededor del edificio de manera que no haya que recorrer distancias importantes para utilizarlos. Asimismo, la naturaleza delicada de las piezas hace aconsejable amontonarlas cuidadosamente y protegerlas de la lluvia con un toldo, cobertizo o lona. También durante el transporte, descarga y almacenamiento las piezas pueden sufrir desperfectos a causa de su escasa resistencia a compresión. Los posibles desperfectos en las aristas y vértices se deben corregir antes de la puesta en obra utilizando mortero compuesto por 1 parte en volumen de cemento y 3 de arena fina (grano máximo 1 mm). Si las placas no van revocadas se intentará conseguir el color claro del hormigón celular-siporex utilizando la siguiente mezcla:

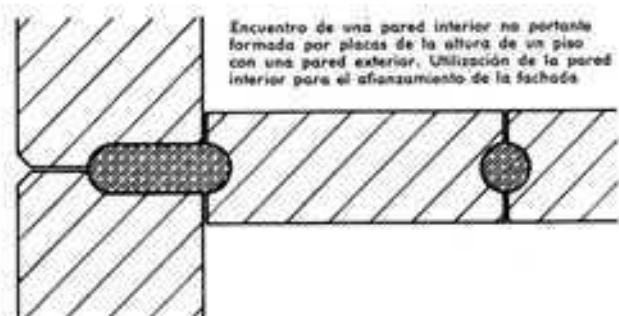
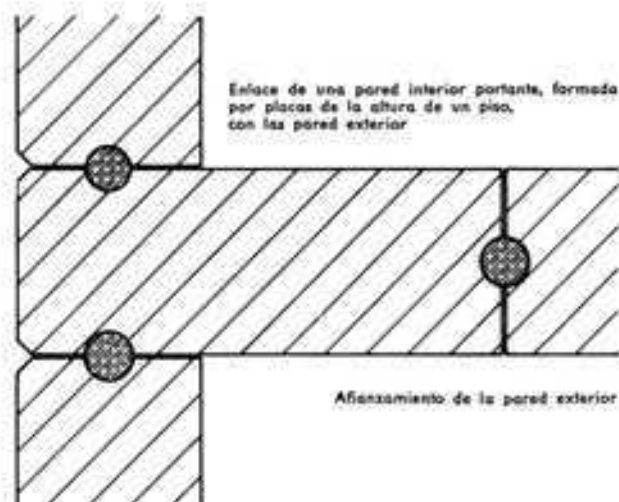
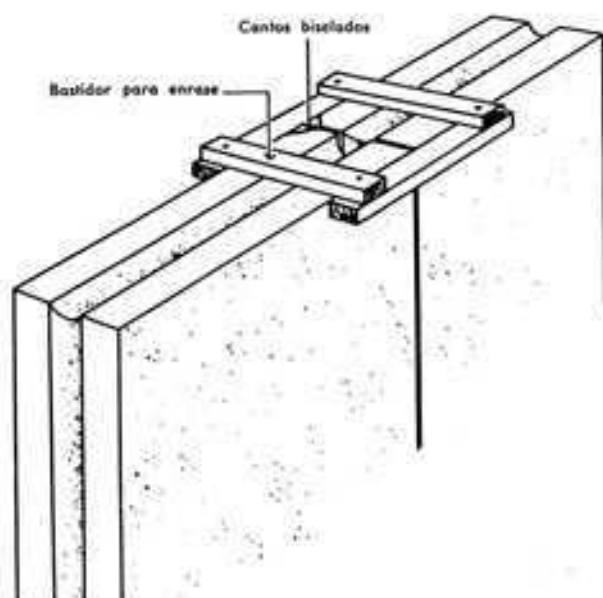
- 1 parte cemento Portland PZ 275 o 375.
- 2 partes cemento blanco (Dyckerhoff, en Alemania).
- 3 partes de arena fina (granulometría 0-1 mm).
- 6 partes de polvo de Siporex (granulometría 0-2 mm).

Antes de la puesta en obra se biselan los cantos de las placas con un cepillo especial por la parte exterior (y, eventualmente, la interior) de modo que queden claramente identificadas y, una vez colocadas, se pueda visualizar su despiece, lo cual ayuda a expresar la condición constructiva del edificio como una articulación compleja de múltiples piezas.

La colocación de las placas empieza por un ángulo. Las piezas de la altura de un piso se alinean con unos tabloncillos-guías y, mediante los llamados "jinetes" o bastidores rectangulares de madera, se fijan en prolongación cada dos contiguas hasta que el relleno de las ranuras se ha endurecido por completo. La anchura real de las placas es 2 ó 3 mm inferior al módulo del despiece para permitir la compensación de pequeñas irregularidades. Las placas deben estar fuertemente unidas unas con otras antes de rellenar las ranuras, a fin de evitar que se ocasione un derrame del mortero y dé lugar a la formación de una rendija o puente térmico.

Los ángulos de las paredes se rigidizan mediante tres grapas embebidas en los cuartos de altura. Estas grapas se colocan rebajando 2 cm. por lo menos, la superficie y luego relleno de nuevo con mortero.

Al proceder al relleno, las ranuras verticales e inferiores actúan como un sistema de vasos comunicantes de manera que la mezcla fluida de mortero (composición 1 : 2 : 9) llena tanto las horizontales como las verticales sin burbujas de aire dando a todo el lienzo de pared la necesaria trabazón monolítica. El proceso de relleno se verifica del modo siguiente: primero se vierte en las ranuras una mezcla muy fluida hasta un tercio de la altura. Después, hasta los últimos 8 cm se vierte una mezcla entre plástica y fluida y, finalmente, estos 8 cm se hormigonan con el zuncho perimetral, de manera que se consiga una completa trabazón entre el zuncho y la pared. Para mejorar dicha trabazón se pasan, incluso, unos redondos cortos por las ranuras que se doblan incorporándose, a modo de estribos, en el zuncho o en la junta a tope del forjado.



ELEMENTOS DE PARED HORIZONTALES

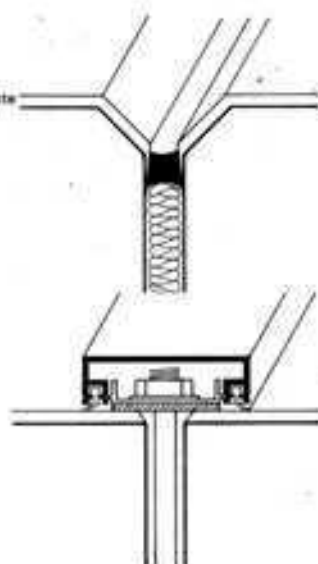
Juntas horizontales

Juntas verticales

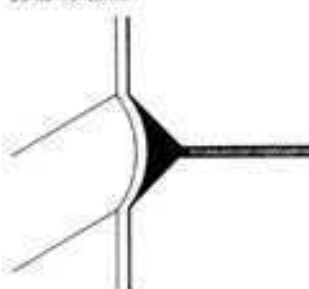


Releno posterior
Recubrimiento
Pasta de junta de elasticidad permanente

Listón de sujeción
Perfil de anclaje
Tira de estanqueidad
Recubrimiento



Junta horizontal

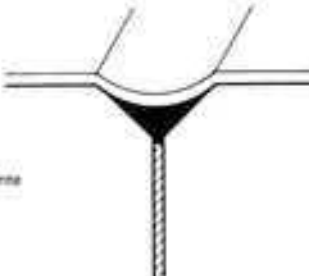


Juntas verticales



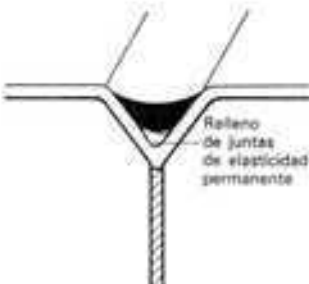
Recubrimiento

Capa de fondo
Emplastado previo
Capa de fieltro
Emplastado a presión
Pintura
Pasta de junta de elasticidad permanente
Mortero adhesivo



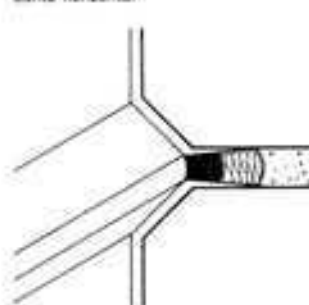
Pasta de junta de elasticidad permanente

Recubrimiento
Mortero adhesivo

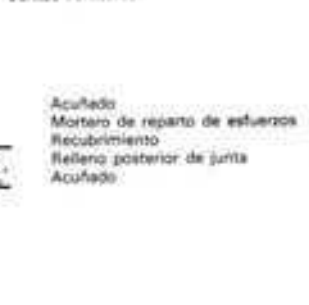


Elementos a tamaño habitación

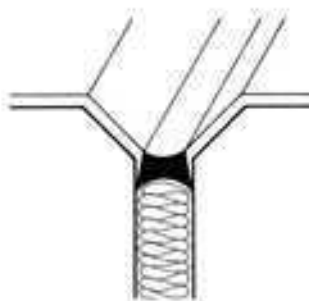
Junta horizontal



Juntas verticales



Recubrimiento
Relleno posterior de material elástico
Relleno de juntas de elasticidad permanente



Montaje con grandes paneles de hormigón armado

En cuanto a rigidez y resistencia, el hormigón normal y el armado superan en varias veces al hormigón gaseoso. Se comprende, pues, la conveniencia de utilizar este material tan eficaz para la construcción de elementos lo más grandes y fáciles de transportar posible.

Los sistemas de montaje en grandes piezas trabajan preferentemente con placas de gran tamaño para forjados y paredes, así como con otros elementos típicos como escaleras, etc. Algunos de los sistemas están patentados o protegidos.

El desarrollo de la construcción a base de grandes paneles comenzó después de la segunda guerra mundial en Francia, donde el Estado fomentó estas aspiraciones. Sobre todo los procedimientos de fabricación de las casas "Camus" y "Colignet" fueron los más importantes. Aparte de éstos, también en el Norte comenzaron construcciones de este tipo: la de la casa danesa "Larsen-Nielsen" es la más conocida en Alemania. También una serie de fabricantes alemanes, principalmente grandes establecimientos, han desarrollado sistemas propios.

El principio estructural es generalmente en todos los sistemas el mismo; las diferencias están en los detalles y muchas veces en la distinta ejecución de las juntas. La utilización del sistema de construcción por grandes paneles lleva implícitas una serie de consideraciones previas que exigen del arquitecto proyectista un cambio profundo en sus puntos de vista constructivos y compositivos.

Cuando se aborda el problema de la producción de un tipo de edificios hay que tender a conservar el número de moldes (esto es, de elementos distintos) lo más bajo posible, ya que la rentabilidad del sistema constructivo a base de grandes paneles descansa en dicha condición. Como máximo pueden, según cada patente, utilizarse un promedio entre 0,4 y 0,5 placas por m^2 de superficie útil. Para conseguir este objetivo hay que evitar en lo posible los diseños de planta simétrica así como las placas también simétricas. Las placas pensadas para una ordenación simétrica necesitan doble número de moldes cuando las mismas placas no se han previsto con sus dispositivos y aberturas para encajar simétricos. El objetivo del arquitecto debe ser, pues, que las placas y elementos puedan encajar en un máximo número de posiciones permitiendo la mayor variedad de disposiciones en planta. De todos modos puede lograrse, con un número limitado de moldes, por ejemplo los necesarios para una vivienda de dos habitaciones, llegar a formar viviendas de tres, cuatro y hasta cinco habitaciones.

El empleo de este sistema dificulta también la diferenciación de las plantas bajas, esto es, la distribución de las mismas en espacios aptos para tiendas, entradas amplias, etc. Para estas funciones resulta más práctico construir bloques bajos exentos o anejos.

Hay otro factor que influye en la configuración de la planta: la compacidad del material que constituye las placas, esto es, la impermeabilidad del hormigón. Por este motivo conviene situar los baños en el interior de la vivienda y las cocinas deben proveerse de un extractor encima del fogón. Incluso las salas de estar necesitan una renovación frecuente del aire que proporcionaban en buena medida las paredes "respirantes" de los sistemas tradicionales. A este fin deberían ponerse trampillas abatibles u hojas graduables en las ventanas, rejillas en las puertas interiores y otros conductos de ventilación.

Este sistema constructivo basado en placas de hormigón B 300 resulta ventajoso para edificios de varias plantas y singulares o altos, ya que cumpliendo el peso óptimo de $> 300 \text{ kg/m}^2$ para las fachadas y techos, establecido por consideraciones de aislamiento térmico y acústico, se obtienen en placas cuya resistencia es suficiente hasta para 15 pisos. En Francia, donde existen prescripciones para el hormigón armado menos severas que en Alemania, se ha llegado a construir con ellas edificios de 22 plantas (París).

El límite inferior para la rentabilidad de este material se fija en 4 pisos. El tiempo de ejecución y los costes en trabajos de obra quedan reducidos a la mitad de los correspondientes a sistemas tradicionales. Las casas de 4 y 5 pisos pueden construirse por completo en 4 meses. El proyecto, detalles de los moldes previs-

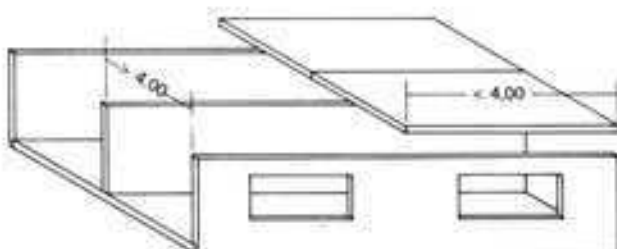
Elementos constructivos

En la fábrica pueden producirse los elementos constructivos con mayor exactitud de medidas, esto es, con menor margen de tolerancia que en las obras llevadas a cabo por métodos tradicionales. Destaca por su meticulosidad la firma danesa "Larsen & Nielsen". Los franceses sostienen la tesis de que resulta más económico no llegar a tales extremos de exactitud, dado que por ser inevitables ciertos retoques y trabajos en obra, es más práctico incluir en ellos el velar por la deseada exactitud.

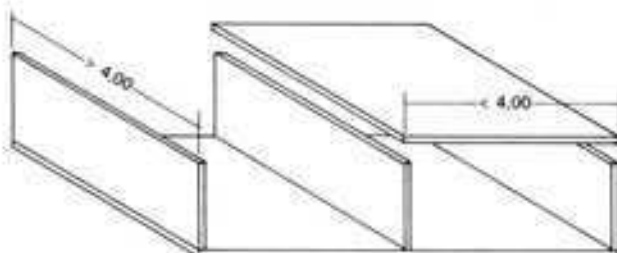
En el taller se equipan los elementos de manera completa, lo que quiere decir que los acabados, revoques, conductos, etc., se realizan desde la fábrica. Así, por ejemplo, las placas armadas para el forjado llevan incorporado un pavimento y conductos de calefacción, las placas de fachadas llevan incorporadas las ventanas y un revestimiento de losetas de gres y las paredes divisorias interiores llevan los marcos de las puertas y los cables de la red eléctrica empotrados. Aparte se fabrican las repisas con celdillas para instalaciones del baño y la cocina, así como sus pavimentos. También se prefabrican los peldaños de las escaleras, las barandas de balcones, antepechos, etc. Con ello quedan prácticamente todas las etapas de la construcción en una sola mano, a través de lo cual se garantizan los controles más intensos y se consigue la calidad y buen ajuste de todos los elementos. Con la utilización de elementos tan grandes adquiere capital importancia el tratamiento de las juntas, en especial de las exteriores, cosa que implica una serie de complejas medidas. El tamaño de los paneles o elementos viene condicionado por su correspondiente peso. Mediante grúas pesadas se trabaja hoy en día con pesos de 7 Tm (hay paneles para la construcción de industrias que alcanzan pesos todavía mayores). Los paneles se colocan en los camiones especiales por pares, ligeramente inclinados. La altura máxima que puede tener el vehículo con su carga viene también limitada por los pasos cubiertos o túneles que existan en el recorrido entre fábrica y obra, lo cual constituye otra premisa a tener en cuenta para dimensionar los paneles. En la mayoría de los casos se dan a éstos una anchura de 3,75 m como máximo, y una longitud de 6,50 m que viene también limitada por la del vehículo.

La modalidad estructural más apropiada es la de placas apoyadas por todos sus lados. En segundo lugar, el sistema escocés o de muros de carga perpendiculares a las fachadas. Las firmas francesas Camus y Coignet utilizan las placas apoyadas por cuatro lados (en casos excepcionales por tres), mientras que la patente danesa "Larsen & Nielsen" utiliza el sistema escocés, con lo cual consigue mayor libertad en la composición de fachadas. En ambas modalidades estructurales se aprovecha la ventaja de tener luces de carga iguales. Las diferencias mínimas de superficie que se acostumbra a dar en las distribuciones de viviendas sociales, complican y aumentan el número de moldes, dificultan la producción y no proporcionan, al reducir espacios, ningún ahorro significativo. En el sistema Camus, por ejemplo, puede dividirse una placa por la mitad sin necesidad de utilizar otro molde, quedando las dos placas resultantes disminuidas en el grosor de la pieza de carril empleada para separarlas. De todos modos hay que procurar conservar las placas lo más grandes posibles porque la colocación de una placa pequeña requiere igual de tiempo y trabajo de grúa que una grande.

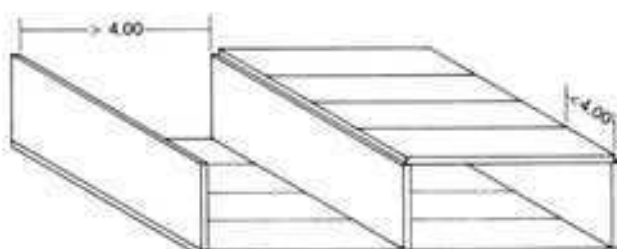
No es oportuno exponer con detalle en este libro la gran cantidad de sistemas, más de cincuenta, que se emplean por más de 100 empresas, incluidas las concesionarias de licencias. Muchas veces la única diferencia está en los detalles de ejecución de las juntas y en la composición de los elementos, en particular la de los de fachada. Para establecer una distinción característica se expondrán por esto a continuación sólo dos sistemas extranjeros, que también en Alemania han influido en alto grado, desde el principio, en el desarrollo de la construcción por montaje: el sistema "Camus" y el "Larsen & Nielsen". Aparte de éstos aún existen sistemas mixtos, por ejemplo el sistema sueco "Alfabeton". En estos sistemas se hormigona el conjunto de paredes y techos portantes in situ mediante los nuevos métodos mecáni-



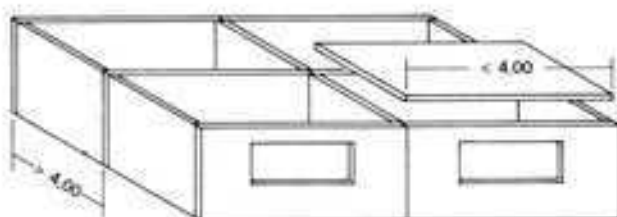
Tipo con paredes de carga longitudinales: La distancia entre las paredes es discrecional, pero el ancho de los elementos del techo está limitado a $< 4,00$ m debido a las condiciones de transportes.



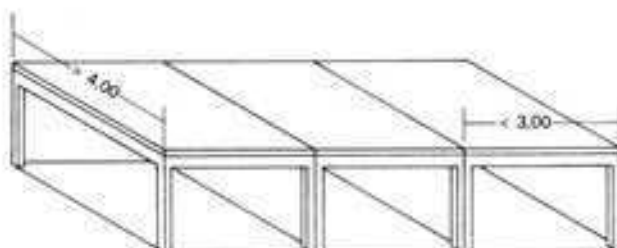
Tipo con paredes de carga transversales, con menor distancia entre las paredes, lo que permite elementos de techo a tamaño habitación.



Tipo con paredes de carga transversales, con gran distancia entre las paredes; es posible subdividir los elementos de techo.



Tipo con paredes de carga transversales y longitudinales; debido a las condiciones de transporte los elementos de techo a tamaño habitación deben tener $< 4,00$ m en una de sus direcciones.



Mayor flexibilidad en las dos direcciones de pared sólo se obtiene mediante construcción abierta de elementos celulares con una estructura de piers derechos y con las paredes como elementos divisorios no portantes.

zados de encofrado. La variedad en el acabado y en la estructuración de la fachada se consigue mejor mediante una serie de distintos elementos prefabricados de separación entre habitaciones y de fachada.

Estructura y ejecución

La estructura más favorable es aquella en que las losas de los techos se apoyan por los cuatro lados, y sólo después la estructura con paredes de carga transversales. Las empresas francesas, por ejemplo Camus y Coignet, trabajan con losas de techo apoyadas por los cuatro lados (en casos excepcionales, por tres lados); mientras el procedimiento danés Larsen & Nielsen dispone la estructura a base de paredes de carga transversales, es decir, que en él las fachadas no son de carga, lo que permite una mayor libertad en la composición de las paredes exteriores.

El sistema "Camus"

El estudio del sistema "Camus" ha sido realizado por el prof. von Halász, quien lo describe de la manera siguiente: "El sistema constructivo "Camus" a base de paneles prefabricados trabaja, como corresponde a su definición, con placas del tamaño de una habitación (paredes a toda altura y longitud y techos de una pieza) que forman edificios de uno o varios pisos al enlazarse. En sus piezas pueden ir incluidos los acabados e instalaciones (como pavimentos, revestimientos de paredes, conductos de calefacción y servicios, etc.). Las juntas de ensamble entre paneles discurren por las aristas de las habitaciones, de modo que sus superficies aparecen siempre lisas. Los paneles presentan un hueco a lo largo de sus bordes, por el que aflora la armadura que se rellena con hormigón.

Estáticamente el edificio no tiene esqueleto resistente sino que se comporta como un conjunto de placas o tablas rígidas superpuestas o yuxtapuestas (según se trate de placas de techo y pared).

Los edificios basados en superposición de placas pueden calcularse como estructuras prismáticas plegadas con los métodos de la teoría elástica. Como el sistema "Camus" se utiliza para viviendas o edificios similares, esto es, formados por recintos rectangulares abiertos lo más por una de sus caras, el cálculo puede realizarse como una típica estructura plegada, integrada por placas rectangulares de bordes indesplazables. En las juntas verticales es esencial el esfuerzo cortante, mientras que en las horizontales lo es el esfuerzo cortante, la compresión y, en edificios muy altos, la tracción.

Las solicitaciones a compresión se transmiten a través de las juntas horizontales rellenas de hormigón desde el núcleo de hormigón armado de la placa superior hasta el núcleo de hormigón armado de la placa inferior. El hormigón de relleno o puesta en obra debe resistir hasta 50 kg/cm². Como en la puesta en obra normal la junta tiene 11 cm de anchura, la fatiga a compresión, incluso en edificios altos, queda muy por debajo de aquel límite. De todos modos hay que comprobar mediante cálculo en cada caso.

En la operación del montaje los paneles de pared se colocan sobre una hilada previamente nivelada de ladrillos recochos y luego se rellena con mortero por debajo. Esta técnica del relleno de la junta inferior que durante decenios se ha ejecutado y que ha dado tan buenos resultados se efectúa en este caso con máquinas.

Sistema de montaje "Larsen & Nielsen"

Este sistema se basa en la modalidad estructural a base de paredes portantes perpendiculares a las fachadas. Las placas de los forjados se apoyarán en aquellas paredes disponiéndose paralelamente a las fachadas. Los empujes horizontales transversales son absorbidos por las paredes maestras, mientras que los longitudinales los absorbe una pared de arriostramiento longitudinal situada aproximadamente en el eje de la planta.

Todas estas paredes son de 15 a 18 cm. de espesor y se componen de hormigón de calidad B 300. Carecen de armadura. Tan sólo van armados los paneles con aberturas, en previsión de eventuales esfuerzos extras en el transporte y montaje.

Las paredes de cerramiento exterior son de 18 cm. de espesor y

no van cargadas. Se basan en el principio de las paredes compuestas, con las siguientes capas:

- 4,5 cm hormigón visto
- 5,0 cm poliestireno
- 8,0 cm hormigón armado

con lo que se obtiene un coeficiente de permeabilidad térmica $k = 0,69 \text{ kcal/m}^2 \text{ h}^\circ$. Las dos capas de hormigón están enlazadas mediante redondos de acero galvanizado o inoxidable. En los elementos de fachada se colocan los marcos y las hojas de las ventanas, incluyendo los vidrios, antes de su salida de fábrica. Los paneles de fachada se apoyan en ménsulas en voladizo que salen de las paredes portantes.

Las placas de forjado tienen un espesor bruto de 18 cm., presentan unos huecos en forma de tubos o cilindros y son siempre de hormigón B 300.

La luz máxima entre apoyos es de 5,5 m. Los tabiques de compartimentación interior son de 6 cm. de espesor y se componen de placas de un piso de altura, unidas con yeso, que se colocan en seco sobre el suelo.

Las escaleras, cuyos peldaños vienen acabados con superficie de terrazo o suelo de material plástico (cloruro de polivinilo) desde su salida de fábrica, se apoyan en rellanos o plataformas a su vez apoyadas, a través de ejones o topes, en las paredes portantes. Una lámina interpuesta de Neopreno se encarga de amortiguar el ruido de pisadas en las escaleras de viviendas.

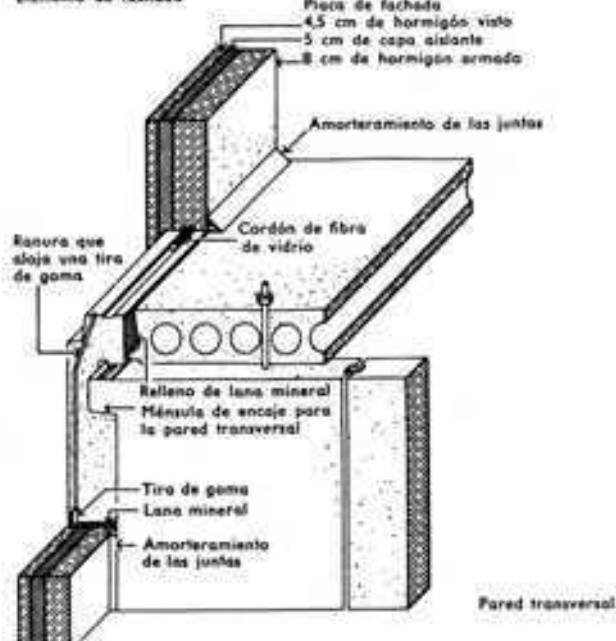
En la fábrica ya se colocan, incorporados a los paneles, los tubos de plástico para la instalación eléctrica, de modo que en la obra sólo hay que pasar los cables por dentro. Los manguitos de empalme de los tubos vienen hormigonados desde la fábrica y los conductos en su totalidad se dejan vistos por delante de la pared. Los suelos y paredes van revestidos con placas. Todas las aberturas —puertas— interiores, cualesquiera que sean las paredes, portantes o no, en las que se sitúan, llevan sus marcos colocados desde la salida de fábrica. La cubierta puede resolverse de diversas maneras. Se puede adoptar la llamada "cubierta caliente" plana, de una sola capa, la cubierta doble con cámara de aire e incluso una cubierta inclinada de teja.

La longitud máxima de los paneles de altura igual a la de un piso es de 3,50 m. y su peso, también máximo, es de 3,5 Tm. Los bordes verticales de los paneles portantes (perpendiculares a fachada) se unen con una junta que tiene forma de cilindro hueco en su interior y que se rellena de hormigón.

Las placas de forjado que se transportan en posición horizontal deben limitar su anchura a 2,50 para que su transporte pueda hacerse en un camión, sin necesidad de permiso especial de la Policía de Tráfico.

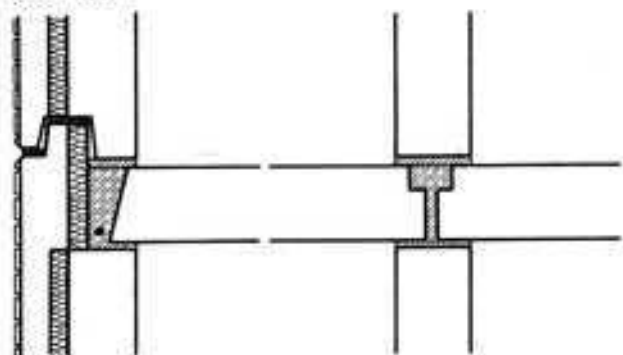
SISTEMA «LARSEN & NIELSEN»

Elemento de fachada

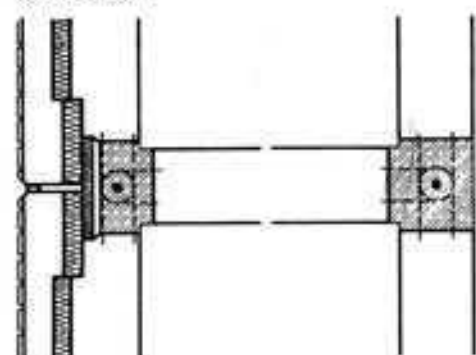


SISTEMA CAMUS

Sección vertical

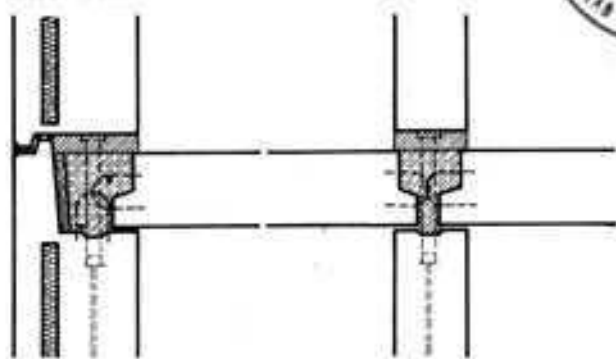


Sección horizontal

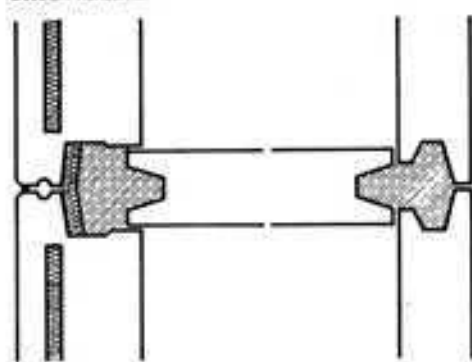


SISTEMA COIGNET

Sección vertical

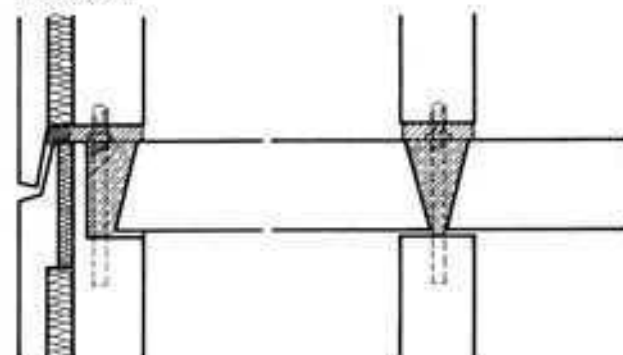


Sección horizontal

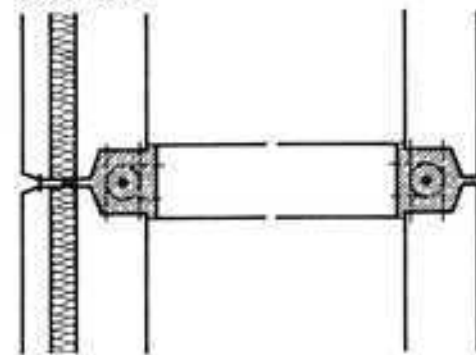


SISTEMA LARSEN & NIELSEN

Sección vertical

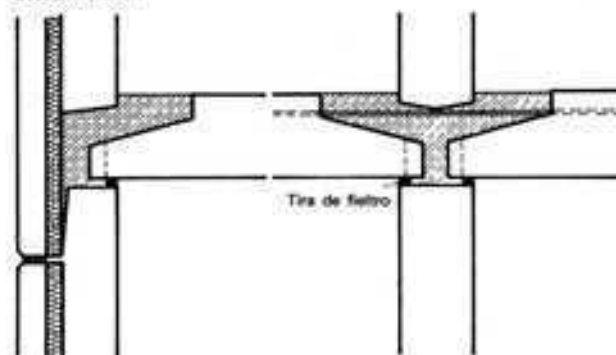


Sección horizontal

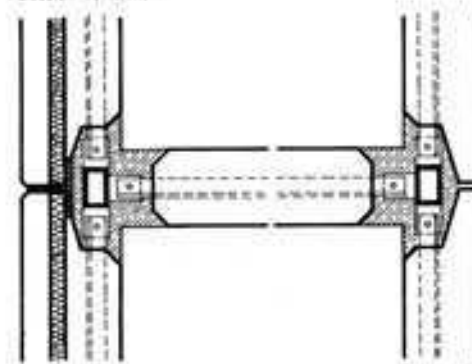


SISTEMA ESTIOT

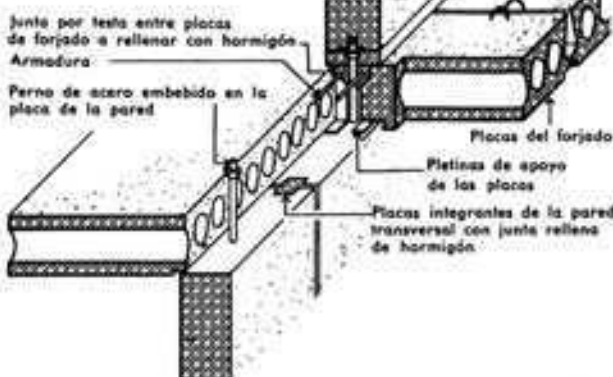
Sección vertical



Sección horizontal



Unión de las placas de forjado con una pared transversal



Los elementos se colocan uno a uno en la obra mediante grúas-torre móviles sobre carriles. Para viviendas de tipo medio se necesitan entre 35 y 42 paneles. En promedio puede decirse que se realizan 2 viviendas por día.

Construcciones de entramado

En las estructuras a base de paredes existen limitaciones relativamente grandes en la libertad de proyectar la planta y en el dimensionado de los locales, debido a la cooperación, estática necesaria, entre los elementos que forman un espacio. La función estática de las paredes portantes y de rigidización, así como la de los forjados, impiden modificaciones posteriores. Las construcciones de entramado nos liberan en gran parte de las precedentes limitaciones en la construcción de las paredes y ofrecen, sobre todo, muchas ventajas en aquellos edificios en que las necesidades de su utilización varían con frecuencia. Una armazón o esqueleto portante de rigidez suficiente permite la delimitación de locales que abarcan la superficie total de la obra y cuyo aprovechamiento o utilización sólo es ligeramente estorbada por esbeltas columnas o pies derechos.

La libertad para la compartimentación en planta exige, debido a las uniones de las paredes, techos y ventanas, normalmente, un determinado sistema de clasificación de los elementos para la estructura y los acabados.

Los elementos de pared, que sólo sirven de relleno, se fabrican de materiales ligeros, en algunos casos con buen aislamiento acústico y térmico. Incluso en las fachadas de construcciones de entramado pueden introducirse, anteponerse y desmontarse estos elementos según las necesidades. Las aberturas de las ventanas quedan limitadas en su ancho sólo mediante unos montantes delgados. Respecto a la altura pueden extenderse desde el suelo hasta el techo o borde inferior del dintel, respectivamente. En construcciones en voladizo pueden componerse fachadas enteras de vidrio.

El sistema de clasificación de las construcciones de entramado resulta muy apropiado para emplear elementos prefabricados en la obra gruesa y en el acabado, lo que significa un importante adelanto de la construcción.

Estas cualidades técnicas y económicas del sistema de construcción a base de entramados hacen que éste sea muy adecuado para los edificios de carácter industrial, por adaptarse a las necesidades de producción y almacenaje.

Las construcciones de entramado tienen buena aplicación, además de en las fábricas y almacenes, en todos aquellos edificios donde sea conveniente abundante luz y distribución variable de

las plantas o pisos, como ocurre, por ejemplo, en despachos, oficinas, comercios, instalaciones deportivas, etc., que cada vez adquieren más relieve e interés.

Tipos de entramado

Qué tipo de construcción sea el preferible para una obra, la construcción a base de paredes, de entramado, o tipo compuesto de estos dos, depende de las posibilidades de utilización previstas.

En muchos edificios ocurre que sólo se necesitan grandes locales y grandes superficies de ventanas en algunas de sus plantas o partes, destinadas, por ejemplo, a tiendas, despachos, talleres, etc. En tales casos puede resultar más económico combinar los dos tipos de construcción a base de paredes y de entramados. Las formas de tipo mixto parten de obras a base de paredes en que algún lienzo de pared es sustituido por marcos o pórticos de pilares con jácenas.

Existen muy pocas construcciones hechas puramente a base de entramados, ya que las funciones corrientes de un edificio y las prescripciones constructivas requieren algunas paredes, como mínimo, en los núcleos de rigidización donde se ubican las cajas de escalera y locales secundarios. Además, resulta más económico aprovecharlas, junto con los techos, para la rigidización de la obra, que asegurar la estabilidad del entramado sólo mediante uniones rígidas y riostras diagonales.

La elección del material para la estructura portante en la construcción de entramado depende no sólo de criterios económicos prácticos y de forma, sino también de las exigencias impuestas a la construcción, por la utilización del edificio.

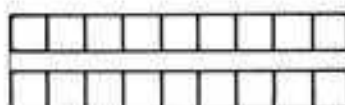
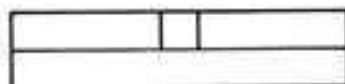
Estructura estática

Con cualquier clase de materiales, la estructura del entramado resistente es fundamentalmente la misma. Un entramado se compone de pilares o pies derechos y vigas principales o jácenas, que son los elementos que asumen la función de las paredes de carga en el sostenimiento de pisos y techos. Pies derechos y jácenas forman estructuras portantes. Sus uniones se denominan nudos. Los nudos pueden hacerse articulados o rígidos. Las cargas útiles que gravitando sobre los pisos son soportadas por las vigas y los pesos propios de los pisos y vigas van a parar en cada planta a los nudos de unión con los pilares y por éstos y sus cimentaciones son transmitidos al terreno firme. Los grandes pesos, por ejemplo los de las paredes colocadas paralela o transversalmente respecto a la dirección en que actúan las jácenas, deben transmitirse a través del forjado o de vigas secundarias a las jácenas.

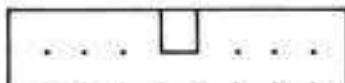
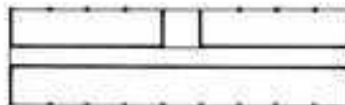
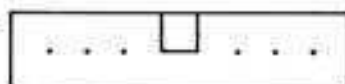
Sistemas de estructuras sustentantes

La estabilidad de un entramado portante requiere además unas medidas adicionales. Sólo puede garantizarse mediante una suficiente rigidización espacial en, como mínimo, tres planos perpendiculares entre sí, que puede conseguirse mediante losas o riostras en los planos de paredes y techos, mediante pilares empotrados y vigas continuas, así como mediante nudos rígidos. Las uniones de elementos en forma de barra, como pies derechos y jácenas, deben considerarse siempre si no se toman medidas especiales e independientes del material de construcción, estáticamente como articulaciones más o menos elásticas. La ejecución de nudos rígidos no sólo requiere mayores dificultades constructivas y mayores dimensionados de cada uno de sus elementos, sino también significa unos cálculos más difíciles al tratarse de estructuras hiperestáticas.

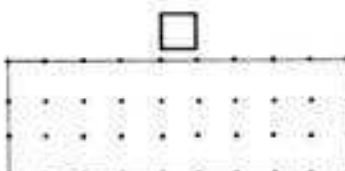
Construcción a base de paneles



Construcción de tipo mixto



Construcciones de entramado



Jácnas sobre pilares pendulares

Cuando pilares y jácnas están unidos en sus extremos en forma tal que se impiden los desplazamientos, pero que la unión permite un cierto giro y es elástica, hablaremos de pilares pendulares o con nudos articulados.

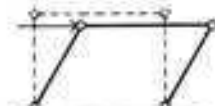
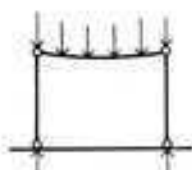
Esta unión está en condiciones de transmitir a otros elementos las fuerzas axiales y transversales, que se producen en una barra, pero no puede transmitir momentos flectores. Cuando se quieren pilares lo más esbeltos posible, no deben enlazarse a un sistema de pórticos mediante nudos rígidos, sino que deben disponerse como pilares pendulares.

Pero en la práctica de la construcción, los nudos que se consideran articulados no son siempre articulaciones perfectas. En las construcciones de acero se considera como articulación la unión de una jácena a un pilar, aun haciéndola por medio de una escuadra de hierro fijada con tornillos. También en la construcción en hormigón armado se considera la unión, vertido sin junta, entre jácena y pilar con la simple armadura de los dos elementos (sin armadura adicional de nudo) como una articulación. Mediante esta hipótesis puede simplificarse mucho el cálculo. El pequeño empotramiento que en realidad siempre existe en tales articulaciones, tanto en las construcciones de acero como en las de hormigón armado, aumenta aún algo el grado de seguridad de la construcción.

Los pies derechos o apoyos pendulares de las partes exteriores tienen que absorber además parcialmente las presiones del viento que horizontalmente se ejercen sobre ellos y que pueden transmitir a sus extremos, es decir, a las articulaciones de sus cabezas y sus pies. En tal caso trabajan no sólo bajo la compresión axial sino también como vigas apoyadas en dos puntos solicitadas por flexión.

Para absorber los esfuerzos horizontales producidos por la presión del viento durante la construcción de la obra (y luego una vez terminado el edificio), y para conducir tales esfuerzos al terreno firme donde dicho edificio está cimentado, es necesario que la armazón resistente o entramado sea suficientemente rígida tanto en sentido longitudinal como en sentido transversal. En su estructura estática, los entramados de los edificios de varios pisos, lo mismo que los de los cobertizos o tinglados, se amoldan al principio que rige para las obras formadas por placas, afianzadas en sus tres dimensiones. Según su estructura se distinguen en placas de pared llena (lienjos de pared, placas de pisos) y placas de celosía o de barras (entramados, pórticos). En la estructuración de los entramados hay que distinguir los de pórticos articulados y los de pórticos rígidos.

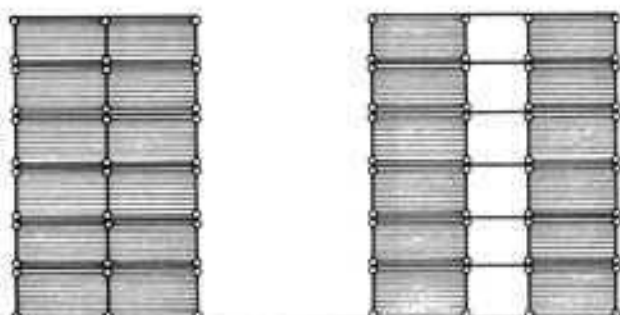
Jácena sobre pies derechos con articulaciones (apoyos pendulares)



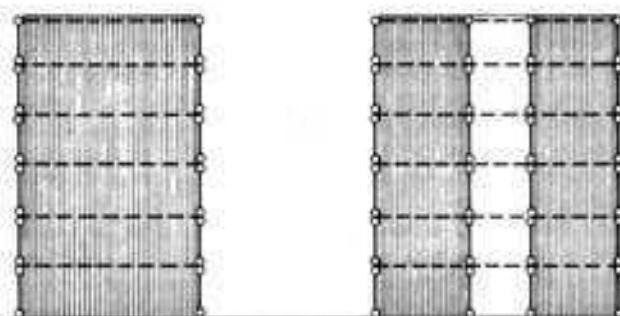
Apoyos pendulares en el interior



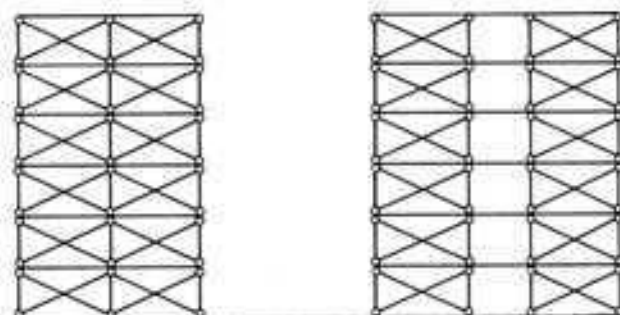
Apoyos pendulares en la parte exterior



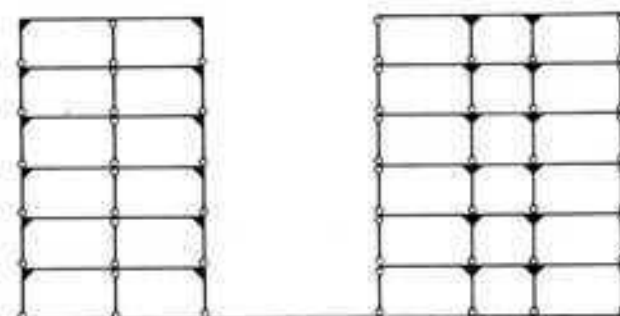
Relleno de entrepaños



Losas de pared



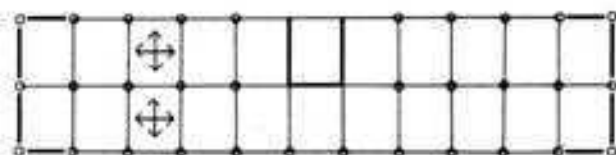
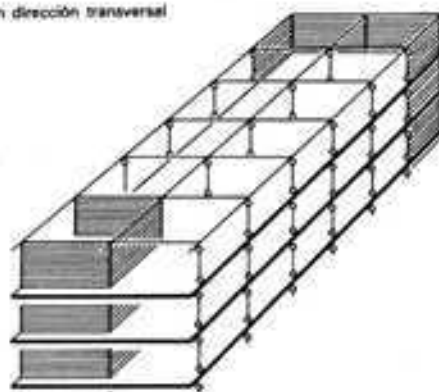
Riostras



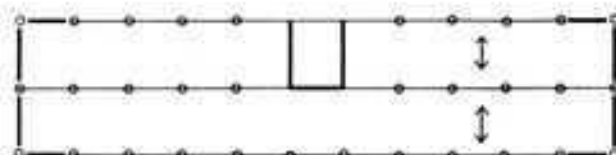
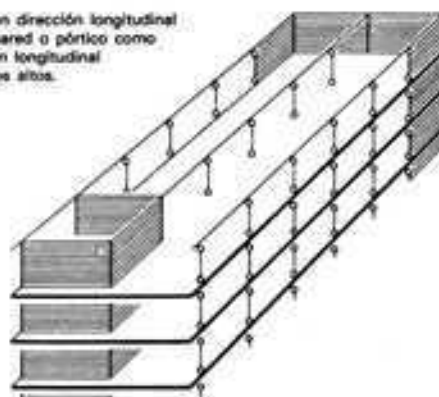
Pórticos

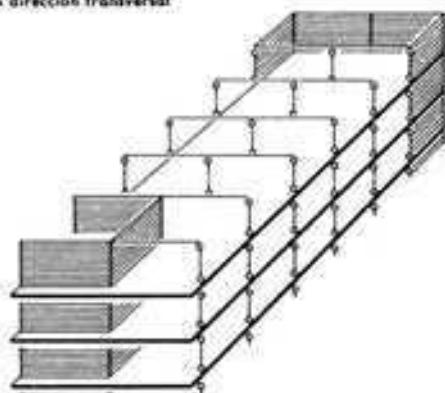
Las jácenas o vigas principales pueden estar colocadas en sentido transversal, en sentido longitudinal o en ambos sentidos. Las fuerzas producidas por el viento son soportadas por los pisos, que actúan como placas rígidas en sentido longitudinal y transversal arriostrando o afianzando los lienzos de pared o las estructuras aporticadas en que se apoyan y que conducen tales esfuerzos hasta los cimientos y de allí al terreno firme. Como arriostramientos longitudinales suelen ser suficientes, eventualmente, las jácenas que trabajan en dirección longitudinal y los antepechos de las ventanas cuando están organizados debidamente a tal fin. En tales condiciones no es necesario ligar los pilares y las vigas por medio de nudos rígidos. Como el entramado (pilares y jácenas) sólo tiene que estar dispuesto para absorber cargas que actúan verticalmente, es suficiente que los pies derechos sean de tipo pendular y que las vigas o cabeceras actúen como vigas continuas, cosa que simplifica el cálculo estático. Esta estructura es adecuada para construcciones de entramado metálico, porque entonces es relativamente sencilla la unión de los elementos o barras que lo forman. Las losas y riostras que sirven de rigidización longitudinal y transversal deben colocarse en los bordes exteriores de una estructura para que trabajen en la forma efectiva.

Jácenas en dirección transversal



Jácenas en dirección longitudinal
Losa de pared o pórtico como
rigidización longitudinal
en edificios altos.





Sistemas aporticados

Los pilares y jácnas forman en estos sistemas pórticos sustentantes con nudos rígidos. En los nudos rígidos se impide el libre giro de los extremos de las barras mediante medidas adecuadas, a fin de que dichos extremos de barras, al recibir la acción de las cargas, conserven sus ángulos respectivos en los nudos y las deformaciones se produzcan sólo en las barras. El nudo rígido, además de transmitir esfuerzos axiales y transversales, transmite también de unas barras a otras momentos flectores. Cuando todos los nudos de un pórtico son del tipo rígido, el pórtico se denomina "absolutamente rígido". Un sistema aporticado con varios pilares puede tener, además de los nudos rígidos, otros nudos articulados (conservando, sin embargo, su estabilidad).

Cuando la carga de un pórtico rígido es vertical, la flexión del dintel se transmite en parte a los pilares rigidamente ligados con él, de manera que éstos, además de la compresión axial, tienen que soportar solicitaciones debidas a momentos de flexión; en tal caso, la sollicitación por flexión en el dintel o jácena queda reducida por efecto de la mencionada circunstancia.

Un pórtico rígido de esta clase no sólo es adecuado para soportar y transmitir esfuerzos verticales, sino que también puede soportar fuerzas horizontales (viento). Cuando se superponen varios pórticos, se produce un sistema aporticado de pisos con múltiple indeterminación estática.

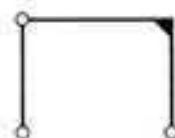
Denominamos hiperestático a un sistema cuando las condiciones de equilibrio tienen más incógnitas que ecuaciones. Las fuerzas y momentos que actúan en estos sistemas sólo pueden hallarse laboriosamente para todas las sollicitaciones de carga, pero hoy día esto ya no exige tanto trabajo como antes gracias a la ayuda de los medios electrónicos en el cálculo.

En los sistemas estáticamente indeterminados, los esfuerzos a que se los somete se distribuyen por toda la estructura de la obra. Si una de sus partes o secciones queda sobrecargada, puede transmitir (por lo menos cuando se trata de estructuras metálicas) los esfuerzos a miembros menos cargados.

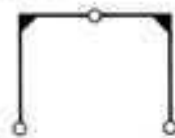
Las estructuras o armazones resistentes aporticadas rígidas presuponen buenas condiciones de la cimentación, pues si cede alguna parte de la misma se producen tensiones en los elementos que soportan cargas, que pueden poner en peligro toda la estructura. Los entramados o esqueletos de hormigón armado son muy sensibles; son más elásticos los de acero y, por lo tanto, menos expuestos a peligros. Si el terreno de la cimentación es malo, es preferible, por estas razones, emplear una estructura sencilla, estáticamente determinada y relativamente elástica, como por ejemplo una estructura de acero.

Isostáticos

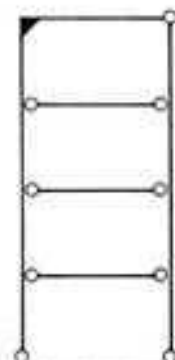
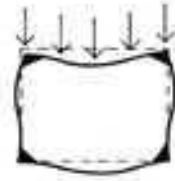
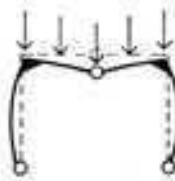
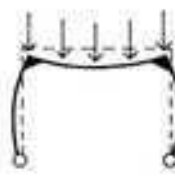
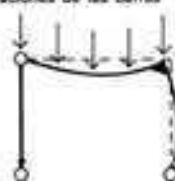
Sempórtico



Pórtico de 3 articulaciones



Deformaciones de las barras



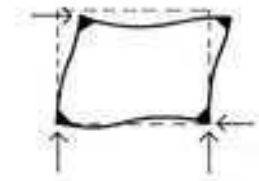
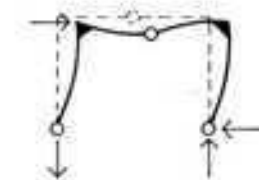
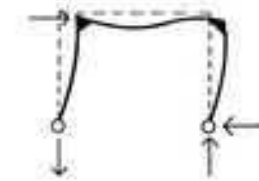
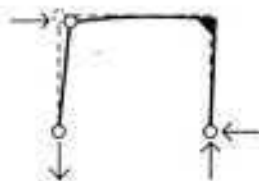
Isostático

Hiperestáticos

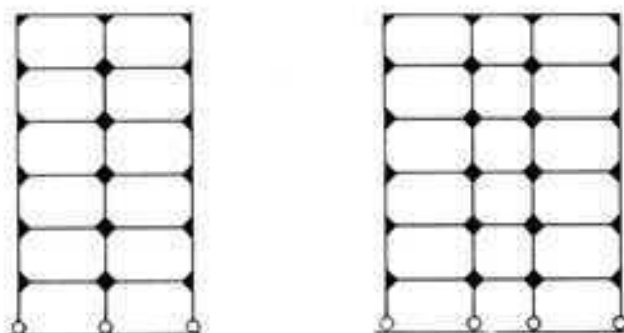
Pórtico de 2 articulaciones simplemente hiperestático



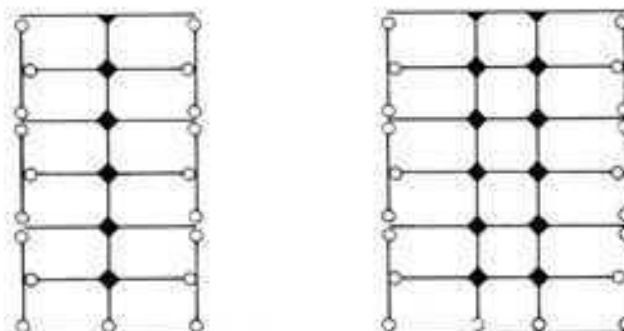
Marco rígido triplemente hiperestático



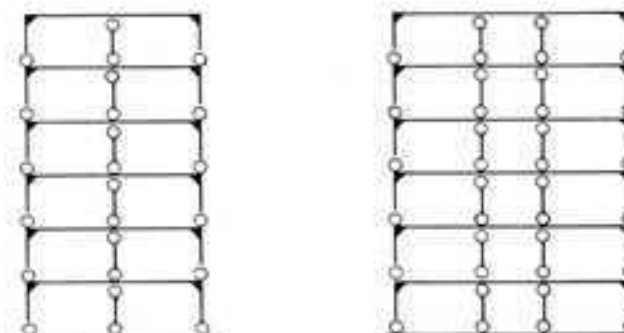
Pórtico múltiple: cada elemento, simplemente hiperestático



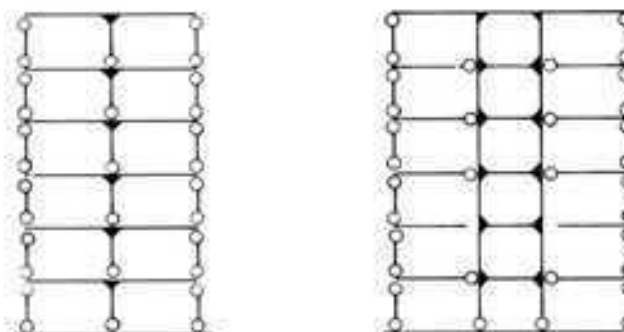
Pórticos completamente rígidos: todos los elementos están unidos con uniones resistentes a la flexión; altamente hiperestáticos



Muy recomendables para paredes totalmente acristaladas, cuando debe procurarse la máxima cantidad de luz por un lado. Los pilares de este lado se dispondrán como apoyos pendulares; todos los demás estarán unidos rigidamente con las jácenas.



Uniones resistentes a la flexión entre las jácenas y los pilares extremos. Recomendable especialmente para edificios altos; también puede ser conveniente para locales sin divisiones cuando se quiera que los pilares centrales sean de pequeñas dimensiones.



En el centro, un pórtico rígido; en los lados, apoyos pendulares. Los pisos, eventualmente, de piezas prefabricadas de hormigón.

El enlace de las bases de los pilares con los cimientos, cuando se trata de estructuras de entramado de varios pisos, en general, se hace articulado y sólo en casos excepcionales se hace empotrando los pilares en la cimentación.

La elección del sistema estático, sea de pórticos transversales, de pórticos longitudinales o de pórticos de ambas clases, se hará en cada caso particular, y el que se empleen nudos articulados o rígidos dependerá en gran medida de la posibilidad de transmitir debidamente la presión del viento.

Los pórticos longitudinales dan rigidez al entramado en sentido longitudinal; los pórticos transversales le prestan rigidez en sentido transversal. Todos los pórticos tienen que estar afianzados también perpendicularmente a su plano por lienzos o placas rígidas (paredes, arriostramientos o pórticos).

Los pórticos transversales, en la edificación, suelen tener, en la mayor parte de los casos, de dos a cuatro apoyos; los pórticos longitudinales se acostumbra a hacer con mayor número de ellos. No es necesario que cada enlace entre pilar y viga de un pórtico sea rígido.

Entramados con pórticos longitudinales

Las presiones del viento ejercidas en sentido paralelo al plano de los pórticos son conducidas al terreno firme por un número suficiente de pórticos longitudinales. Los pórticos de afianzamiento pueden sustituirse por lienzos de pared.

Las fuerzas del viento de sentido perpendicular a los planos de los pórticos son conducidas al terreno por intermedio de los pisos, que las transmiten a los lienzos de pared o a los arriostramientos transversales, y éstos, a su vez, las transfieren a las cimentaciones.

Los pisos o techos deben organizarse a modo de placas rígidas y se les coloca una armadura periférica o de borde. Si para la transmisión de esos esfuerzos del viento sólo se dispone de los muros piñones, las placas de pisos macizos actúan como vigas horizontales apoyadas sobre dos puntos con una luz entre apoyos igual a la longitud del edificio y una altura igual a la profundidad o anchura del mismo. Si existen otras paredes transversales de refuerzo (como por ejemplo las paredes de una caja de escalera) las placas de piso o techo actúan como vigas continuas sobre varios apoyos. Los lienzos de pared de afianzamiento transversal deben calcularse y construirse de manera que puedan absorber las fuerzas horizontales que actúan sobre los apoyos.

Entramados con pórticos transversales

Las presiones del viento ejercidas en sentido paralelo al plano de los pórticos son conducidas al terreno firme por un número suficiente de pórticos transversales de afianzamiento. Los pórticos transversales pueden ser sustituidos por lienzos de pared, como suele ocurrir en el caso de los muros piñones y de las cajas de escalera.

Los esfuerzos provocados por el viento perpendicularmente al plano de los pórticos son conducidos al terreno firme por intermedio de los pisos o techos, que los transmiten a las paredes longitudinales o a los entramados longitudinales de afianzamiento y de allí a las cimentaciones. Los pisos deben estar organizados a la manera de placas rígidas.

Cuando se trata de entramados o armazones de hormigón armado de moderada altura y de longitud relativamente considerable, la obtención de la rigidez longitudinal no suele requerir medidas especiales en la mayor parte de los casos, debido a la estructura monolítica de la construcción. En el caso de entramados de acero basta en este caso rellenar con paredes los vanos que existan en dirección longitudinal en los tramos extremos, si es que no basta la acción de los antepechos de obra construidos en las ventanas. Durante el período de la construcción hay que procurar colocar vientos y arriostramientos de montaje en forma de entramados provisionales para asegurar la estabilidad de la estructura metálica.

Según la norma DIN 4114, que se ocupa de "Solicitaciones estáticas en las estructuras de acero", no puede considerarse que las paredes de fábrica de ladrillo entre pilares en estructuras de entramado de varias plantas influyan en el cálculo de la longitud de pandeo. Los pilares deben presentar enlaces o articulaciones que limiten la longitud de pandeo, como máximo, a la

altura de un piso. En los edificios de planta baja y un solo piso podrán considerarse las paredes como modificadoras de la longitud de pandeo de los pilares, siempre que como mínimo sean de media asta de espesor en obra de fábrica y cuando sean de más de 10 cm en hormigón armado. Cuanto mayor sea la altura del edificio y menor su longitud adquiere más importancia el afianzamiento longitudinal.

Entramados con pórticos transversales y longitudinales

Mediante la unión resistente a la flexión de las barras correspondientes a varios ejes entre sí, se producen mecanismos resistentes suplementarios.

Todas las fuerzas tanto verticales como horizontales aplicadas a la estructura son conducidas al terreno firme por los pórticos transversales y longitudinales que mutuamente se afianzan. Este sistema de construcción de entramado propiamente dicho no necesita ningún otro afianzamiento o consolidación mediante paredes y riostras. Los pisos pueden llevar armaduras cruzadas.

Organización constructiva

Aparte de las exigencias estáticas, en la organización constructiva de un entramado intervienen gran cantidad de otros factores. En primer lugar está la posibilidad de modificaciones y de adaptación a las nuevas exigencias de una utilización posterior. En la construcción a base de entramado la obra gruesa y los trabajos de acabado están muy delimitados unos respecto a los otros. Es por esto que se denomina la estructura portante como sistema primario y el acabado como sistema secundario. El coordinar estas dos estructuras es objeto del planeamiento. A estos dos sistemas se suman una cantidad de trabajos de otros tramos para los acabados y las instalaciones, que deben tenerse en cuenta en el planeamiento.

Distancias entre apoyos

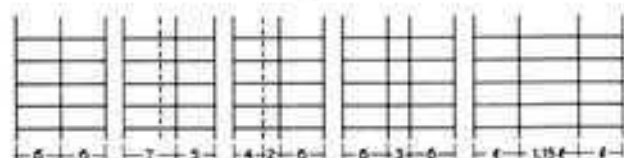
Las distancias entre apoyos vienen determinadas por la aplicación a que se destine el edificio teniendo en cuenta la debida economía. Las distancias más económicas son las que se hacen iguales o casi iguales en ambos sentidos longitudinal y transversal porque permiten el empleo de pisos con armaduras cruzadas. Todo edificio para poder transmitir al suelo sus cargas totales requiere una determinada sección total de apoyos. Si se escogen para soportar las jácenas separaciones pequeñas entre apoyos (y por consiguiente muchos apoyos), exigen éstos, para su construcción, mayor consumo de trabajo que el necesario para un número más reducido de apoyos con grandes luces entre ellos. Al crecer la luz entre apoyos crecen, sin embargo, los momentos de las jácenas en proporción a los cuadrados de las luces, con lo cual el coste de la obra crece rápidamente. La relación óptima en el coste de pilares, jácenas y pisos o techos viene a hallarse en las obras de hormigón armado, para luces de 5 a 6 m. En la construcción con acero se consideran las distancias entre apoyos de 5 y 7,50 m como las más económicas. Mayores distancias no resultan menos económicas, siempre y cuando las alturas de las jácenas no estén limitadas.

En la construcción mixta de hierro y hormigón también pueden conseguirse, con poca altura, distancias entre apoyos, de 8-10 m. Muchas veces la elección de la distancia entre apoyos está condicionada aún por otros criterios. En edificios administrativos, las distancias entre apoyos deberían ser un múltiplo del módulo del equipamiento, por ejemplo, $4 \times 1,80 \text{ m} = 7,20 \text{ m}$. También las distancias entre las filas de pilares deben proporcionar profundidades de locales y anchuras de pasillos razonables. En edificios destinados a grandes oficinas, producción, almacenes, etc., las necesidades de su utilización obligan a adoptar muchas veces distancias mayores de 10 m entre apoyos, aunque de esta forma resulten mayores costes de construcción. Además deben tenerse en cuenta la distancia entre pilares y la altura del techo en relación con el espacio ocupado por las instalaciones.

Anchuras de los edificios

Con pórticos transversales de dos crujeas, o bien con tres filas de pórticos longitudinales se obtienen anchuras de edificio de 12 a 14 m, si se emplean distancias entre apoyos de 6 a 7 m. Si con estas profundidades se dispone un corredor central en el eje del edificio se desplaza la serie de apoyos intermedios en la semianchura de dicho pasillo.

Cuando pueden disponerse en los dos lados de un pasillo locales de distinta profundidad, este pasillo puede colocarse de forma asimétrica respecto a la fila central de pilares y mantenerse iguales las distancias entre las filas de pies derechos.



En el caso de pórticos transversales de tres crujeas o en el de cuatro filas de pórticos longitudinales, para edificios con un pasillo central y con luces entre apoyos de tipo económico se obtendrán anchuras de edificio de 15 a 17 m. Para construcciones con tres tramos amplios (por ejemplo fábricas o almacenes), lo mejor, estáticamente y, por lo tanto, lo más económico, es hacer el tramo central un 10 a un 15 % más ancho que los tramos exteriores. Se logran con ello anchuras económicas de edificios de 18 a 24 m.

Mayores profundidades del edificio, como consecuencia de las necesidades de utilización, aportan problemas adicionales respecto a las instalaciones de acondicionamiento técnico de la luz y el aire, así como respecto a la protección contra incendios, las salidas de emergencias y las distancias entre las cajas de escalera.

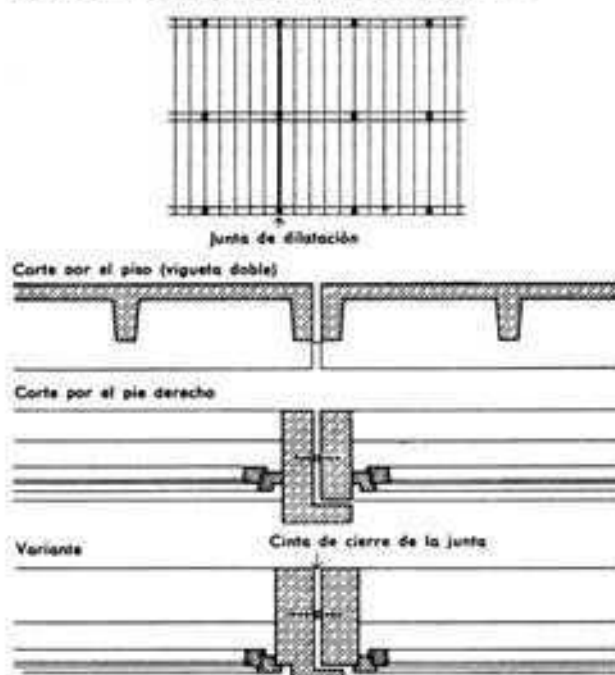
La posible extensión de una construcción de entramado está más limitada por las prescripciones legales que la construcción a base de paredes. Especialmente al tener grandes superficies continuas por planta, muchas veces las exigencias de la protección contra incendios y las prescripciones sobre las salidas de emergencia son lo que dimensiona los espacios.

Alturas de edificio y alturas de techo

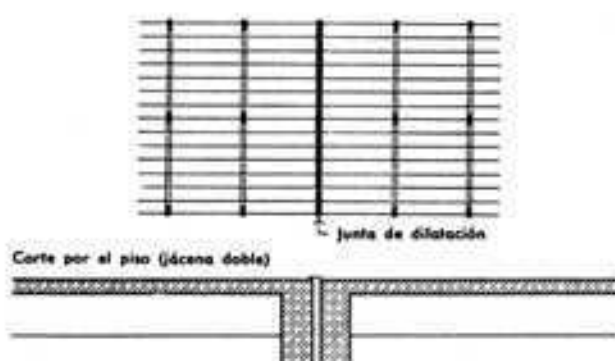
Debido a la fuerza del viento la altura del edificio influye decisivamente en el dimensionado de los elementos constructivos de rigidización. En casos extremos, en la construcción de edificios muy altos, pueden perjudicar esencialmente la utilización del edificio. Las losas rígidas deben disponerse de tal forma que no subdividan, en lo posible, las superficies útiles; en general se dispondrán dentro de los núcleos de rigidización. En edificios muy altos se colocan a veces en la fachada, que es donde resultan estáticamente más eficaces. Estáticamente las alturas de techo sólo tienen importancia para las longitudes de pandeo de los pilares. Debido a las jácenas y cuando hay cielos rasos suspendidos, en la construcción a base de entramado, el grueso total de los techos absorbe una mayor proporción de la altura de los pisos que en las estructuras a base de paredes.

La altura mínima depende de las necesidades de utilización del edificio o de las prescripciones de las ordenanzas locales, que prescriben en algunos lugares, por ejemplo, para locales industriales una altura $\geq 3,00 \text{ m}$. Por consiguiente, en el caso de edificios con grandes superficies por planta, iluminados artificialmente y con acondicionamiento del aire, la altura de los pisos debe calcularse aproximadamente de 4 m incluido el espacio de 0,80 a 1,00 m para las instalaciones. Si la iluminación es exclusivamente lateral, con luz natural, la diferencia entre las alturas de la mesa de trabajo y del borde inferior de la ventana debe tener como mínimo, según la DIN 5034, la mitad de la distancia entre la mesa y la ventana.

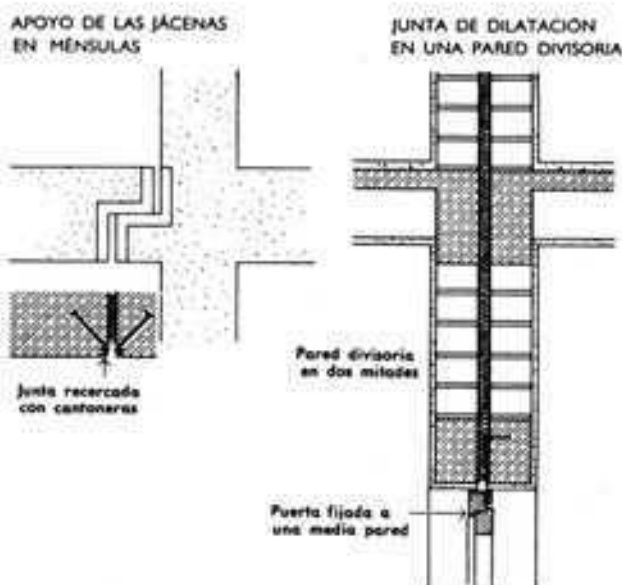
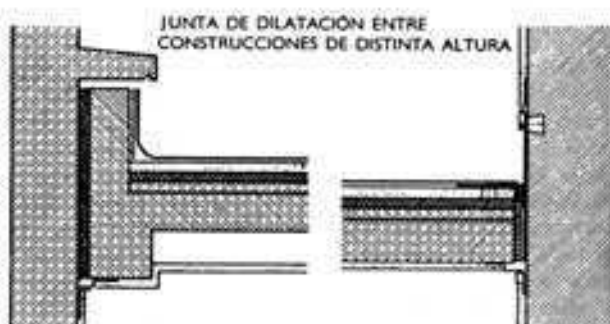
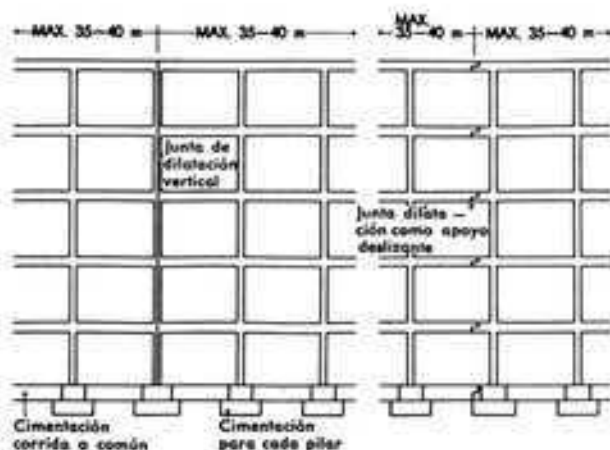
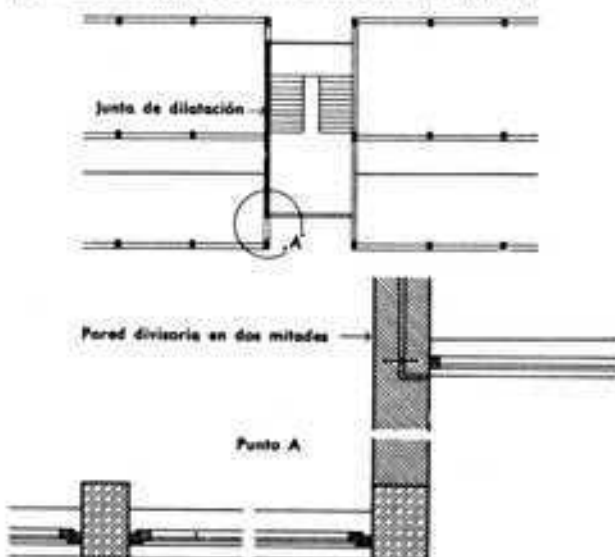
JUNTAS DE DILATACIÓN CON JÁCENAS LONGITUDINALES



JUNTAS DE DILATACIÓN CON JÁCENAS TRANSVERSALES



JUNTAS DE DILATACIÓN EN LOS ENTRANTES DE FACHADA



Juntas de movimiento

Las obras de hormigón armado de cierta extensión deben dividirse en secciones para que los movimientos o desplazamientos horizontales ocasionados por los cambios de temperatura no ocasionen desperfectos en el edificio. Esta división se efectúa mediante las juntas de movimiento o de dilatación. Las juntas son además necesarias para permitir movimientos verticales o trepidaciones de unas partes de la obra respecto de las otras, debidos sea a diferencias de asentos sea a movimientos de máquinas.

Por regla general, las juntas de movimiento son necesarias cuando la longitud del edificio supera los 30 m. (en casos excepcionales, los 40 m) y siempre que se unen partes de edificio

construidas en formas diferentes, de tipos o clase de cimentación, de construcción y de utilización distintos o de diferente altura, carga y sollicitación, o bien si están construidos en distintas épocas. Todas las juntas de movimiento, especialmente en edificios con peligro de incendio, deben disponerse de manera que permitan los grandes desplazamientos que en caso de incendio se producen por efecto del intenso calor.

Las juntas contra los asientos deben seccionar de arriba abajo todo el edificio (cubiertas, paredes, pisos e incluso los enlucidos de paredes y techos así como los cimientos). Las juntas de dilatación, en cambio, pueden terminarse al llegar a los cimientos. En todo edificio, cada una de las secciones comprendidas entre dos juntas de movimiento o dilatación debe ser estable por sí misma. Es conveniente coordinar su arriostramiento con los elementos de protección contra el fuego y las salidas de emergencia. Como desde todos los puntos de un piso debe poder alcanzarse una caja de escalera situada a menos de 25 m, la distancia máxima entre cajas de escalera resulta de 50 m, que viene a ser también la distancia máxima entre dos juntas.

Como anchura de las juntas de dilatación, para las diferencias de temperatura corrientes, hay que calcular un ancho de junta de 1 cm por cada 10 m de distancia entre juntas. Sin embargo, en los meses de verano esta anchura podrá reducirse en la proporción que resulte de considerar la diferencia entre las elevadas temperaturas estivales y las correspondientes a la dilatación máxima del edificio. En las azoteas y en las paredes exteriores hay que disponer además unas juntas de compartimentación cada 2 a 10 m, según el material.

Dirección de las jácenass

La dirección en que se dispondrán las jácenass, como la organización de los forjados, depende de la distribución de las plantas y del trazado de las instalaciones. Generalmente las jácenass van debajo del forjado. Entonces, si no se quiere que se vean, hay que poner un cielo raso. Sin embargo, en casos especiales, los forjados pueden construirse sin jácenass y también, en las paredes exteriores, pueden disponerse las jácenass por encima de los forjados, dentro de los antepechos.

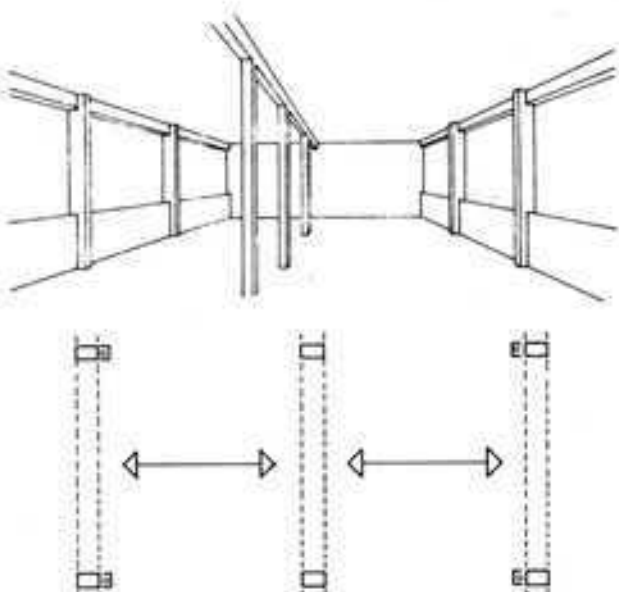
Jácenass longitudinales

En este caso, entre las filas de jácenass o pórticos se tienden los tramos del forjado, que generalmente tienen de 6 a 7 m de luz. Para cargas corrientes estos forjados suelen ser forjados de losas; para cargas elevadas o grandes luces suelen ser forjados nervados o de vigas en T. Si las vigas en T o los nervios de los forjados se hacen corresponder con los pilares sustentantes exteriores e interiores, y en su caso con los pilares secundarios intermedios, y si se hace que los cantos interiores de los pilares exteriores queden enrasados con las paredes, se obtienen pisos con superficies que permiten gran flexibilidad de compartimentación. Las paredes divisorias transversales, para evitar la transmisión de ruidos, se unen al pavimento, a las losas o a los cantos inferiores de los nervios del forjado, y a los cantos interiores de los montantes de las ventanas. Todas ellas tienen las mismas medidas, lo que es especialmente importante en la construcción con elementos prefabricados. La disposición de las paredes del pasillo —delante, detrás, o entre los pilares interiores— depende de las necesidades de cada caso y del trazado de las canalizaciones. Este tipo de estructura sustentante es particularmente apropiado para edificios destinados a despachos y oficinas, así como para todos los usos en que es de esperar que la compartimentación de las plantas deberá sufrir alteraciones.

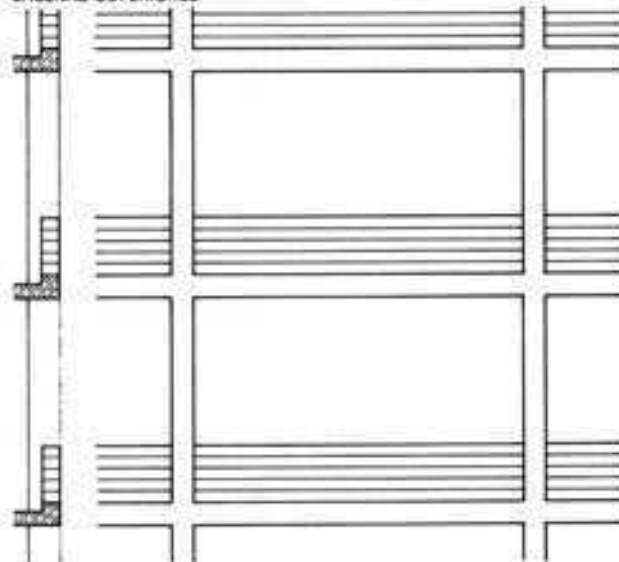
Los conductos de las instalaciones, en particular los del acondicionamiento del aire, discurren por debajo del forjado, paralelamente a las jácenass, ocultos por un cielo raso suspendido en que están integradas las bocas de entrada y salida del aire y los aparatos de iluminación. Los conductos verticales de grandes dimensiones se dispondrán junto a las paredes testeras o a las partes que actúan como núcleos de rigidez; los pasos a través de los forjados para pequeños conductos son posibles detrás de todos los pilares.

Sin embargo, cuando las instalaciones van por el techo es muy difícil evitar la transmisión de ruidos, a causa de la insuficiente

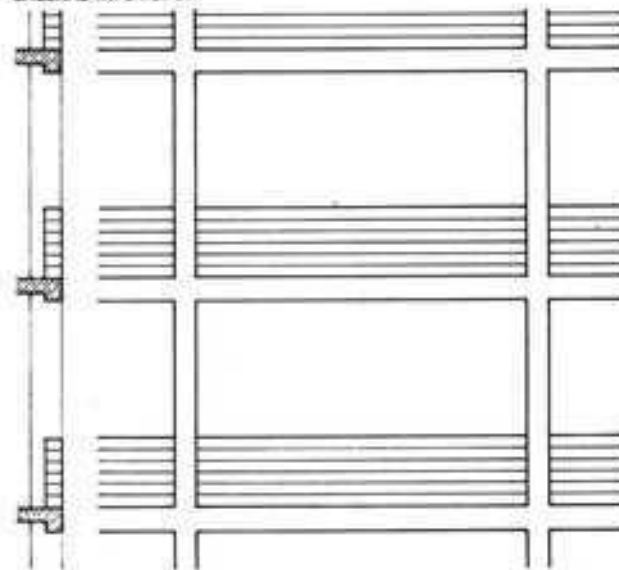
JACENASS LONGITUDINALES

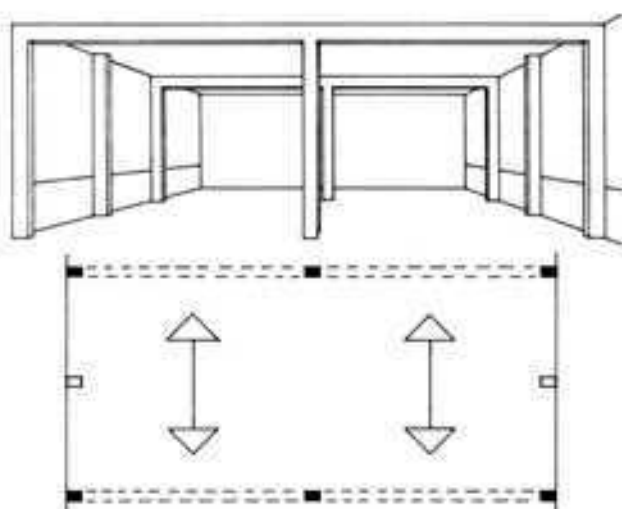
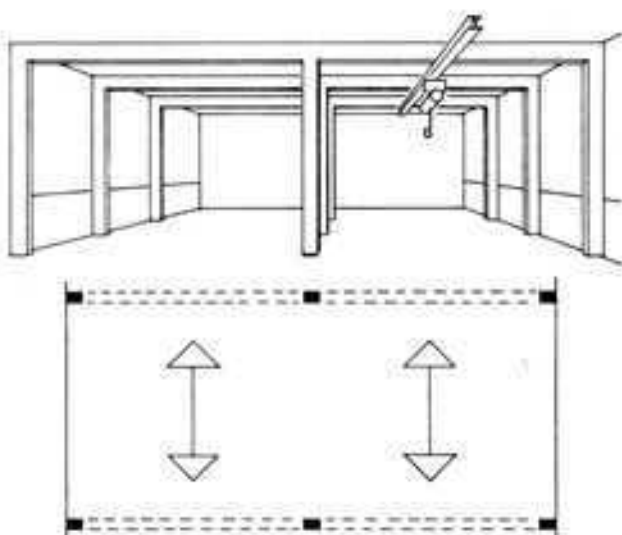


JACENASS SUPERIORES

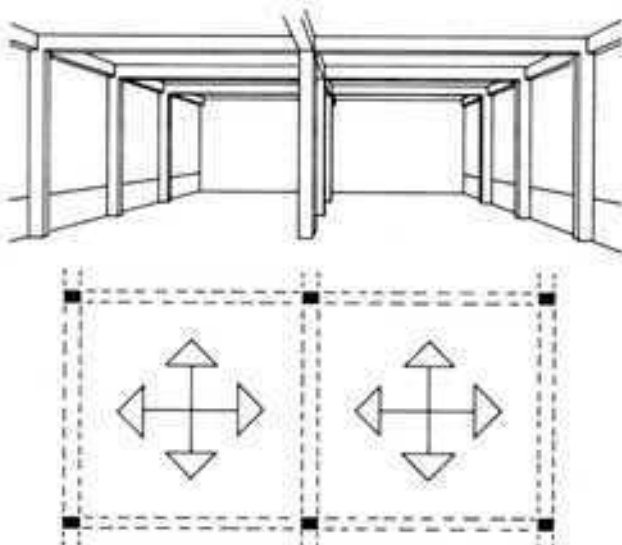


JACENASS INFERIORES





JACENAS LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES



unión de las paredes divisorias con el techo. Sólo construyendo un cielo raso que sea verdaderamente aislante acústico y no sólo absorbente al sonido, es posible evitar con eficacia la transmisión de ruidos.

Jácenas transversales

Son ventajosas en muchos casos. En naves de fabricación, por ejemplo, las jácenas transversales suelen ser muy ventajosas porque pueden fijarse en ellas fácilmente las vías de las grúas, colgar aparatos, etc. En los talleres donde se necesita mucha luz es adecuado este tipo de entramado, porque las ventanas pueden llegar hasta el mismo techo, sin necesidad de recurrir a medidas adicionales constructivas.

Para la colocación y alojamiento de las instalaciones, las jácenas o dinteles transversales de los pórticos suelen constituir un inconveniente, por regla general, pues sólo son admisibles estáticamente perforaciones de pequeñas dimensiones en las jácenas. Si para grandes luces y cargas la gran altura de las jácenas es un inconveniente, en cambio son posibles perforaciones de mayor tamaño. Las mejores posibilidades se obtienen con las vigas de entramado de acero.

Jácenas en ambos sentidos

Son especialmente apropiadas para edificios con grandes distancias entre soportes y con grandes distancias entre soportes y con elevadas cargas. Las distancias entre pilares deben ser iguales en ambas direcciones o, por lo menos, aproximadamente iguales. Los forjados pueden ser losas armadas en los dos sentidos o forjados formando casetones.

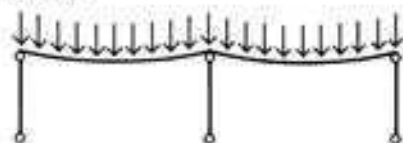
Con este sistema el grueso del techo resulta ciertamente menor, pero los conductos de todas las instalaciones deben pasar por debajo de las jácenas. También las canalizaciones verticales, excepto algunos cables eléctricos de pequeño diámetro, resultan prohibidas detrás y a los lados de los pilares, pues entonces en todos los casos tendrían que atravesarse jácenas.

Jácenas en voladizo

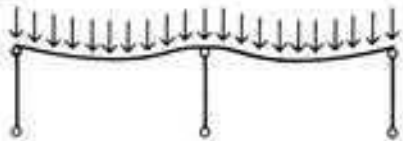
Cuando, para una determinada anchura del edificio, los pilares exteriores del entramado con jácenas transversales se retiran algo hacia adentro respecto del paramento de la fachada correspondiente, se reduce la luz entre apoyos para las jácenas o vigas principales y los voladizos que se originan descargan los tramos interiores, de manera que las jácenas pueden ser de dimensiones más débiles.

DEFORMACIONES DE LAS JACENAS.

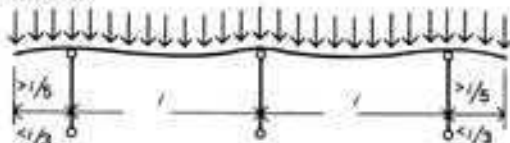
Vigas entre dos apoyos



Viga continua



Viga en voladizo



Esto contribuye también a reducir el coste, (por lo menos en el caso de entramados de hierro), por ser innecesaria la protección contra la intemperie en los pies derechos de las paredes exteriores. Los entramados con voladizos, en determinados casos tienen además las siguientes ventajas: Al retirar hacia atrás los pilares, las ventanas que forman fajas continuas permiten la entrada de la luz exterior en mejores condiciones, favoreciendo aquellos trabajos que requieren la máxima cantidad de luz diurna. También en aquellos edificios en que su anchura es excepcional, son convenientes las ventanas en sucesión continua, con objeto de mejorar la iluminación de los locales: En calles estrechas, en que las condiciones del tránsito son deficientes, el voladizo de las superestructuras resulta, muchas veces, la única solución para armonizar los intereses públicos con los de los ocupantes del edificio. El retirar hacia atrás los cimientos de los pilares facilita también la construcción al no entorpecer tanto el tráfico durante el periodo de las obras, sobre todo cuando se trata de calles muy transitadas. También es conveniente enlazar con los edificios vecinos mediante voladizos, a fin de poder efectuar sin inconvenientes las cimentaciones de la primera fila de pilares.

Los entramados con voladizos sólo son convenientes cuando detrás de las fajas continuas de ventanas hay locales también continuos y cuando los pilares aislados no estorban para la utilización del local. Suelen, pues, emplearse en fábricas, almacenes y edificios comerciales.

Al desaparecer los pilares de las fachadas exteriores, el edificio adquiere un aspecto moderno y característico: una pared que sólo presenta elementos horizontales y formada por fajas de ventanas. Al construir las ventanas hay que tener en cuenta que las construcciones en voladizo, cuando reciben cargas desiguales en los diferentes tramos de los pisos, siempre son algo elásticas y que hay que contar también con las dilataciones en las fajas de ventanas de acero. Es, pues, necesario que las ventanas tengan hacia ambas direcciones suficiente libertad de movimientos para evitar agrietamientos y roturas de cristales.

A menudo las jácenas vuelan incluso más allá de la pared exterior, para servir de apoyo a balcones o para formar terrazas. A no ser que estos voladizos estén dispuestos en forma de ménsulas unidas a los pilares, estas construcciones sólo son posibles cuando las jácenas son transversales.

Forjados sin jácenas

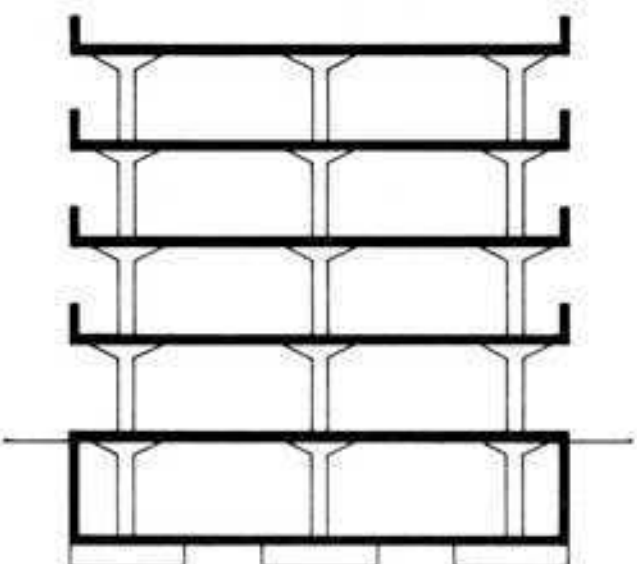
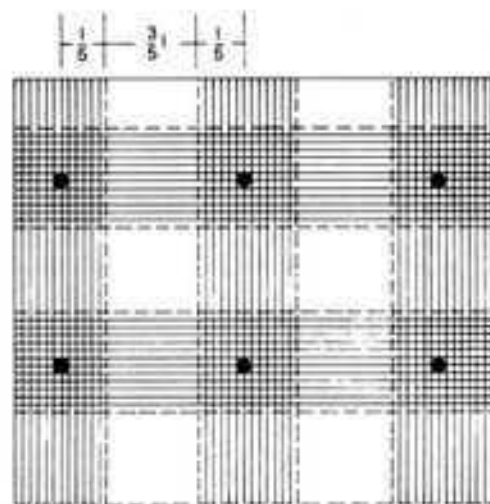
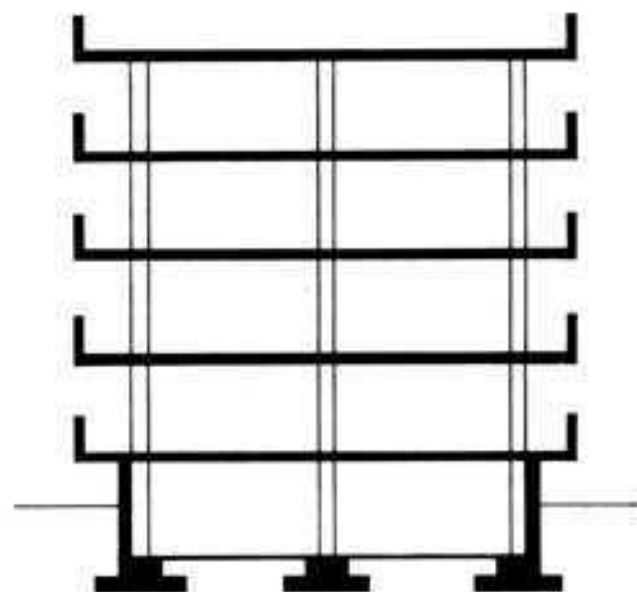
En casos excepcionales (por ejemplo en laboratorios) es posible, con forjados nervados o con forjados de vigas en T de gran luz, reducir la distancia entre pilares hasta tal punto que la altura de las jácenas sea igual a la de los nervios del forjado o de las vigas T.

Forjados sin jácenas de mayores luces son los forjados en forma de hongo o forjados fungiformes, constituidos por losas armadas en ambos sentidos, que se extienden por encima de las cabezas de los pilares, formando tramos cuadrados o casi cuadrados. Estos forjados pueden ejecutarse con refuerzo en la cabeza del pilar o sin él, y pueden estar unidos al pilar mediante unión rígida o articulada. El grueso mínimo de la losa debe ser de 15 cm, véase DIN 1045. Además de construirlos con hormigón in situ pueden hacerse con elementos prefabricados en forma de planchas macizas o huecas, en la cabeza de los pilares, nervios apoyados en ellas y una especie de casetones en el centro de los tramos.

Con los forjados sin jácenas se logra que incluso con instalaciones suspendidas y cielo raso, el grueso del techo sea el mínimo. Los conductos verticales y los grandes huecos en el techo, de acuerdo con el sistema estático del forjado, sólo son posibles en el centro de los recuadros.

La estructura y las instalaciones

Las instalaciones son cosas añadidas a la estructura de los edificios. Entendemos por tales todos los sistemas que suministran algo necesario para la utilización de aquéllos, con sus canalizaciones de entrada y salida y todos los aparatos, máquinas e instrumentos que los componen. Las instalaciones se designan



también con el nombre de sistema terciario. Su coste constituye 1/3 más del valor total del edificio.

Hasta la entrada en la era industrial y hasta muy avanzado el siglo XIX, las casas no tenían instalaciones de ninguna clase. El agua se iba a sacar del pozo. Los retretes estaban fuera de la casa. Lo primero que se hizo fue el suministro de agua con tuberías y el establecimiento de alcantarillado en las ciudades, por motivos médico-higiénicos; luego fue el gas para suministro de luz y calor. Poco antes de la primera guerra mundial se introdujo la luz eléctrica en las viviendas. Las calefacciones por agua caliente se extendieron lentamente en los años veinte y treinta. La ventilación y el acondicionamiento de aire se desarrollaron en Europa durante los años cincuenta.

Con las mayores exigencias actuales y las contiguas mejoras, las instalaciones constituyen una parte cada vez mayor del importe de las construcciones. Por ejemplo,

en viviendas	~ 20%
en edificios administrativos climatizados	~ 35%
en laboratorios y otras clases de edificios análogos, con instalaciones muy completas	~ 50%

Estos tantos por ciento resultan todavía mayores si se tiene en cuenta la influencia que las instalaciones tienen en la obra estructural, con las complicaciones y los aumentos de espacio que requieren para los conductos verticales, y las mayores alturas de techo necesarias para las instalaciones de climatización. El volumen construido puede tener que aumentar a causa de una instalación de acondicionamiento de aire, en un 30 % y más todavía.

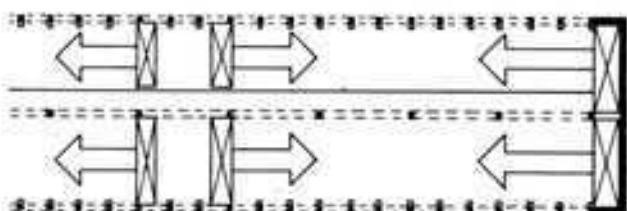
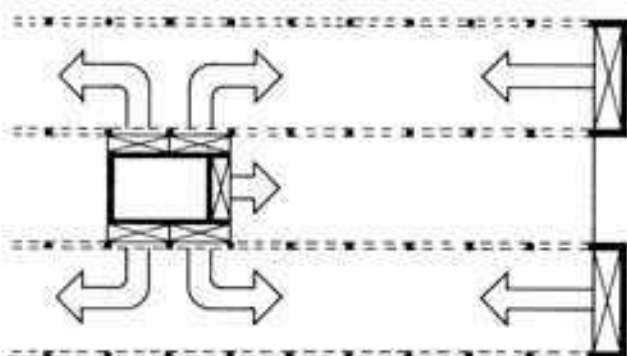
Las actuales instalaciones pueden influir notablemente sobre la planta y la organización constructiva de un edificio, y sobre su aspecto exterior. El arquitecto no puede hacer ningún proyecto definitivo sin que figuren en él todas las instalaciones requeridas, y tampoco puede presentar ningún plano de ejecución de obra sin que figuren en él todos los detalles suministrados por los ingenieros especialistas, tales como conductos verticales, pasos a través de techos y de otros elementos, tuberías, aparatos, etc., hasta el último enchufe. Especialmente en las obras prefabricadas las instalaciones deben estar previstas y resueltas hasta el más íntimo detalle, ya que difícilmente son posibles modificaciones y ampliaciones posteriores. Al contrario de lo que ocurre con las obras estructurales, cuya vida es casi ilimitada, como demuestran muchas antiguas ruinas, las instalaciones tienen poca duración y envejecen rápidamente con el progreso técnico; además hay que estar atendiendo continuamente, o deben renovarse. Por lo tanto las instalaciones deberían disponerse de tal forma que fuesen fácilmente accesibles y renovables, con la mayor independencia posible del resto de la obra.

Tendido de las instalaciones

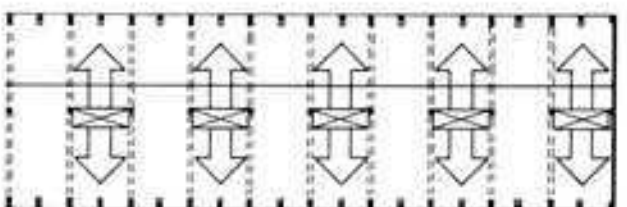
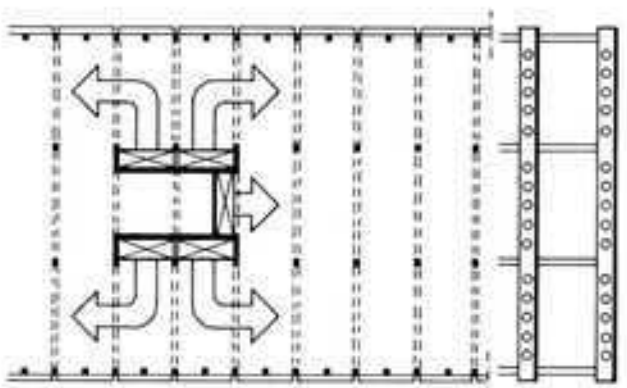
Mientras en la construcción corriente a base de paredes de carga las canalizaciones verticales pueden casi siempre alojarse en rozas abiertas en la obra de fábrica, en los edificios a base de entramado las canalizaciones deben quedar fuera de las secciones activas de los elementos sustentantes. Cuanto mayores sean las secciones de los conductos a instalar, tanto mayor será su influencia en la planta y la sección de la estructura sustentante, ya que la superficie de las plantas no ocupada por los pilares en general debe quedar libre de conductos verticales. Estas exigencias han llevado a la solución general y racional de alojar todas las canalizaciones verticales dentro de los núcleos que contribuyen a la rigidez del edificio (cajas de escalera, recintos de ascensores, servicios sanitarios), en unos recintos verticales fácilmente accesibles. Muchas veces, especialmente para las instalaciones de acondicionamiento de aire, se aprovechan también para ello los espacios que quedan junto a las paredes testeras de los extremos del edificio. La superficie en planta de estos recintos depende del número y de las secciones de los conductos que ha de alojar, y del número de plantas. Por lo tanto crece con la altura del edificio.

DISPOSICIÓN DE LAS INSTALACIONES EN LAS CONSTRUCCIONES DE ENTRAMADO

Edificios con jácenas longitudinales y forjados transversales



Edificios con jácenas transversales y forjados longitudinales



Si los recintos verticales necesarios aumentan la superficie en planta del edificio, los conductos horizontales de la instalación de acondicionamiento de aire que pasa por debajo de los techos aumentan la altura de los pisos. Debe contarse con aproximadamente 80-100 cm de grueso adicional del techo. Con ello los costes no crecen en la misma medida que el volumen, sino sólo aproximadamente en 1/10 del volumen edificado aumentado. Prescindiendo de los conductos de desagüe, todas las instalaciones de suministro de agua y de energía, y por lo tanto las de calefacción, ventilación y acondicionamiento, así como las de suministro de distintos fluidos a los laboratorios, pueden distribuirse tanto vertical como horizontalmente. Lo que sea más conveniente y más económico debe examinarse en cada caso particular. En general puede decirse que la distribución por conductos horizontales es ventajosa cuando la distancia a los puntos de toma es menor que la altura del piso.

Si consideramos ahora las distintas instalaciones y las canalizaciones que corresponden a cada una de ellas veremos que su influencia en la estructuración del esqueleto sustentante es muy diversa.

Instalaciones eléctricas de alta y baja tensión

La instalación eléctrica se distribuye por todo el edificio. Si en las construcciones a base de esqueleto no hay paredes fijas que sirvan de soporte a los elementos de la instalación, es preciso que en los forjados o encima de los cielos raso haya espacios para el tendido de las instalaciones, desde donde se puedan tomar las derivaciones que vayan a las paredes o tabiques desmontables. Las derivaciones se efectúan en las juntas entre elementos o en los cercos de las puertas. También pueden disponerse las instalaciones en las paredes o tabiques divisorios a partir de los conductos de distribución que corren por los antepechos de las ventanas.

En grandes locales para oficinas se necesitan además conductos y enchufes en el suelo. En locales que contienen máquina o computadoras, en los que se requieren instalaciones complicadas, es necesario en algunos casos disponer un doble suelo resistente.

Las secciones de los conductores eléctricos apenas tienen influencia en la estructura sustentante. Los tubos flexibles que los contienen pueden dejarse siempre embebidos en la sección de hormigón sustentante. En los techos de hormigón visto se han colocado hasta ahora por encima del forjado, que se ha perforado en los puntos convenientes hasta la cara inferior.

Conductos de la instalación de calefacción

El sistema de calefacción más empleado hoy día es el de calefacción central por agua caliente, monotubular, con circulación impulsada por una bomba. También se emplea como calefacción de base en la mayor parte de los edificios con acondicionamiento total del aire. El problema de si se instalará una central en el sótano, en una entreplanta o en el desván, de si se hará una instalación independiente en cada planta, o de si se tomará el agua caliente de un suministro a distancia, así como el trazado de la red de tuberías, son problemas insignificantes en las calefacciones con circulación por bomba.

Los sistemas bitubulares, por termosifón, las instalaciones por piso y las calefacciones por aire tienen actualmente, en cambio, una importancia secundaria. Las calefacciones por agua caliente, actualmente casi siempre con calderas de gas o de aceites pesados, de todas maneras, a causa de la intermitencia con que funcionan los quemadores accionados mediante termostatos, deben ser calefacciones con circulación impulsada por bombas. Esto no sólo ha permitido una mayor libertad en el trazado de las tuberías sino que sobre todo ha hecho posibles las instalaciones monotubulares: en ellas los radiadores van intercalados sucesivamente en un circuito que es a la vez de alimentación y de retorno. El retorno de un radiador es la alimentación del siguiente. Mediante válvulas y uniones en by-pass el cierre de uno de los radiadores no tiene ninguna influencia notable en el funcionamiento de los siguientes.

A fin de que las tuberías queden discretas, en las calefacciones

monotubulares se emplean tuberías entre 15 y 22 mm de diámetro, y para evitar el ruido que produce el agua que circula no se pasa de velocidades de 0,9 m/seg. En estas instalaciones sólo es económico disponer un circuito de 8 a 10, máximo 15 radiadores consecutivos. Si es necesaria una instalación mayor, se subdividirá en zonas, o sea se establecerán nuevos circuitos empalmados a la red de distribución del agua caliente.

Hay que distinguir entre los sistemas verticales y los horizontales. En los verticales la distribución se hace generalmente por la parte superior del edificio y de allí salen ramales verticales por los que el agua baja y a los cuales empalman como máximo dos radiadores, con tubos de alimentación y salida, en cada piso. Con la central en el sótano se necesita una sola tubería de subida de agua y una de bajada en una de cada dos crujías. El enfriamiento gradual del agua en cada uno de los pisos obliga a que los radiadores sean de capacidad distinta, pero generalmente los de cada piso son todos iguales. En los sistemas horizontales los radiadores están montados, por pisos, sobre una distribución horizontal entre un montante y un bajante. Esto permite a veces la colocación de las tuberías dentro de la estructura de los suelos, con lo que interfiere mínimamente en la estructura sustentante. En cambio, por la situación de las superficies calefactoras, los diferentes sistemas de calefacción tienen gran influencia en la disposición de los antepechos y pilares.

Conductos de ventilación y acondicionamiento de aire

La ventilación natural de los locales interiores exige unos conductos de extracción de aire que generalmente son verticales y llegan hasta encima de la cubierta. La entrada de aire debe ser posible por lo menos por las rendijas que dejan las puertas. Poner un conducto de ventilación para cada habitación o para cada piso hace que el aumentar el número de pisos la sección de la batería de conductos sea cada vez mayor. Para ahorrar espacio se emplean las chimeneas colectivas, un conducto principal y conductos secundarios, con las cuales a la vez puede aportarse aire del exterior. Estos conductos de ventilación natural deben distinguirse de los conductos provistos de sistemas mecánicos de aspiración del aire; éstos también pueden estar dispuestos horizontalmente.

Pueden ponerse ventiladores aislados, directamente sobre los conductos de ventilación verticales, encima de la cubierta del edificio. Si son necesarios varios de estos aparatos, o si hay que desviar muchos conductos a través de la cubierta, es indispensable disponer como cuarto de máquinas un desván accesible.

Las instalaciones de ventilación o de acondicionamiento de aire son necesarias siempre que la ventilación por ventanas no es posible, no es suficiente o no es aconsejable, como ocurre en grandes locales, en cocinas, en laboratorios, etc. Muchos locales de producción o de trabajo, como por ejemplo las salas de los ordenadores de proceso electrónico de datos, tienen grandes exigencias en cuanto al mantenimiento de unas determinadas condiciones del aire (temperatura, humedad, pureza). Estos locales requieren un sistema de climatización especial, en el cual no deben incluirse otros grupos de locales. Para ellos es necesaria una central de climatización y un sistema de conductos separados, como ocurre también para las salas de operaciones en los hospitales.

Hay que distinguir entre las instalaciones a baja presión y a alta presión. Las de alta presión no necesitan secciones tan grandes. Muchas veces es posible introducir el aire a través de unas cámaras de aire que se colocan encima del cielo raso, y que sirven de cámara de sobrepresión, mientras que la extracción de aire se hace en la misma cámara de encima del cielo raso aspirándolo, a través de los aparatos de iluminación, mediante los conductos adecuados. Así se ahorra altura en los techos.

Los conductos de acondicionamiento del aire deben disponerse de modo que se crucen lo menos posible. El cruce de conductos de gran sección aumenta la altura de los pisos.

La central de climatización debería ocupar una posición lo más central posible, encima, debajo o entre los locales a que sirve, a fin de reducir la longitud de las canalizaciones. El alcance de las instalaciones es limitado, según el sistema y la potencia, y en ciertos casos son necesarios varios pisos destinados a las instalaciones de acondicionamiento de aire (véase el capítulo "Construcción de edificios altos").

Tuberías de suministro de agua y de desagüe

Mientras la red de suministro de electricidad y las tuberías de agua de las instalaciones de calefacción y de extinción de incendios se reparten por toda la superficie de los pisos, las instalaciones de suministro de agua y de desagüe se concentran en determinadas zonas y en locales auxiliares. Por esto quedan limitadas, generalmente, incluso en los edificios a base de entramado sustentante, a la zona de los núcleos de rigidez, donde su alojamiento en recintos en forma de chimeneas o conductos, y encima de cielos rasos suspendidos a cierta distancia del forjado, no causa dificultades especiales. Pero en laboratorios e institutos científicos esto no es posible. Aquí los conductos, especialmente los de desagüe, deben estar junto a los pilares; ya que no es posible poner tubos de bajada de aguas en cualquier punto de la planta y un desplazamiento horizontal de estos tubos dentro del espacio entre el forjado y el cielo raso es muy limitado.

Mientras las tuberías de suministro de agua, que van a presión, pueden tener cualquier disposición y su paso a través de techos y paredes sólo requiere perforaciones de unos 10 cm de diámetro, las tuberías de desagüe deben tener siempre pendiente y requieren perforaciones de diámetro > 20 cm, a veces con pendiente. Cuando están junto a paredes, pilares o recintos de canalizaciones, los desagües pueden empalmarse a los tubos de bajada de aguas sin atravesar techos. Pero para los aparatos sanitarios que no están arrimados a ningún elemento de aquellos el desagüe sólo es posible atravesando el techo.

Las tuberías se colocarán junto a los pilares; las perforaciones de los forjados se harán en sentido perpendicular a las vigas. Las rozas para los tubos en los pilares (por ejemplo pilares en H) sólo son posibles si se ha aumentado debidamente la sección del pilar; las grandes perforaciones en los techos sólo se harán en la dirección de los forjados (embrochados simples).

Contra la transmisión de ruidos por las instalaciones, las perforaciones de techos y paredes y los conductos, se recomienda que las tuberías y accesorios se fijen por sistemas que amortigüen la transmisión de los ruidos de impacto, que los recintos por donde pasan las tuberías se llenen con material absorbente del sonido, y que se revistan con materiales aislantes acústicos. Los empalmes y las válvulas de cierre deben ser accesibles, siempre que sea posible, desde los pisos respectivos, a fin de que si se producen averías, esto no cause perturbaciones en los demás pisos.

Tuberías para otras clases de fluidos

Entre éstas figuran todas las tuberías necesarias para el suministro técnico de institutos científicos, laboratorios y centros de producción. Si deben disponerse vertical y horizontalmente, es cosa que hay que examinar en cada caso. Un criterio para ello son las longitudes de tubería que resulten, en los casos de alineación horizontal o vertical, entre cada dos puntos de toma. También influye en la decisión el hecho de que los aparatos que se empalman en ellas estén aislados o vayan suspendidos de las paredes, de los antepechos o de otros elementos estructurales.

En los casos en que se hace por tuberías de alimentación verticales, el reparto horizontal se hace generalmente por debajo del forjado de la planta inferior. Cuando la alimentación se hace por tuberías horizontales en cada piso (en los antepechos o en los techos) las tuberías generales verticales se reúnen en recintos accesibles, junto a los núcleos de rigidez o cajas de escalera o junto a las paredes testeras del edificio.

La disposición de los haces de tuberías para los distintos fluidos tiene precisamente gran influencia en la organización constructiva de la estructura sustentante de un edificio.

Sistemas de transporte

Los ascensores y montacargas, como las escaleras generales, también deben colocarse, por motivos de seguridad contra el fuego, en el núcleo de rigidez de obra de fábrica.

Para las instalaciones de correo neumático hay que contar con tuberías de un diámetro que sólo tiene entre 55 y 250 mm, pero su colocación presenta difíciles problemas, sobre todo fuera de los núcleos de rigidez, a causa de los radios de las curvas, que deben tener de 500 a 2500 mm, y del necesario aislamiento contra el ruido.

Paredes exteriores

La disposición de la estructura sustentante en las paredes exteriores depende en primer lugar de la futura compartimentación de los pisos. Cuando los compartimientos son grandes, lo más sencillo es dejar que las ventanas vayan desde un pilar al pilar próximo. Según las condiciones de iluminación se dispone una jácena debajo del forjado, o una jácena que se extiende por encima de él y que forme el antepecho de las ventanas. También son posibles soluciones mixtas.

Cuando las plantas se han de subdividir en locales —generalmente de distintas dimensiones— se colocan montantes intermedios donde sea necesario, y la cara inferior de los mismos debe quedar en el plano de la cara de los pilares de sostenimiento, a fin de que sea fácil la colocación y el intercambio de tabiques divisorios. Estos montantes intermedios, cuando las jácenas son longitudinales, pueden ser de carga o pueden no serlo. Cuando son de carga, lo que permite reducir la altura de las jácenas de fachada, conviene que sean continuos hasta la planta baja. Cuando convenga que la planta baja quede libre de ellos habrá que poner, según el número de pisos, una jácena que se extiende por encima o por debajo del forjado, a fin de recibir sus cargas y transmitir las a los pilares principales.

Sin embargo, generalmente estos montantes no son de carga y se aprovechan como soporte de las instalaciones. Cuando las jácenas son transversales éste es siempre el caso.

La disposición de los antepechos viene determinada tanto por las necesidades y conveniencias de las instalaciones como por el aspecto exterior del edificio.

Para el forjado de los entramados exteriores se emplean los materiales más ligeros y aislantes posible, como, por ejemplo, los bloques de hormigón ligero y el ladrillo hueco. Los bloques de hormigón ligero deben haber estado almacenados durante tiempo suficiente para evitar la formación de grietas entre los diferentes materiales. Los forjados que hayan de cooperar a la rigidez longitudinal o transversal de un edificio se hacen de hormigón o de fábrica de ladrillo. Los forjados deben completarse según la protección térmica proporcionada por los materiales de construcción empleados y, siempre que sea necesario, por capas de aislamiento térmico adicionales.

Para el revestimiento de una estructura de entramado hay muchos medios posibles. Puede ser de placas de piedra natural, piedra labrada, cerámica o fibrocemento, así como de elementos de metal, madera, vidrio o plástico. Siempre deben satisfacer las condiciones físicas que deben cumplir las paredes. También hay que tener en cuenta las diferencias entre las condiciones del revestimiento y las de la base a que se aplica (mayor dilatación y contracción, acción de la fuerza del viento). Los revestimientos de placas deben compartimentarse vertical y horizontalmente mediante juntas de dilatación. Los materiales de distinto coeficiente de dilatación deben separarse unos de otros mediante juntas abiertas o de elasticidad permanente. Esto se tendrá en cuenta sobre todo para las uniones con las ventanas y para las fachadas cortina de gran superficie, de materiales distintos. Nunca deben sumarse las presiones en toda la fachada.

El muro cortina permite la máxima libertad en la composición de las fachadas, así como los elementos de fachada más esbeltos. Pero, en comparación con los otros sistemas, las precauciones contra el ruido y el fuego exigen mayores gastos.

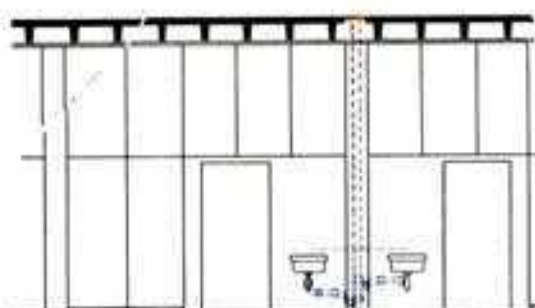
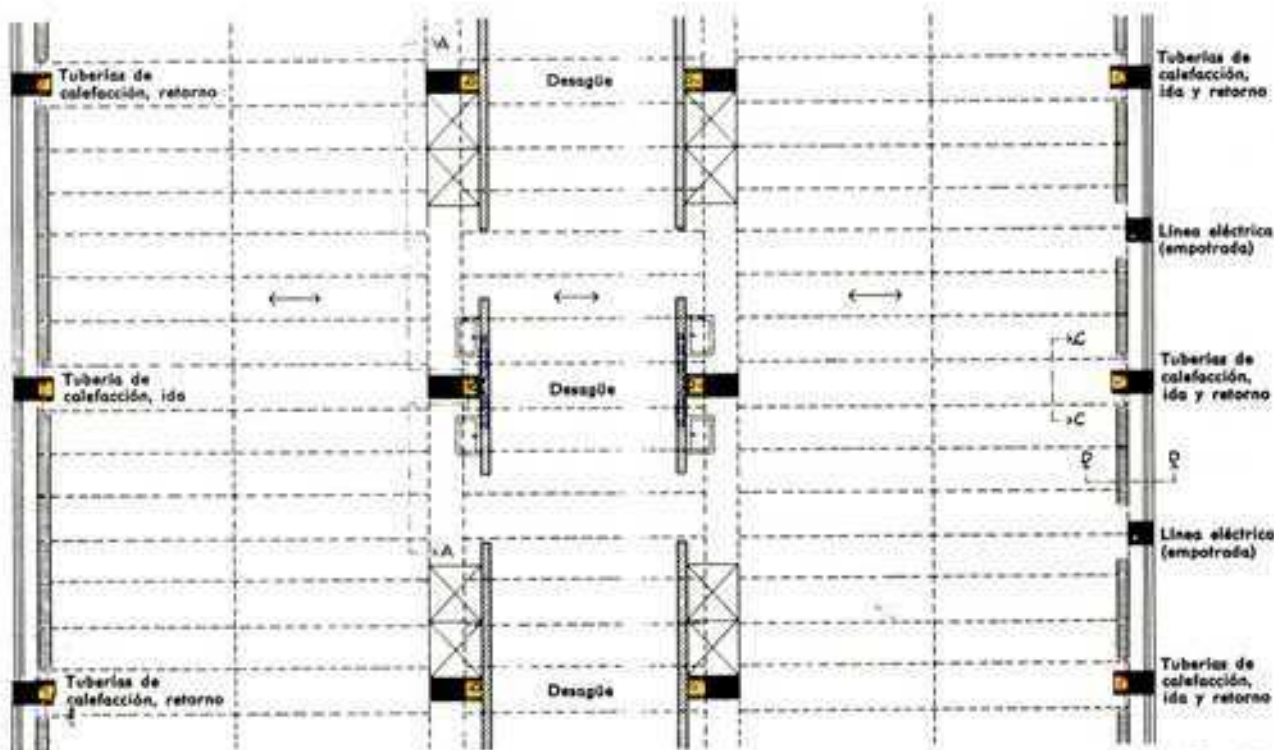
Partiendo de las bases constructivas de la estructura se obtienen diversas posibilidades de disposición y forma. Las caras exteriores de los pilares y las de las vigas perimetrales o los antepechos, pueden quedar en el mismo plano o destacarse unos respecto de otros.

Cuando las jácenas están en sentido longitudinal y sus bordes externos están en el mismo plano que los de los pilares correspondientes, se forman recuadros. Los forjados pueden quedar en plano adelantado, retrasado o al ras, respecto de tales recuadros. Los forjados rehundidos hacen resaltar los recuadros del entramado plásticamente en saliente. Exigen, sin embargo, un recubrimiento de las jácenas con fajas de fibrocemento o plancha, pues de lo contrario, con la lluvia, la suciedad depositada sobre las jácenas es arrastrada y forma manchas y rastros muy feos sobre el paramento. Al rehundir el panel es necesario contar, además, con el agua que salpica sobre los forjados. Es mejor

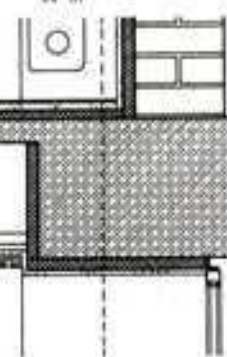
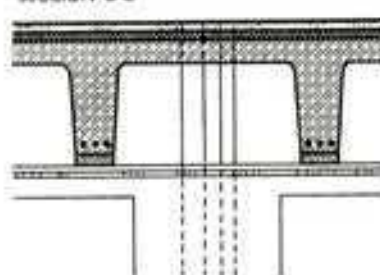


SECCIÓN TRANSVERSAL

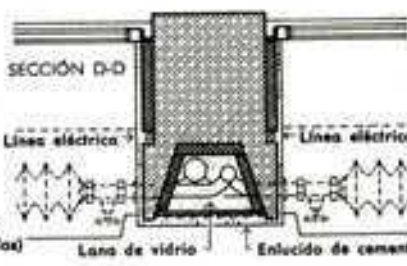
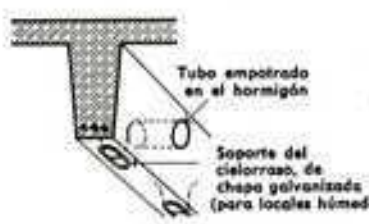
Escala 1 : 100

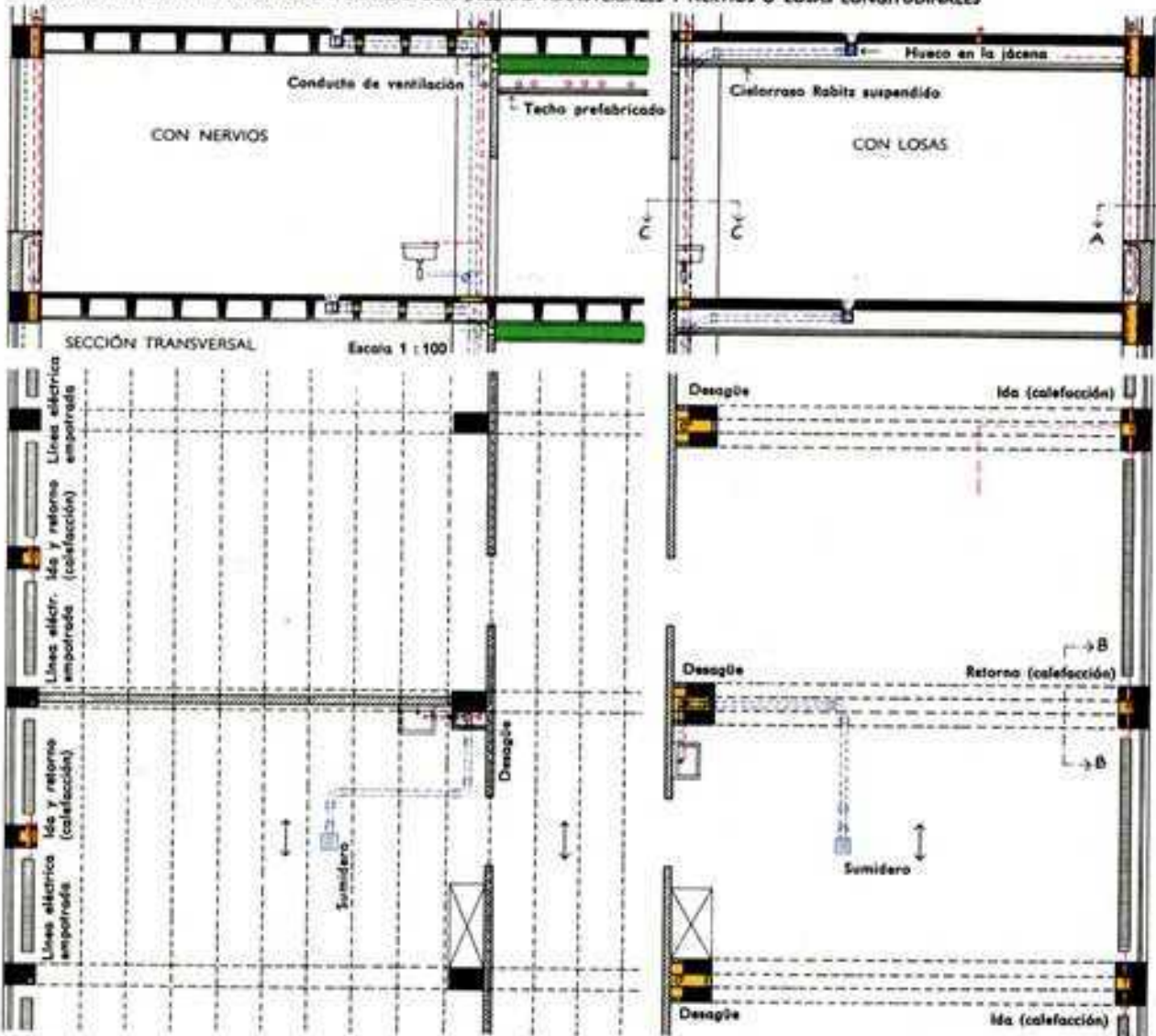


SECCIÓN C-C

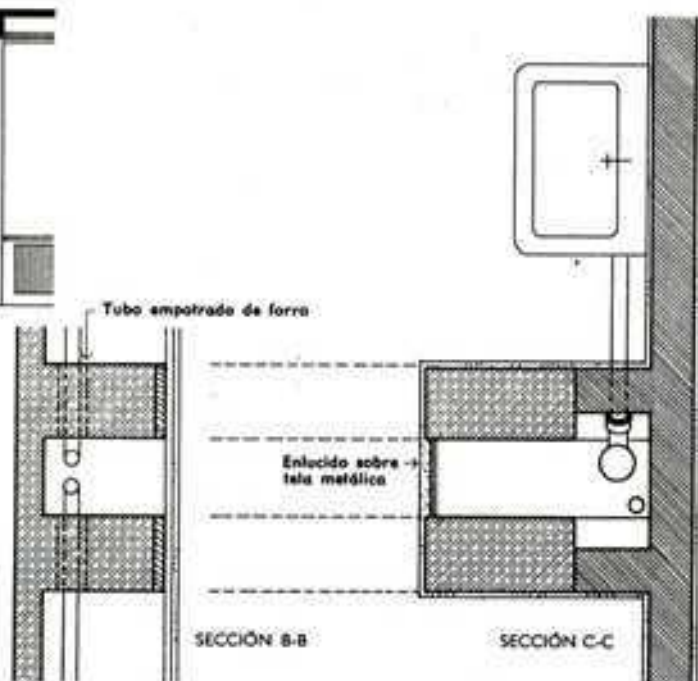
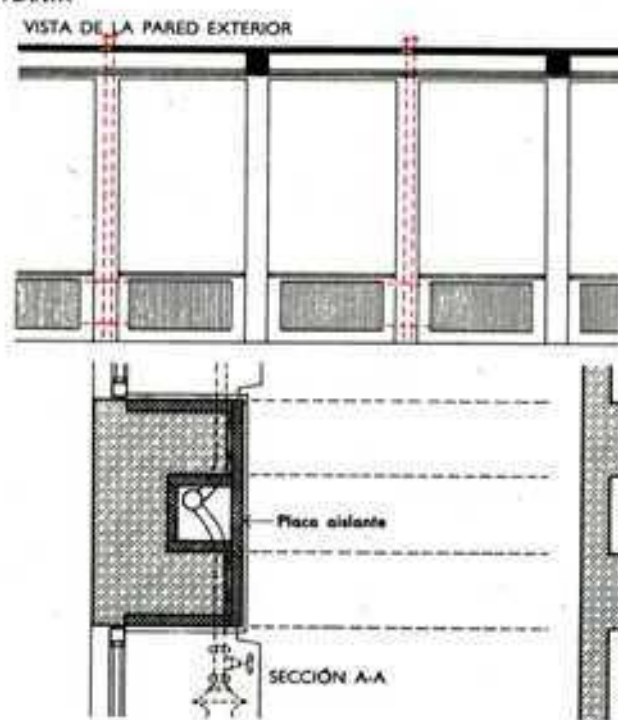


SECCIÓN D-D

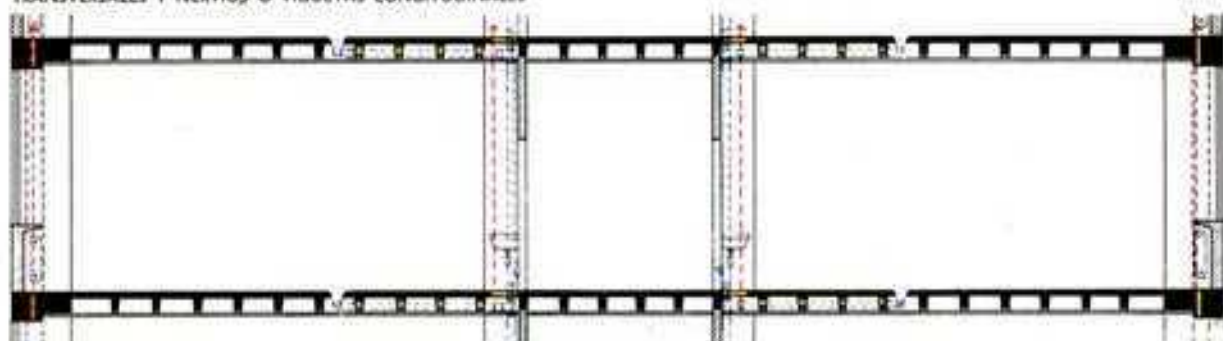




PLANTA

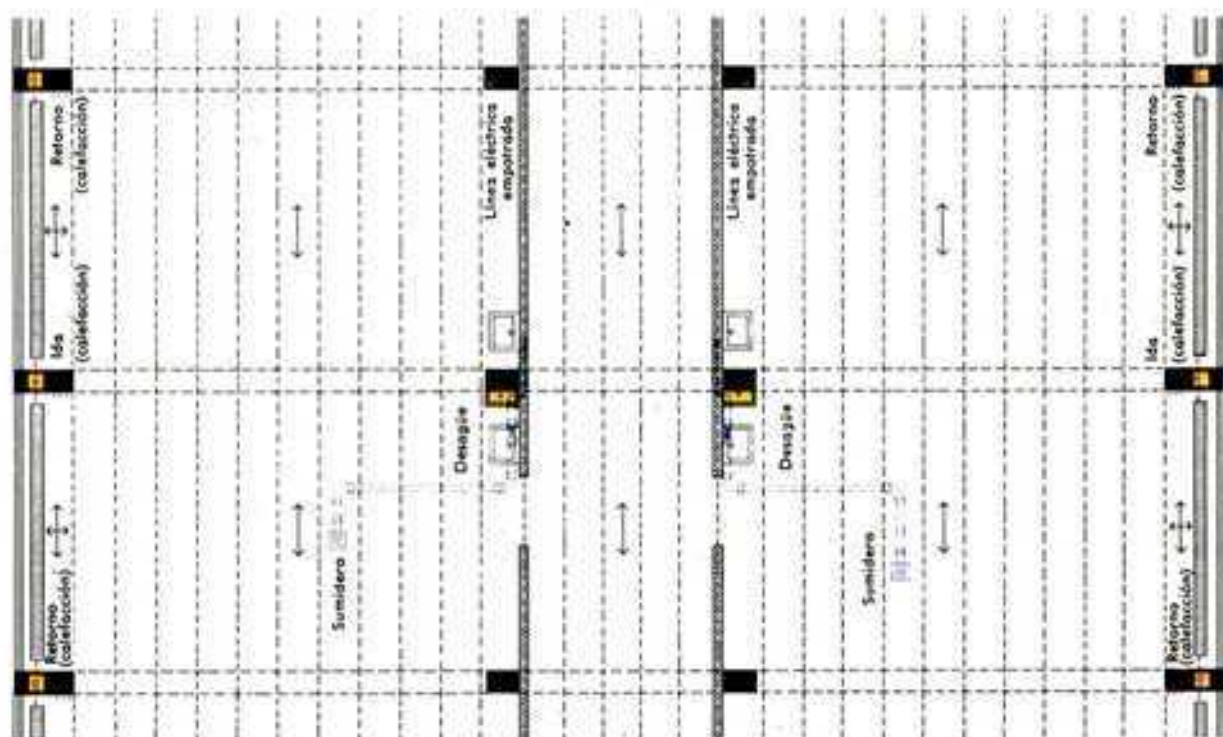


INSTALACIONES EN UN EDIFICIO DE ENTAMADO CON JÁENAS
TRANSVERSALES Y NERVIOS O VIGUETAS LONGITUDINALES

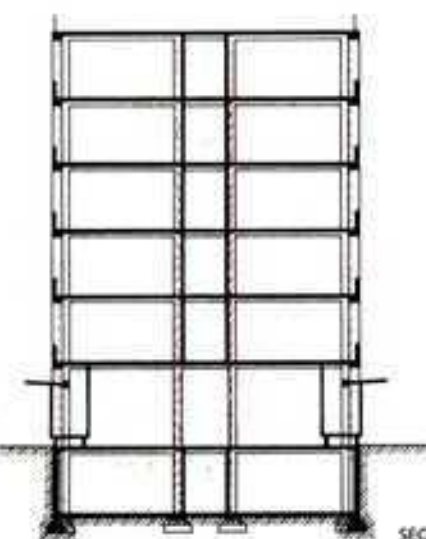


SECCIÓN TRANSVERSAL

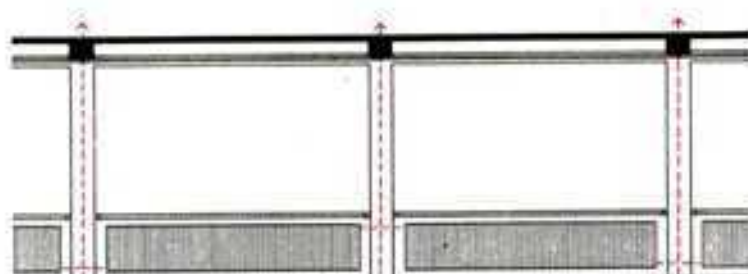
Escala 1 : 100



PLANTA



SECCIÓN TRANSVERSAL



VISTA INTERIOR DE LA PARED EXTERIOR

PILAR CON INSTALACIONES

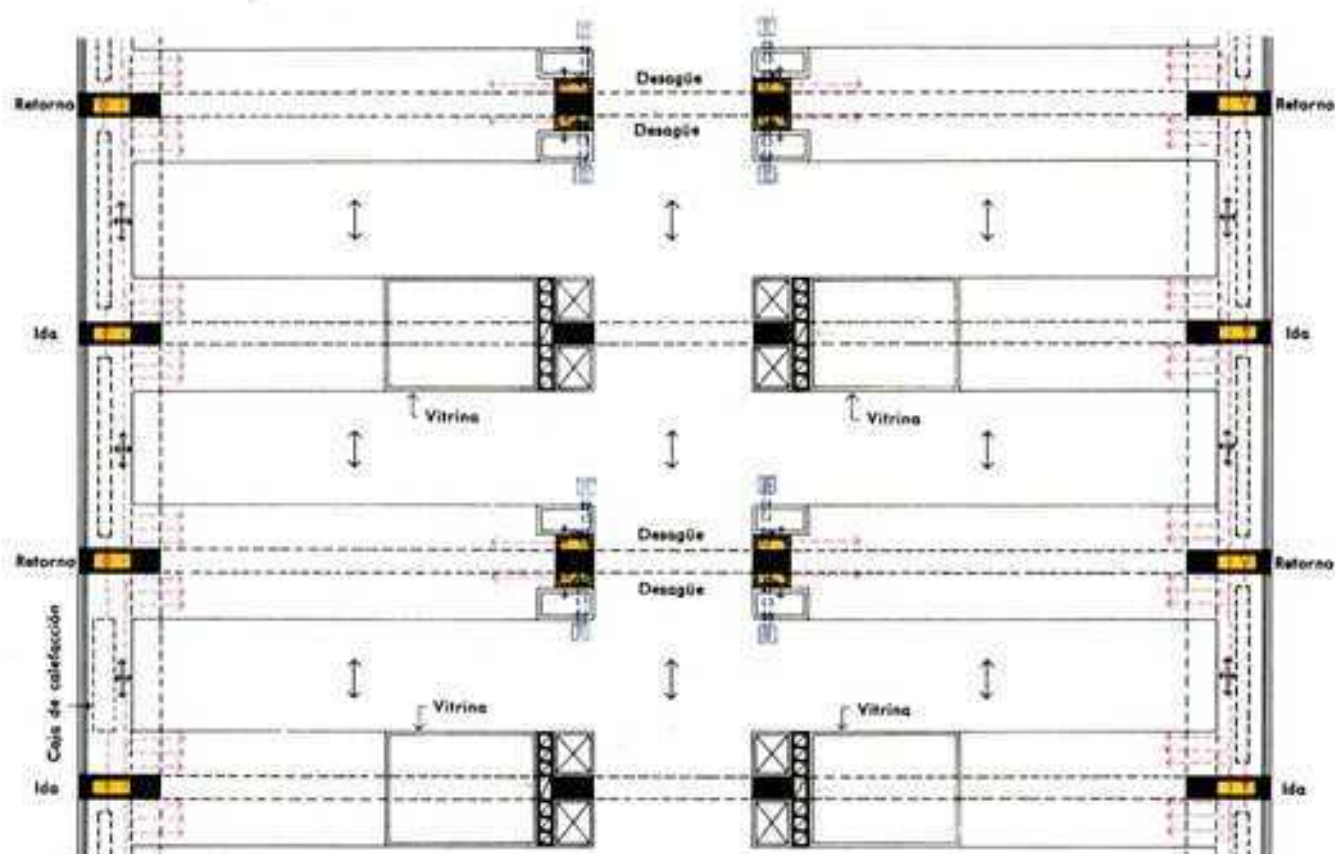


Enlucido sobre tela metálica



SECCIÓN TRANSVERSAL

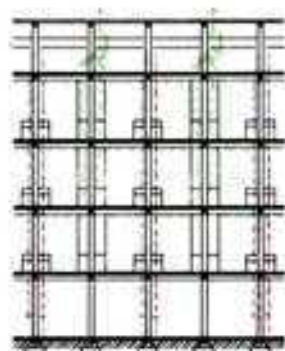
Esc. 1 : 100



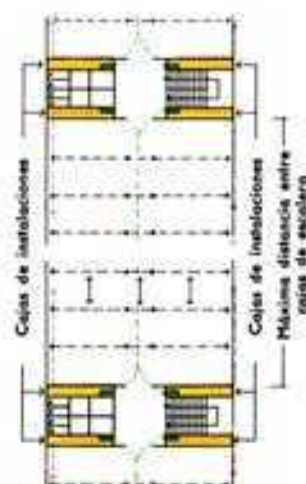
PLANTA



SECCIÓN TRANSVERSAL



SECCIÓN LONGITUDINAL

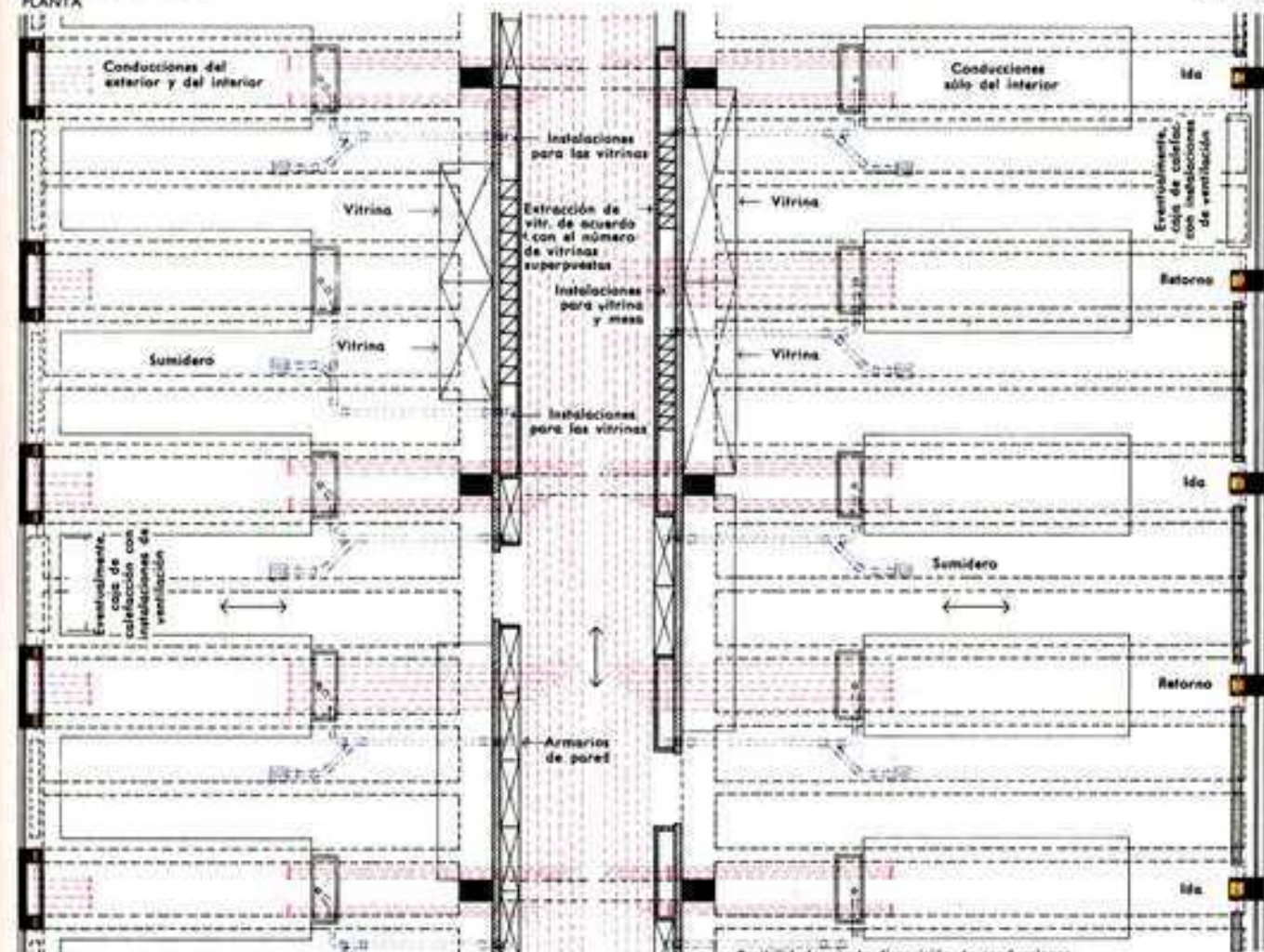


SISTEMA DE PLANTA



SECCIÓN TRANSVERSAL
PLANTA

Esc. 1 : 100



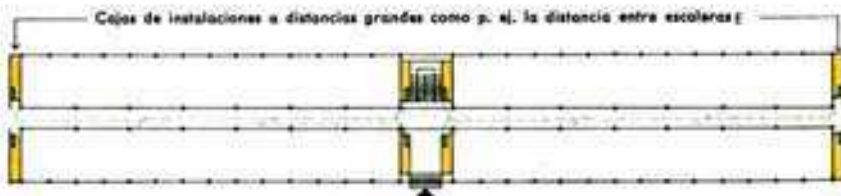
Posibilidades de la disposición de conducciones

1. Verticales para mesa y para vitrina
2. Horizontales para mesa y para vitrina
3. Separadamente, las verticales y las horizontales

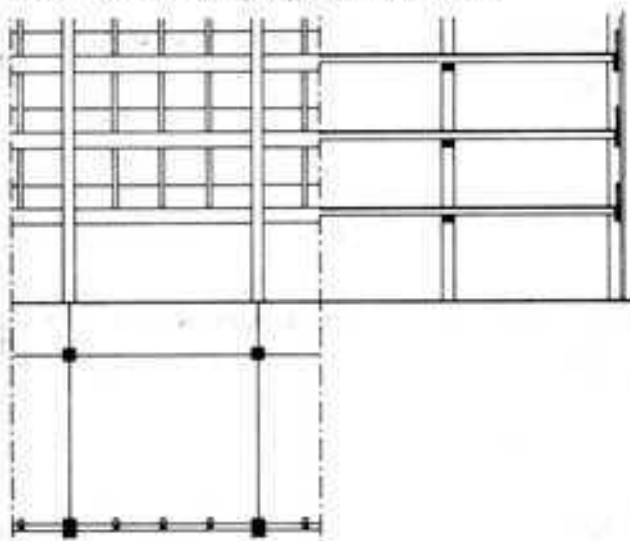
← Ventilación de las vitrinas



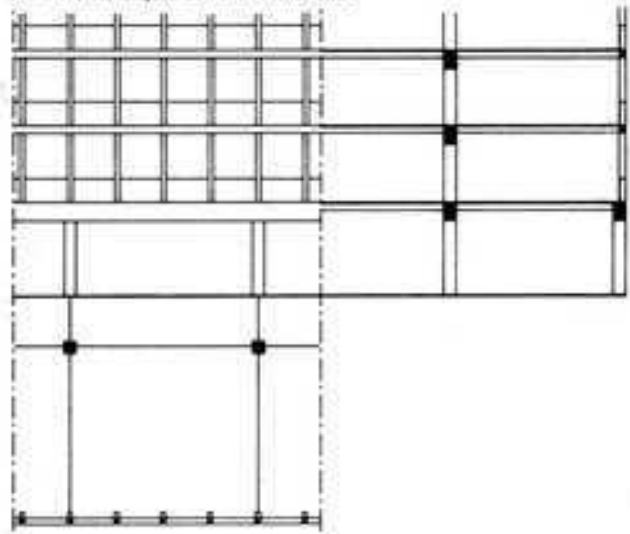
Cajas de instalaciones a distancias grandes como p. ej. la distancia entre escaleras



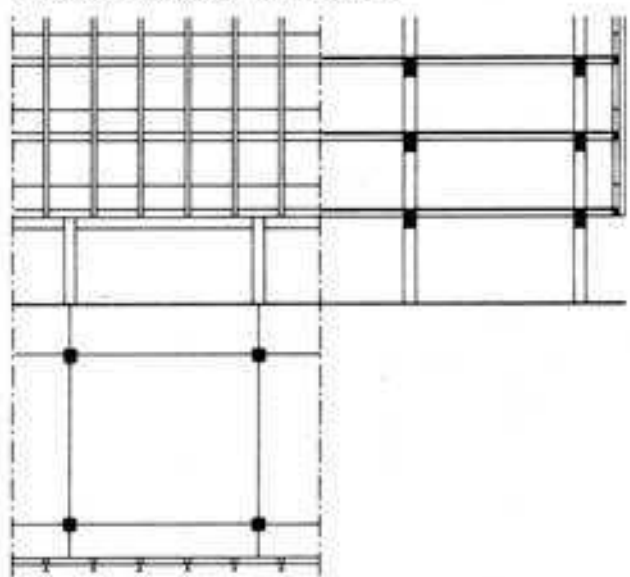
Los pilares principales se destacan sobre el resto de la fachada



Las jácenas se destacan: las distancias entre los montantes de las ventanas son menores: las jácenas tienen menor altura



Pisos en voladizo; muro cortina ligero suspendido



enrasar los forjados en un mismo plano con el entramado por su cara exterior y, en todo caso, trazar todo alrededor una ranura. Así se evitan los chorreones de suciedad sobre los entramados. Si las vigas principales se disponen a modo de jácenas superiores, los antepechos de las ventanas quedan reducidos en altura, vistos desde el exterior.

Si se prefiere una ornamentación de la fachada a base de elementos horizontales se hace que los revestimientos de los antepechos de las ventanas corran por delante de los pilares.

Cuando las jácenas son transversales no se suelen prolongar los pisos hasta la parte exterior de los pilares, sino que se dejan un poco más retirados a fin de que los pilares resalten en saliente. Los forjados suelen entonces enrasarse con el borde de los pisos y a unos y otros se les da un mismo revestimiento.

Además de los ejemplos fundamentales mencionados hay muchas otras posibilidades para decorados y disposiciones de fachadas en los edificios de entramado, por ejemplo mediante balcones, tribunas, terrazas y "brisesoleils". Sin embargo, nunca deben predominar las consideraciones formales, sino siempre las funcionales tales como la utilización del edificio, los problemas de las protecciones, la conservación y el mantenimiento de la limpieza.

Construcciones de entramado de hormigón armado

Mientras desde el punto de vista histórico hay que considerar la construcción a base de estructura sustentante como una derivación de las construcciones con entramado de madera, en la evolución de los modernos sistemas de construcción a base de entramado sustentante el hormigón armado se ha introducido sólo lentamente, junto al entramado de barras de acero montado con perfiles laminados. Actualmente la mayoría de los edificios de entramado, incluso los de gran altura, se construyen, por motivos económicos, con estructura de hormigón armado. Las obras de hormigón armado pueden considerarse como seguras contra incendios y, si las armaduras quedan suficientemente recubiertas por el hormigón, pueden clasificarse, sin llevar otro revestimiento, entre las de las clases de resistencia al fuego más elevadas. Un hormigón compacto con adecuada composición granulométrica (muchas partículas de cuarzo), si se emplean en él cementos bajos en cal, es muy resistente contra los agentes atmosféricos y las aguas agresivas, incluso cuando tiene la superficie sin protección alguna.

Por sus propiedades de combinarse bien con el acero el hormigón resulta adecuado incluso para los elementos en forma de barras esbeltas de las construcciones de entramado.

De acuerdo con sus propiedades, el hormigón tiene que resistir las compresiones y el acero las tracciones y con arreglo a este principio hay que colocar las armaduras de acero embebidas en el hormigón.

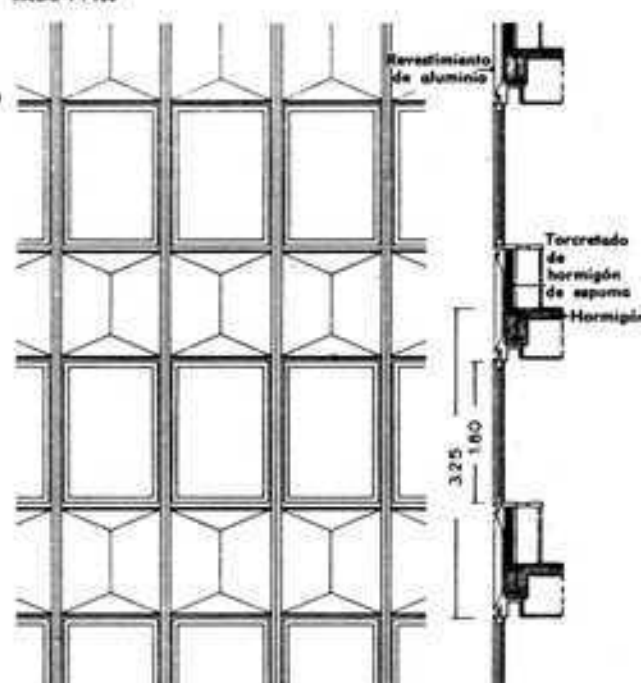
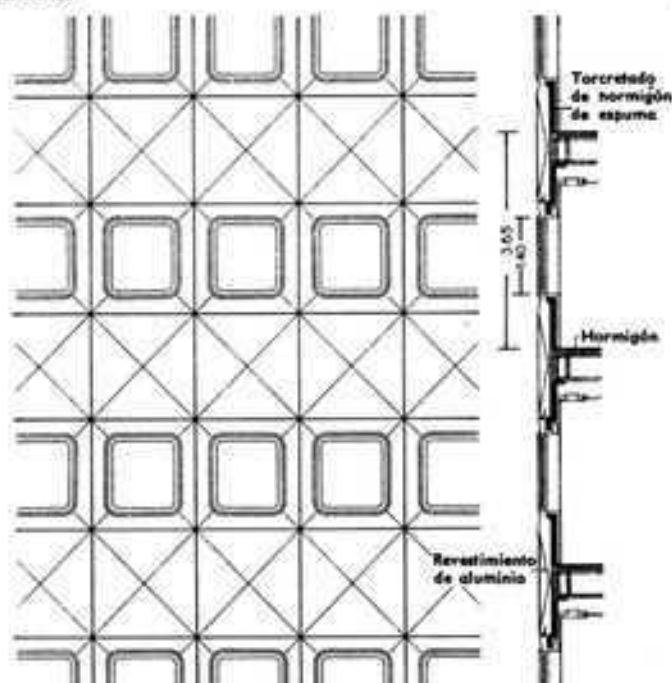
El cálculo de dimensiones de cada una de las piezas de los elementos resistentes se efectúa de acuerdo con la forma en que es solicitada en la estructura y según la calidad de los materiales empleados, cuyo conocimiento exacto ofrece grandes posibilidades de utilización al dar forma a la obra.

El modo de armar y dar forma a cada uno de los elementos resistentes se trata con detalle en la norma DIN 1045.

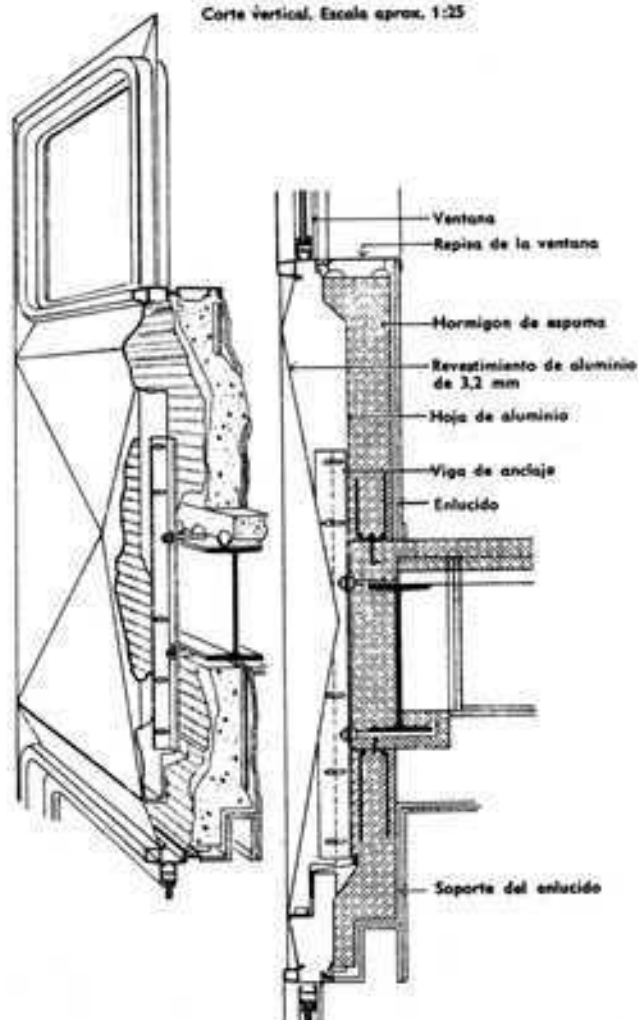
Disposición constructiva

En edificios de tamaño medio la construcción con hormigón in situ, impulsada por el progreso en la técnica del encofrado, continúa siendo el sistema de ejecución más económico. Muchas veces, por motivos estáticos o prácticos, se combina la construcción in situ con el empleo de elementos prefabricados. La construcción a base exclusivamente de piezas prefabricadas de hormigón armado sólo sale a cuenta en edificaciones de gran volumen con gran número de piezas de cada tipo.

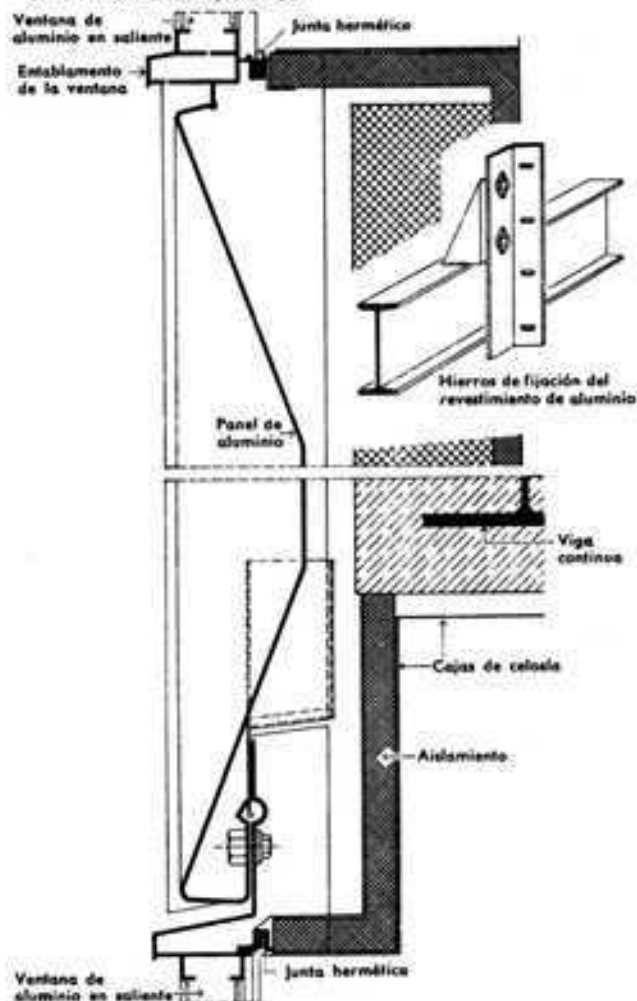
Una obra con estructura de hormigón ejecutada in situ represen-

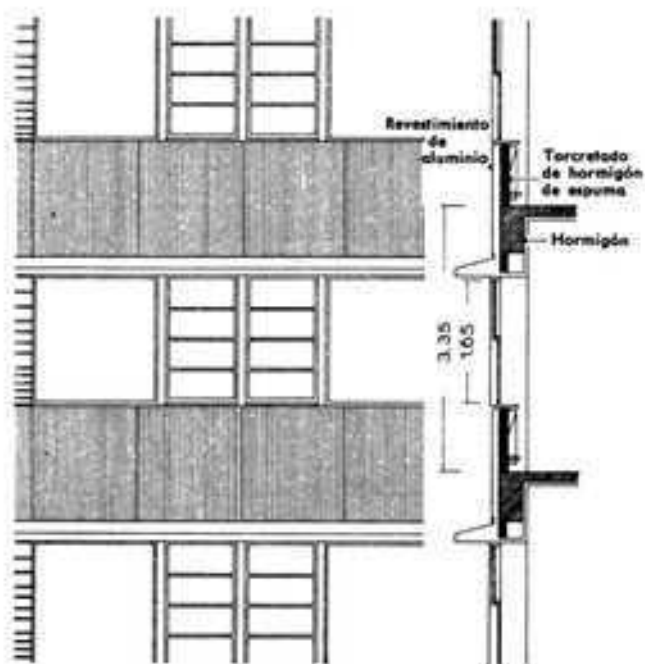


Corte vertical, Escala aprox. 1:25

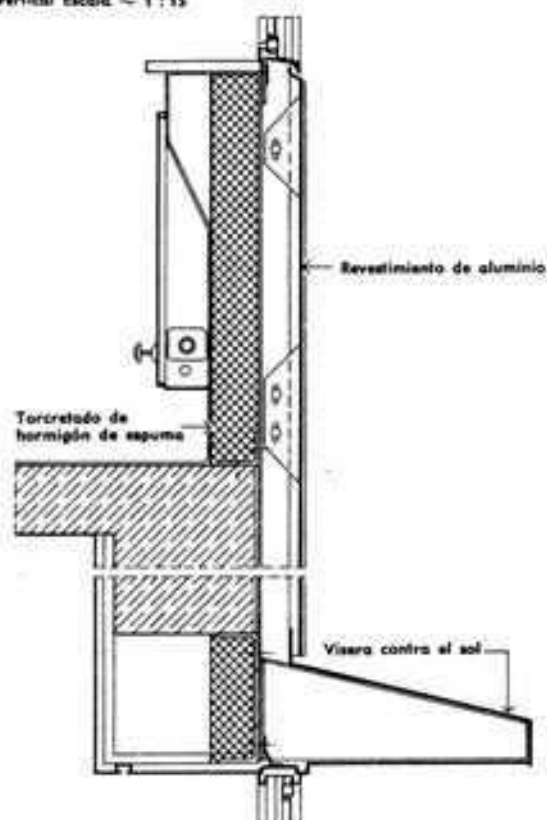


Corte vertical, Escala aprox. 1 : 8

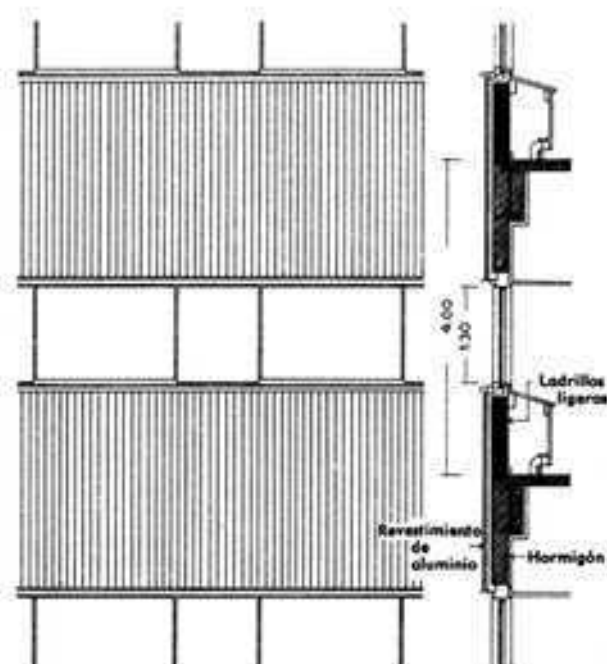
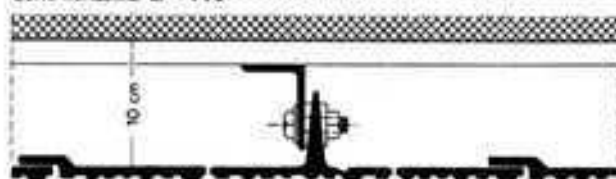




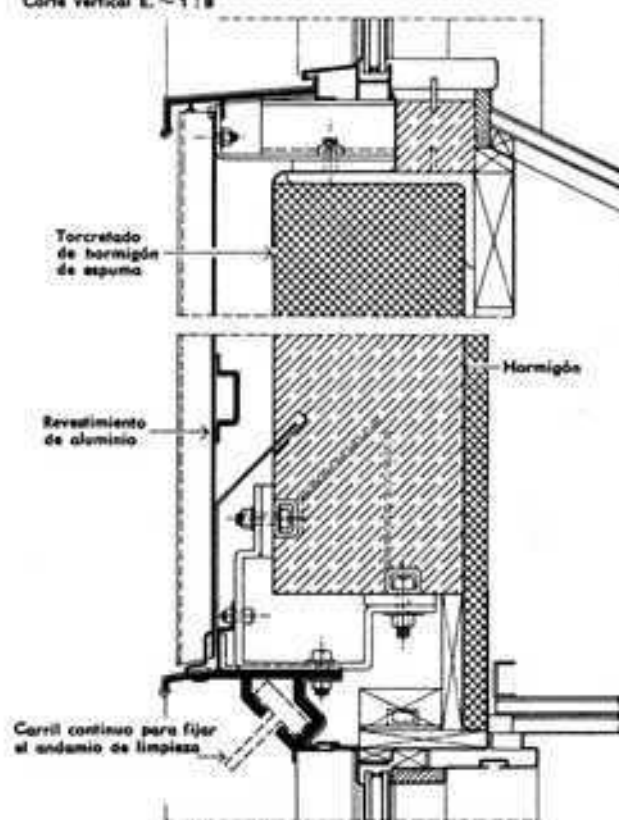
Corte vertical Escala ~ 1 : 15



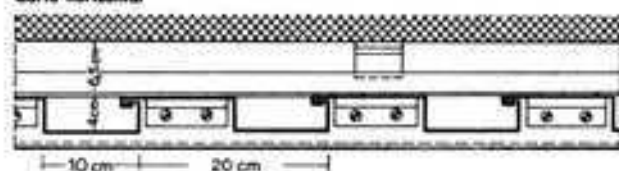
Corte horizontal E ~ 1 : 6



Corte vertical E ~ 1 : 8



Corte horizontal



ta una construcción monolítica. Cada uno de sus elementos resiste más o menos rigidamente a la flexión (grado de empotramiento) en sus enlaces o uniones con los elementos contiguos, con lo cual son varios los elementos que cooperan a la resistencia, así, por ejemplo, las vigas con las losas de forjado (vigas losas), estas últimas con las jácenas o travesaños, y así sucesivamente. Con esto, además, se disminuyen las alturas de construcción, lo que también se traduce en una ventaja económica. Contra esas ventajas existen también algunos inconvenientes, pues la calidad de cada elemento de la estructura y de toda ella en conjunto, así como su aptitud de sustentación, dependen también de la precisión con que se han guardado las medidas prescritas y del cuidado que se haya puesto en la ejecución de la obra. El encofrado del entramado exige una gran cantidad de tiempo y de mano de obra. Además, los elementos sustentantes no pueden desencofrarse ni cargarse hasta que el hormigón se haya endurecido suficientemente. Esto también ocurre con las juntas que transmiten cargas entre las piezas de hormigón armado prefabricadas.

Las modificaciones ulteriores o refuerzos de las estructuras resistentes, como con frecuencia exigen las construcciones industriales (instalación posterior de grúas-puente, refuerzo de las jácenas de los pisos para suspender de ellas cargas o aparatos elevadores de las mismas, etc.), son muy difíciles de hacer o imposibles de realizar. Según las circunstancias, incluso resulta difícil la aplicación *a posteriori* de conducciones, transmisiones, etc. También resulta complicada la ampliación de un edificio de hormigón armado, si no se ha previsto o si no se ha tenido cuidado de que las juntas de dilatación o los cimientos que han de servir para dobles pilares o pies derechos hayan sido previstos para tal eventualidad. El derribo de un edificio exige una cantidad enorme de mano de obra y no proporciona materiales de ninguna clase que puedan volverse a aprovechar.

En las construcciones industriales, las estructuras de hormigón armado sólo resultan adecuadas para edificios cuyo emplazamiento ha de ser fijo e invariable y su aplicación no debe modificarse con posteriores reformas de importancia, como por ejemplo: almacenes, laboratorios y edificios para oficinas; en cambio, sólo son adecuados condicionalmente para fábricas y locales de producción. En esta última clase de edificios se adoptarán en el cálculo cargas útiles más elevadas que las que al principio se creen necesarias, para evitar tener que hacer refuerzos con posterioridad. Para la aplicación posterior de carriles, transmisiones, conducciones, etc., se prevén en los pilares y pies derechos, y por lo menos en las jácenas, carriles de anclaje que al construir la estructura resistente, o esqueleto de la obra, se dejan empotrados en el hormigón.

APOYOS

Las columnas o pilares y los pies derechos de los pórticos sirven para conducir al terreno de las cimentaciones las cargas útiles de los pisos y los pesos propios de éstos que les son transmitidos por las vigas y jácenas incrementados en el peso de estas últimas. Según la norma DIN 1045 hay que distinguir: elementos a compresión en forma de barras (pilares) con $b \leq 5d$ y paredes con $b \leq 5d$, donde $b = d$. A continuación exponemos los artículos que tratan de los elementos a compresión en forma de barras con armadura con estribos (25.2), con armadura zunchada (25.3) y sin armadura (25.4).

25.2. Elementos a compresión con armadura con estribos

25.2.1. Grosos mínimos

Los grosos mínimos de las barras sometidas a compresión con armadura con estribos figuran en la tabla 31.

En las secciones I, T y L, según la tabla 31, fila 2, el ancho mínimo de las alas no será menor que el valor correspondiente dado en la fila 1. Si el ancho de una de estas alas libres es mayor que cinco veces el mínimo grueso de la misma, esta ala se considerará como pared según el artículo 25.5. Las paredes de las secciones huecas se considerarán como paredes según el artículo 15.5, cuando las longitudes netas de sus lados sean mayores que diez veces el grueso de las paredes.

En soportes y otros elementos a compresión, destinados a efectos secundarios, hormigonados horizontalmente, los valores mínimos de la tabla 31 pueden ser rebajados. Se considerará que los soportes y otros elementos comprimidos están destinados a fines secundarios sólo cuan-

Tabla 31. GROSOS MÍNIMOS DE LAS BARRAS SOMETIDAS A COMPRESIÓN CON ARMADURA CON ESTRIBOS

Forma de la sección	Elementos a compresión horizontalmente en situ	Prefabricados y elementos a compresión horizontalmente
	cm	cm
1 Sección maciza + Grueso	≥ 20	≥ 14
2 Secciones en I, T, L y análogas (grueso de las alas y el alma)	≥ 14	≥ 7
3 Secciones huecas (grueso de la pared)	≥ 10	≥ 5

do el fallo de uno de ellos no haría peligrar ni la seguridad del conjunto del edificio ni la resistencia de las partes del edificio apoyadas en él.

25.2.2. Armadura

25.2.2.1. Armadura longitudinal

La armadura longitudinal F_s en el lado estirado o poco comprimido debe ser por lo menos del 0,4% de la sección total del hormigón en toda la sección y por lo menos del 0,8% de la sección de hormigón estáticamente necesaria: la sección de la armadura no debe ser nunca mayor del 9% de F_s —incluso en la zona en que las barras se solapan— (véanse artículos 17.2.3. y 25.3.3.). Cuando la sección de hormigón no se aprovecha estáticamente del todo, la armadura mínima calculada a partir de la sección de hormigón efectiva puede rebajarse en la proporción entre la fuerza normal existente y la admisible. Para el cálculo de estas fuerzas normales hay que conservar como invariables las excentricidades y las esbelteces.

La armadura de compresión F_s puede tenerse en cuenta en el cálculo a lo más con un valor igual a la sección F_s de la armadura situada en el borde estirado o poco comprimido de la misma sección de hormigón. Los diámetros mínimos de la armadura longitudinal figuran en la tabla 32.

Tabla 32. DIÁMETRO MÍNIMO d_s DE LA ARMADURA LONGITUDINAL

1	2	3
Dimensión mínima de la sección del elemento comprimido	Diámetro mínimo d_s en mm para	
cm	SSt 22/34 (I)	BSt 42/50 (III) BSt 50/55 (IV)
1 < 10	10	8
2 ≥ 10 y < 20	12	10
3 ≥ 20	14	12

Para los elementos comprimidos secundarios (artículo 25.2.1.) los diámetros pueden ser inferiores a los indicados en la tabla 32.

La distancia entre las barras de la armadura longitudinal debe ser a lo máximo de 30 cm; pero para secciones con $b \leq 40$ cm basta una barra en cada ángulo.

Las barras de armadura sometidas a compresión, con terminación recta, sólo pueden tenerse en consideración como elementos sustentantes, en los cálculos, desde una distancia a contar desde los extremos de la barra (véase artículo 18.3.4.). Si esta longitud de anclaje no puede quedar totalmente dentro del elemento de construcción al cual se une, se podrá incluir en el cálculo, como longitud de anclaje, una parte del pilar de una longitud como máximo de $2d$ (véase figura 62). En esta zona hay que asegurar el efecto de unión impidiendo por todos los medios la dilata-

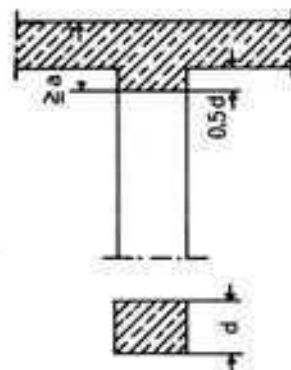
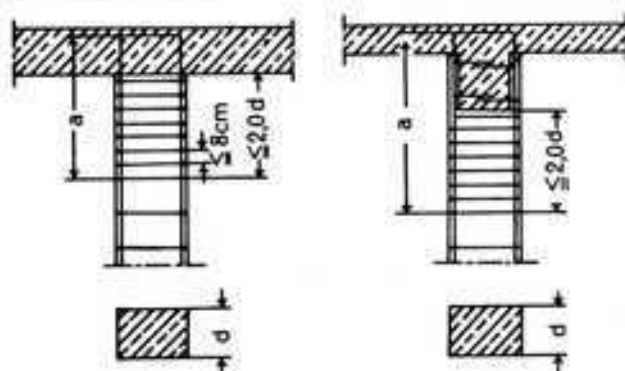


Figura 61. Zona de anclaje del pilar sin adopción de medidas especiales.

ción transversal del hormigón (por ejemplo mediante estribos, o armaduras transversales a distancias máximas de 8 cm), cuando sea necesaria como longitud de anclaje una longitud de más de $0.5 d$ (véanse figuras 61 y 62 a y b).



Figuras 62 a y 62 b. Refuerzo de los estribos en la zona de anclaje de la armadura de los pilares.

25.2.2.2. Estribos en los elementos que trabajan a compresión

Los estribos se cerrarán como se indica en la figura 63 y los ganchos se alternarán en lo posible a lo largo del pilar. Los ganchos deben estar desplazados o bien se alternarán los extremos de los estribos según el artículo 18.4.1. cuando en un ángulo de la sección transversal existan más de 3 barras longitudinales.

El diámetro mínimo de las barras para los estribos, independientes o en hélice, es de 5 mm; para los mallazos, 4 mm, si las barras longitudinales tienen un diámetro $d_s > 20$ mm, serán por lo menos de 8 mm. Sin embargo, los estribos, independientes o en hélice, del diámetro mínimo de 8 mm pueden sustituirse por un mayor número de barras más delgadas, de hasta los diámetros mínimos de barras antes indicados, con la misma sección transversal total.

La distancia a_s entre los estribos, y en su caso el paso a_w de la hélice, debe ser como máximo igual a la menor dimensión d del elemento a compresión o a doce veces el diámetro de las barras de la armadura longitudinal. Se tomará el menor de estos valores (véase figura 63).

Mediante estribos pueden asegurarse contra el pandeo hasta 5 barras longitudinales en cada ángulo de la sección. La distancia entre ejes desde la más alejada de éstas a la del ángulo es como máximo de quince veces el diámetro de los estribos (véase figura 64).

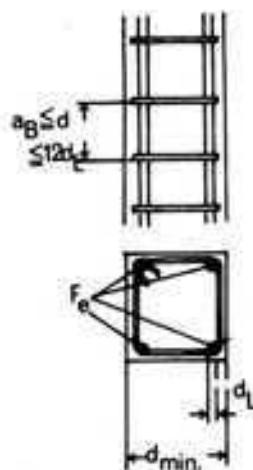


Fig. 63 Estribos

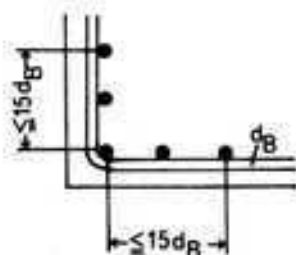


Figura 64. Estribación de varias barras longitudinales

Otras barras longitudinales y las que están a mayor distancia de los ángulos deben asegurarse con estribos intermedios. Pueden estar a una distancia doble de la de los estribos principales.

25.3. Elementos a compresión zunchados

Se consideran zunchados los elementos que trabajan a compresión cuya armadura longitudinal está envuelta por una armadura en forma de hélice circular. Esta hélice debe prolongarse hasta hacerla penetrar en otros elementos de construcción, donde el aumento de efecto sustentante causado por el zuncho no esté obtenido por otros medios, ni exista protección suficiente en otra forma contra las dilataciones transversales y las fuerzas de tracción que producen hendiduras.

25.3.1. Consideraciones generales

Para los elementos a compresión zunchados valen las prescripciones para los elementos a compresión con estribos (véase artículo 25.2.), siempre que a ello no se oponga lo que se dice en los siguientes artículos.

Para el cálculo de dimensiones de los elementos zunchados véase el artículo 17.3.2.

25.3.2. Diámetro mínimo y resistencia del hormigón

El diámetro d_s del núcleo debe ser, para hormigón in situ por lo menos de 20 cm; para elementos abricados en taller, de 14 cm. Para otros datos véase el artículo 17.3.2.

25.3.3.

La armadura longitudinal F_s debe ser por lo menos del 2% de F_k y no debe pasar, ni en las zonas de solape de armaduras, del 9% de F_k . Deben disponerse por lo menos 6 barras longitudinales uniformemente repartidas en el contorno.

25.3.4. Armadura helicoidal (zuncho)

El paso de la hélice a_w puede tener como máximo 8 cm o $d_s/5$. Se tomará el menor de estos dos valores. El diámetro de la varilla que forma el gancho debe ser como mínimo de 5 mm. Sobre limitación de la sección del zuncho, véase el artículo 17.3.2.

Los extremos de las varillas que forman el zuncho, incluso en los empalmes por solape, deben doblarse hacia dentro en forma de gancho angular, o bien deben soldarse a las espiras vecinas.

25.4. Elementos a compresión en forma de barras sin armadura (pilares)

Para el cálculo de dimensiones se aplica el artículo 17.9. Las dimensiones mínimas son las que figuran en las tablas 31 o 33; sin embargo, los gruesos de pared de las secciones huecas no deben ser inferiores a las indicadas en la tabla 31, fila 2, para las secciones en I, T o L. Cuando en las secciones de estos tipos el ancho libre de la aleta es mayor que el grueso mínimo de las aletas, las aletas se considerarán como paredes de hormigón sin armadura.

Jácnas y forjados

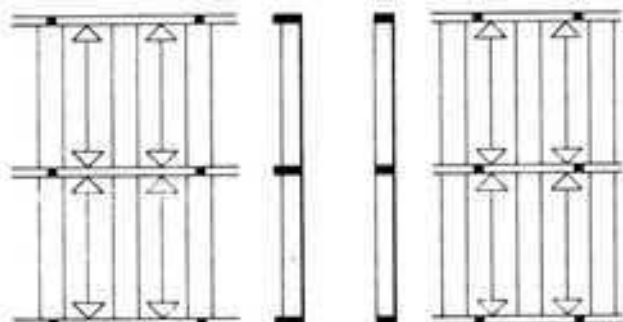
Para el cálculo y la ejecución de los forjados se aplica lo expuesto en la DIN 1045, capítulo 20 "Placas y elementos en forma de placa", 21 "Vigas, vigas en T y forjados nervados" y 22 "Suelos fungiformes", incluidos en esta obra en el capítulo "Techos o pisos".

La distancia entre pilares, o sea la longitud y disposición de las jácnas y forjados, determinan el grueso total del techo. Un aumento de la distancia entre pilares en la dirección en que actúan los forjados tiene siempre por consecuencia un mayor esfuerzo y una mayor altura de las vigas. Mediante una acción solidaria de viga y forjado en la zona comprimida común (en la construcción por montaje, mediante juntas hormigonadas resistentes) se procura disminuir la altura de las vigas.

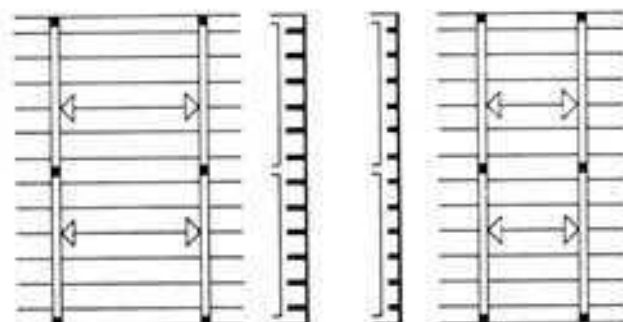
Los forjados en forma de losa con armadura en un solo sentido, junto con las jácnas correspondientes, son los que dan un mayor volumen y un mayor grueso al techo. Los forjados con armaduras cruzadas sobre vigas en ambas direcciones reducen aquellas magnitudes. Los forjados nervados y los contruados con piezas huecas permiten mayores luces con menor peso propio.

En los forjados nervados es posible que toda la altura de la jácna quede dentro del grueso del forjado siempre que la luz de la jácna sea notablemente menor que la del forjado.

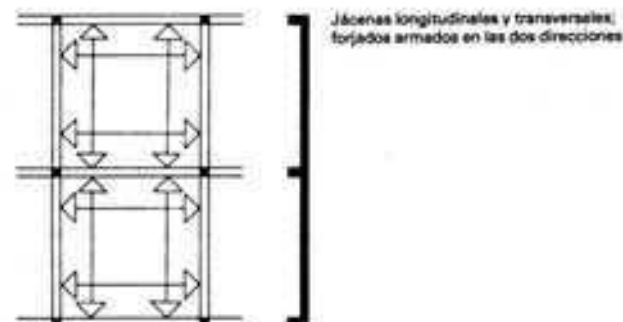
Un mínimo de grueso se obtiene con los techos fungiformes sobre un reticulado de pilares de malla cuadrada. El efecto de viga continua de una losa de hormigón in situ con piezas huecas en el centro de los tramos no puede conseguirse con los forjados a base de piezas prefabricadas; sin embargo, puede reducirse



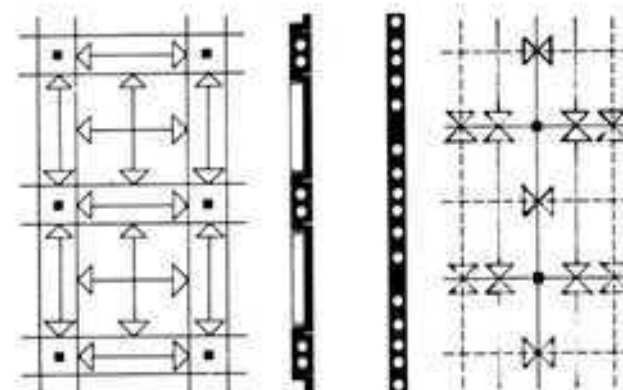
Jácnas longitudinales y forjados transversales. Al aumentar la luz de los tramos sólo aumenta la altura de las jácnas.



Jácnas transversales y forjados longitudinales. Se aumenta la luz de los tramos, aumenta el grueso del techo y la altura de las vigas.



Jácnas longitudinales y transversales; forjados armados en las dos direcciones



Techo sin jácna. Estructuras friformes construidas con elementos prefabricados

Construidas con hormigón in situ

también en este caso el grueso de los techos mediante pilares con cabeza en forma de losa y jácnas planas, o con elementos en forma de casetón que ocupen todo un recuadro.

Construcciones de entramado por montaje de piezas prefabricadas

El gran número de elementos iguales de una construcción de entramado levantada sobre una retícula de soportes hace que parezca muy favorable la construcción por montaje de elementos prefabricados. Pero también hay que considerar los problemas que proceden del gran número de juntas de montaje y de la concurrencia de varios elementos en el reducido espacio de un nudo.

Una construcción de entramado por montaje de piezas prefabricadas sólo dará ventajas económicas y de tiempo cuando el sistema de construcción, la prefabricación, el transporte y el montaje, con sus recíprocas influencias, ya se hayan tenido en cuenta en la planificación. Sólo así puede conseguirse un mínimo gasto de materiales, tiempo y dinero. Es condición esencial para que una estructura en entramado resulte económica que el sistema sustentante no requiera nudos resistentes a la flexión, sino sólo simples nudos articulados, y que las losas que constituyen las paredes y forjados aseguren al edificio la necesaria estabilidad.

Querer ahorrar material mediante el efecto de continuidad de los pórticos rígidos, no suele ser ventajoso. Secciones simples; un número lo más reducido posible de tipos de elementos; la posibilidad de emplear para piezas ligeramente distintas unos mismos moldes adaptables son condiciones que se imponen por la forma en que se realiza la construcción con elementos prefabricados.

Una diferencia esencial entre el sistema de construcción por montaje de elementos prefabricados y el sistema de construcción con hormigón in situ es la ejecución de las uniones de los elementos que componen los pies derechos, y la de las uniones de las jácnas y forjados con los elementos que los sostienen.

Pies derechos prefabricados

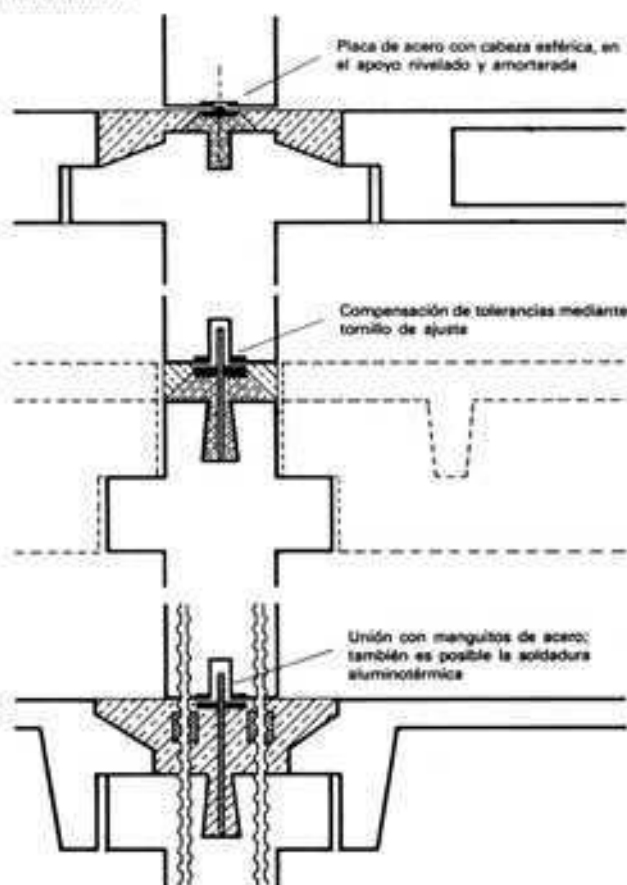
Los pies derechos de una sola pieza son posibles, si se dispone de medios de elevación adecuados, hasta una altura de ~ 30 m. Una rigidización del esqueleto obtenida por solamente el empostramiento de los pies derechos en los bloques de cimentación puede ser suficiente para edificios de hasta unos 12 m de altura sin paredes arriostradas. Los pies derechos llevan unas cartelas en varios lados o a todo su alrededor para que sirvan de apoyo a las vigas de los forjados. Las secciones de los pies derechos y las dimensiones de estos apoyos deben ser iguales, tanto en la parte superior como en la inferior y tanto para los pilares interiores como para los de fachada, a fin de que los elementos que componen los forjados puedan ser todos iguales.

Las uniones de las piezas que componen un pie derecho requieren un cierto tiempo y un cierto trabajo para el ajuste de su posición, su sostenimiento y la ejecución de la junta. Uniendo las armaduras con uniones roscadas, con manguitos o con soldadura y hormigonando las juntas in situ pueden obtenerse uniones rígidas. Para los pies derechos pendulares basta estáticamente un vástago o un tornillo de ajuste para el centrado y la nivelación, sin que sea necesaria la unión de las barras de la armadura. Las cabezas y los pies de los elementos que componen el pie derecho deben unirse axial y directamente. La altura de la parte hormigonada in situ, o sea de la zona de compensación de las tolerancias no es de importancia; entre las piezas que componen el pie derecho no debe intercalarse ninguna viga ni elemento de forjado.

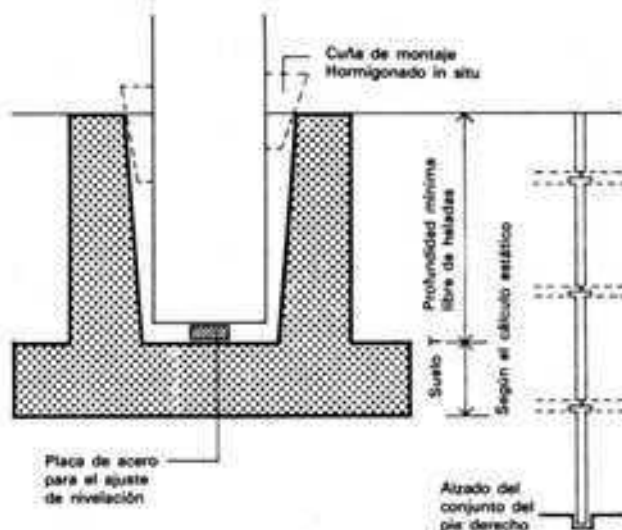
Unión de los forjados a los pies derechos

Tanto los apoyos de las vigas como los de los elementos de forjado tienen generalmente la forma de cartelas. Se procura que la

UNIONES EN LOS PIES DERECHOS EN LAS CONSTRUCCIONES POR MONTAJE



ENCAJE DEL PIE DERECHO EN LA CIMENTACIÓN



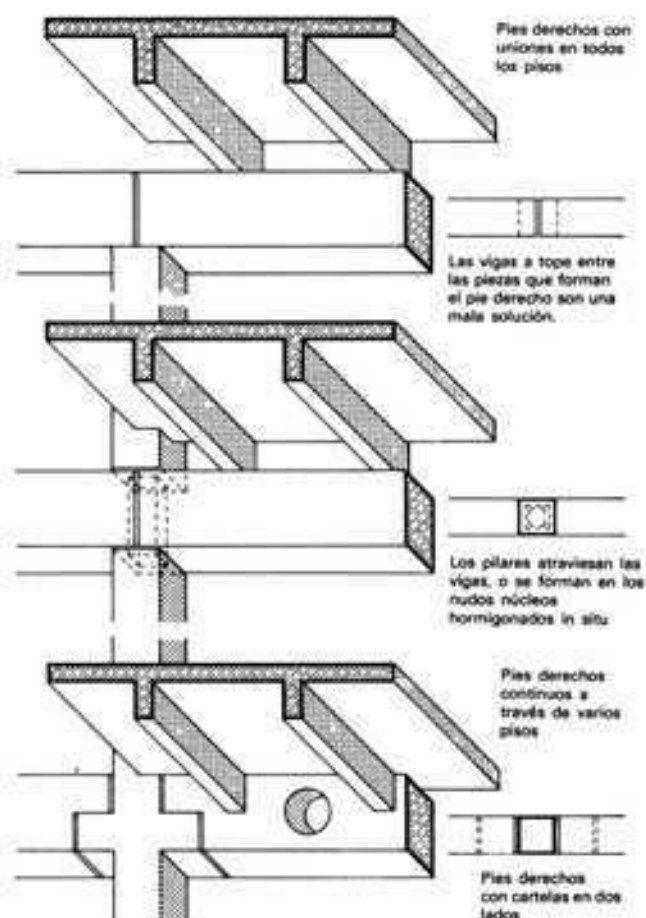
altura de la cartela quede incluida en la altura del forjado. Los acartelamientos en los nervios del forjado que hacen que éste quede elevado sobre las jácenas facilita el paso de las canalizaciones y permite una sección lo más reducida posible para las vigas, pero requiere un mayor grueso para el conjunto del techo. Las vigas de perfil en T y en U invertida pueden mejorar la unión de las piezas del forjado y el efecto de losa del mismo, a la vez que esconden las cartelas en la unión con los pilares. Sobre una retícula de apoyos cuadrada también con la construcción por montaje de piezas prefabricadas se obtienen los forjados más simples. Las placas con armaduras cruzadas (placas huecas o casetones) requieren la mínima masa posible, pero entonces los pies derechos y los elementos de montaje de los forjados cargan desigualmente los aparatos elevadores. Esto se evita mediante apoyos con placa de cabeza y elementos de forjado cuyas secciones transversales se han dimensionado para la carga que han de transmitir.

Posibilidad de modificaciones

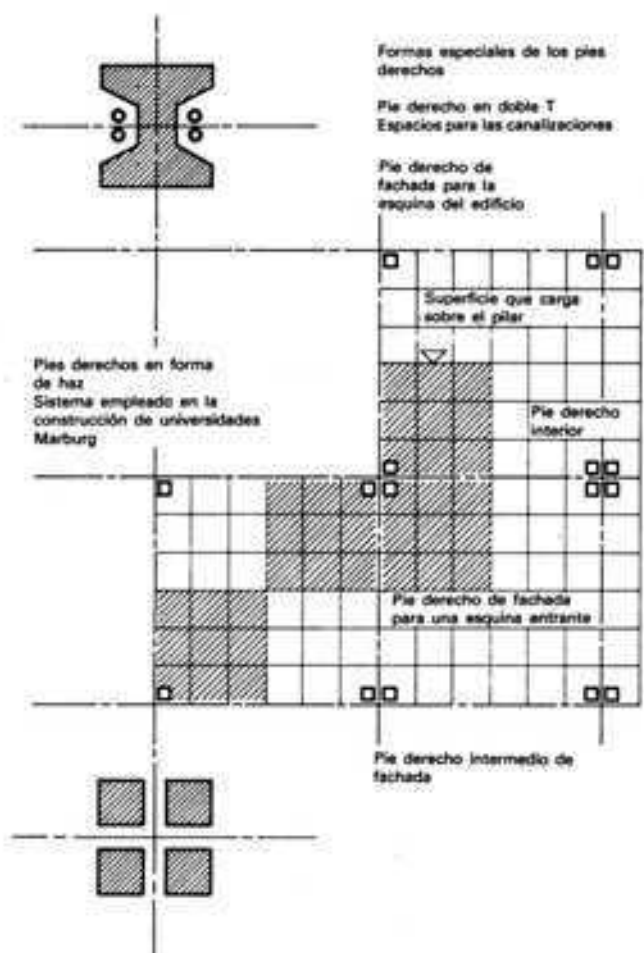
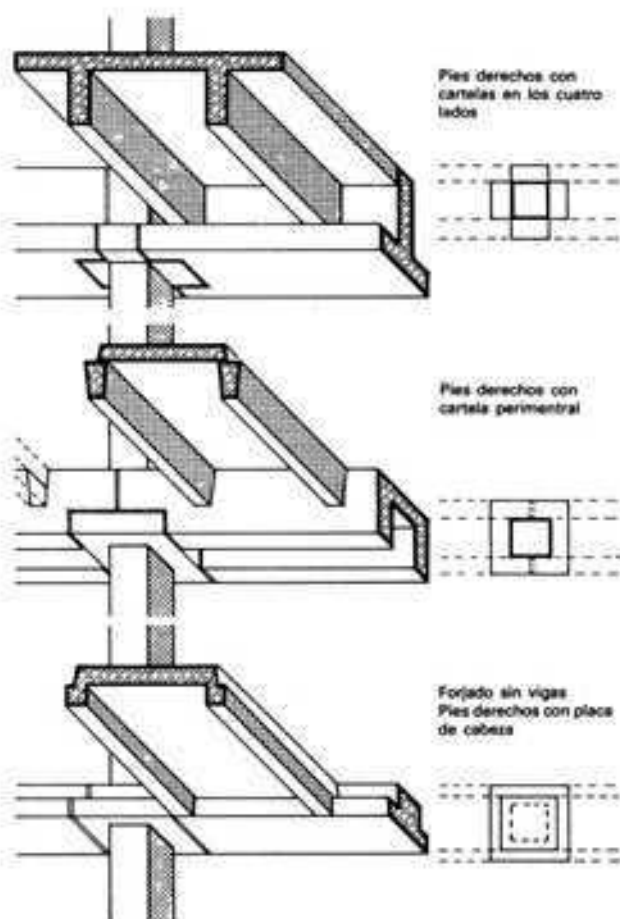
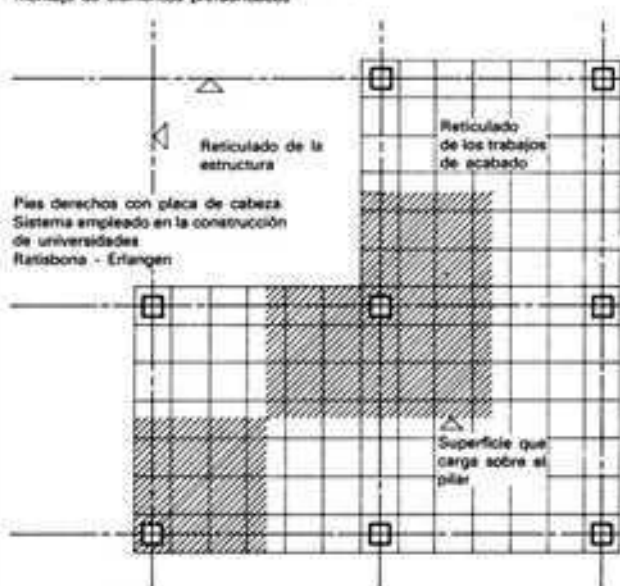
El problema de la posibilidad de modificaciones exteriores e interiores, que por ejemplo en edificaciones universitarias o industriales se presenta siempre, se plantea también en la construcción en entramado de piezas prefabricadas de hormigón. Como en la construcción metálica, pueden disponerse uniones desmontables. También se han desarrollado sistemas mixtos, con los elementos de soporte formados por barras de acero y los elementos de forjado de hormigón armado; pero los sistemas a base exclusivamente de hormigón armado tienen la ventaja de ofrecer seguridad contra el fuego y de presentar una superficies que no requieren trabajos complementarios.

Para que una estructura sustentante sea modificable en todos los sentidos es preciso en primer lugar que exista una gran independencia entre unos tramos y otros y que se distingan un reticulado para la estructura y un reticulado para los trabajos de acabado, y a ser posible que los ejes o bandas de ambos reticulados queden desplazados. A pesar de alguna dificultad se desarrolló a partir de estas condiciones en los años sesenta el "Marburger System". Se basa en la yuxtaposición de elementos tridimensionales en forma de mesa, modificables, y emplea, según su posición en la planta, unos pies derechos en forma de haces de varios elementos, que se corresponden con las franjas del reticulado.

En otros sistemas, apropiados para la construcción de universidades, se emplearon, por el contrario, reticulados de obra estructural y de obra de acabado con los ejes desplazados y pies derechos de una sola pieza con placa de cabeza en voladizo por todos los lados. La posibilidad de ampliación se logra aquí mediante un borde acartelado que llevan los forjados. En el mercado se encuentran diversos sistemas de construcción por elementos completos prefabricados, que ahorran tiempo y reducen el coste.



Posibilidad de variantes en la construcción por montaje de elementos prefabricados



5K-C

Estructura sustentante (2-10100)

(E) Consideraciones generales

La estructura primaria está constituida por pies derechos y elementos de forjado de grandes dimensiones que se colocan directamente sobre unas cuestas que llevan los pies derechos. No son necesarias jácenas. Los elementos básicos de esta estructura son los pies derechos (22.10100, los elementos de forjado (23.10100 y los elementos del forjado de cubierta (27.20100.

(F) Coordinación de dimensiones: medidas

Módulo fundamental M = 100 mm
Gran módulo 2 M = 300 mm
Intereje entre pies derechos, transversalmente a la dirección del forjado: 2,10 - 2,40 - 2,70 - 3,00 - 3,30 - 3,60 m. Intereje entre pies derechos en la dirección del forjado: n x 300 mm.

(K) Resistencia, condiciones estáticas, estabilidad

Pies derechos continuos; elementos de forjado que componen losas; arriostramiento mediante unas pocas paredes de rigidización formadas por piezas prefabricadas (22.10100; Tabiques (32.11), hasta un peso por unidad de superficie de 150 kg/m², pueden ponerse en cualquier punto de la planta (módulo de los trabajos de acabado: 300 - 600 - 1200 mm).

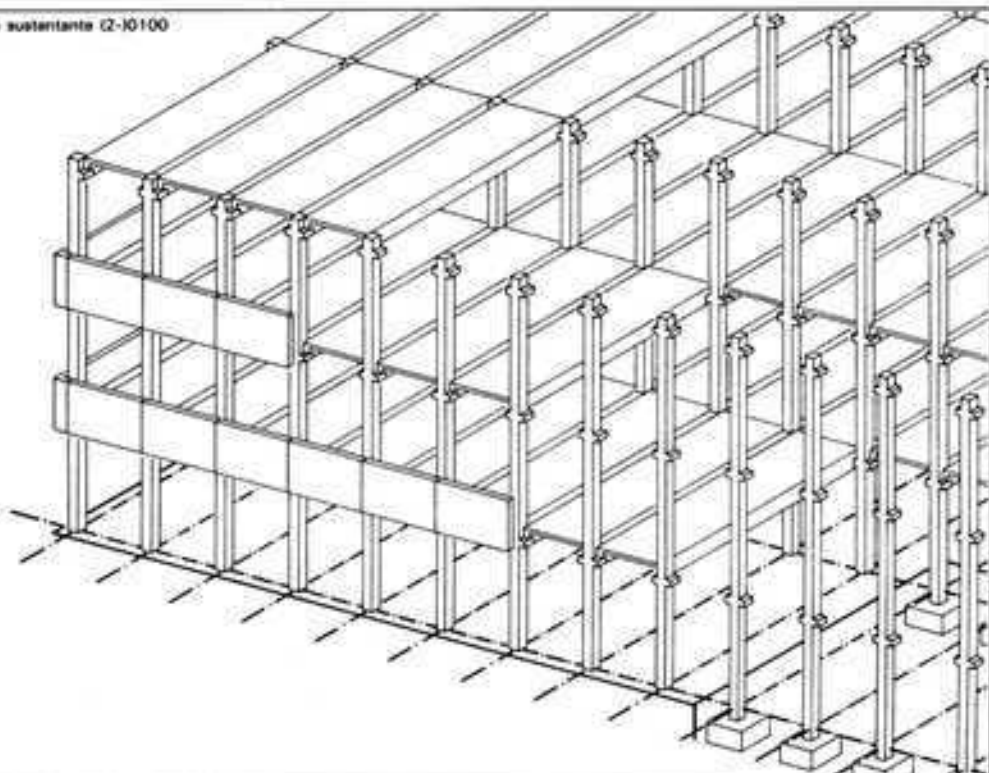
(R) Fuego

Protección contra el fuego de acuerdo con las condiciones de la norma DIN 4102

(U) Técnica de montaje

Entre los elementos de forjado quedan unos espacios iguales al ancho de los pies derechos, que se cierran con un relleno de hormigón in situ que queda formando unas franjas de 300 mm de ancho. En estas franjas pueden dejarse los huecos necesarios para el paso de las canalizaciones verticales. Proceso de montaje: colocación de los pies derechos; montaje de los elementos de pared de arriostramiento, planta por planta o a toda la altura del edificio; colocación de los elementos de forjado de los pisos y de la cubierta, con el relleno de las franjas que quedan entre ellos. Los elementos del muro cortina pueden colocarse al hacer el montaje de la estructura o posteriormente.

Estructura sustentante (2-10100)



Pie derecho (22.1)0100

(E) Consideraciones generales

Elemento sustentante vertical de la estructura (2-10100) con carterías para el apoyo de los elementos de forjado (23.2)0100.

Se emplea en el sistema (2-10100).

(F) Coordinación de dimensiones: medidas

Ordenación modular en planta según el reticulado elegido para la estructura sustentante. La acción normal es de 30/30 cm. La fábrica, según las circunstancias del proyecto, en las alturas correspondientes a una, dos, tres y cuatro plantas.

(G) Forma, superficie, aspecto

Superficies de hormigón visto lisas, se pueden pintar; cantos achaflanados.

(U) Técnica de montaje

Están hechas para unirse a cimentaciones (16).

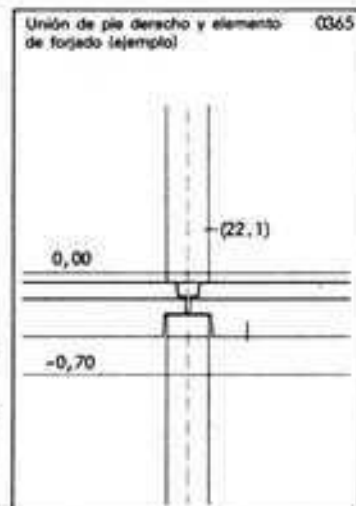
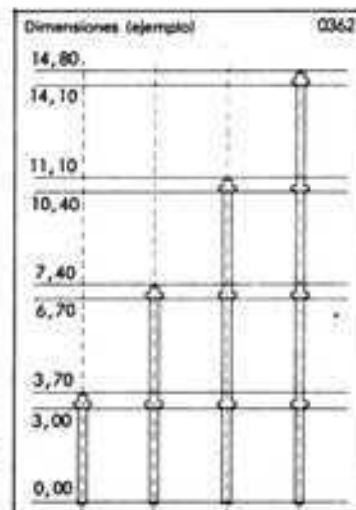
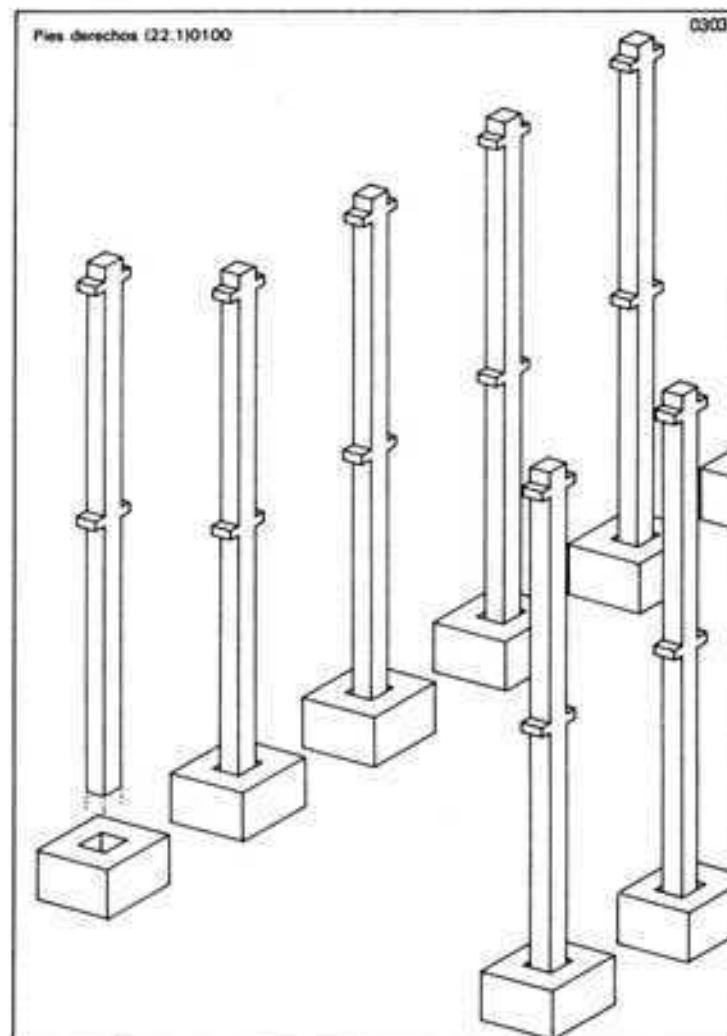
Elementos de pared de fachada (21.6)0100.

Elementos de forjado (23.2)0100.

Estructuras de cubierta (27.1).

Cielos rasos suspendidos (35).

Pavimentos (43).



Elementos de forjado (23.2)0100

(E) Consideraciones generales

Elemento prefabricado de hormigón armado o de hormigón pretensado en forma de arca. Se emplea en el sistema (2-1)0100.

(F) Coordinación de dimensiones; medidas

La coordinación modular está determinada por el sistema de pies derechos (22.1)0100.
Longitudes modulares: $n \times 30$ cm hasta unos 12,00 m.
Distancias entre apoyos: 2,10 m, 2,40 m, 2,70 m, 3,00 m, 3,30 m y 3,60 m. Alturas: 40 cm, 50 cm y 60 cm.
Grosor de la losa: 0,12 m.

(K) Resistencia, condiciones estáticas, estabilidad

Sobrecargas de 500 ó 750 kg/m², incluido un peso de tabiquería de 150 kg/m².
Hipótesis de carga para solado, pavimento y cielo raso: en total, 170 kg/m².

(T) Fabricación, transporte

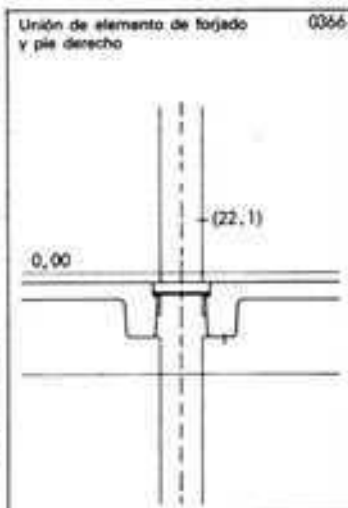
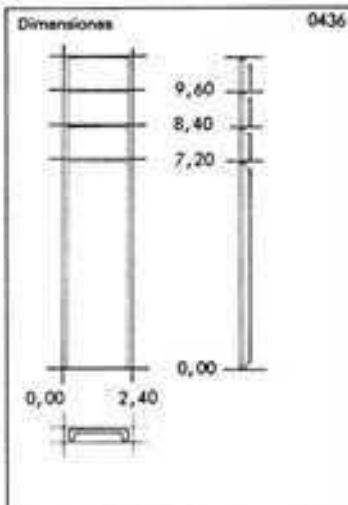
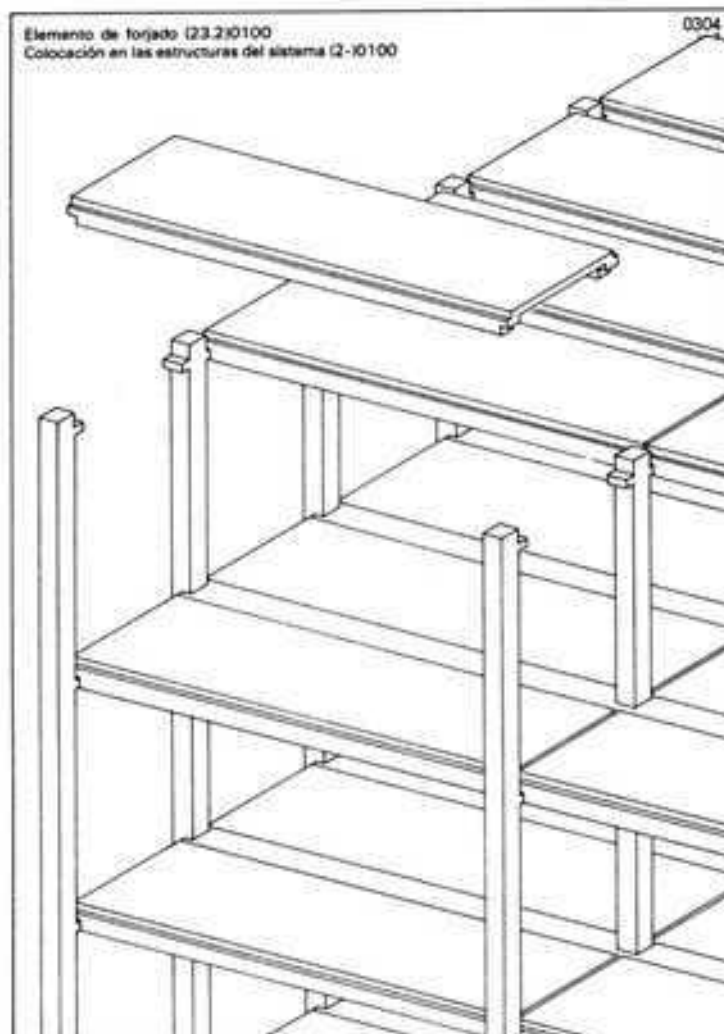
Se fabrica en talleres fijos.

(U) Técnica de montaje

Los distintos elementos de forjado se colocan sobre las cordeles de los pies derechos (22.1)0100 y se unen hasta formar una sola losa mediante alambres, anclajes anulares y relleno de juntas.

Las placas que constituyen la parte superior de los elementos pueden llevar huecos para el peso de canalizaciones. También es posible abrir estos huecos por barrenado una vez terminado el forjado, hasta un diámetro de 200 mm.

Elemento de forjado (23.2)0100
Colocación en las estructuras del sistema (2-1)0100



5K-F

Estructura sustentante para un reticulado de grandes dimensiones

(E) Consideraciones generales

Estructura en esqueleto de piezas prefabricadas de hormigón armado o de hormigón pretensado de gran tamaño, para la construcción de edificios de varios pisos, de aspecto arquitectónico acuosadamente neutro.

Los elementos principales de la estructura primaria son:
Pies derechos prefabricados (22.110500).
Jácnas (23.110500).
Elementos de forjado (23.210500).

(F) Coordinación de dimensiones; medidas

El sistema estructural (2-10500) está coordinado según el sistema basado en el decímetro. Los ejes del gran reticulado de los pies derechos coinciden con los del reticulado en las vigas. Se prefieren los reticulados de malla cuadrada de 7,20 m, 7,80 m u 8,40 m de lado. También son posibles reticulados de malla rectangular y distancias entre ejes de 9,60 m, 10,80 m y 12,00 m. Para la coordinación de las medidas verticales se empleará el módulo fundamental $M = 100$ mm. Se prefieren las alturas de los locales de 3,00 m de altura libre. El grueso de los techos depende de las condiciones de los acabados e instalaciones, pero es como mínimo de 0,60 m, a causa de las jácnas.

(G) Forma, superficie, aspecto

La influencia de esta estructura sustentante sobre el aspecto arquitectónico del edificio es totalmente neutra. Con este sistema se producen solamente unas plataformas para los distintos pisos. La organización de los elementos exteriores e interiores que contribuyen al aspecto del edificio

depende en alto grado de la elección de los elementos secundarios verticales que cierran y crean los espacios y volúmenes de la obra. Los elementos de hormigón que tienen sus superficies ya acabadas no requieren tratamiento posterior alguno; la humedad de ejecución de la obra queda reducida al mínimo.

(K) Resistencia, condiciones estéticas, estabilidad

El esqueleto formado por elementos prefabricados sostiene las cargas verticales.
Las cargas horizontales son transmitidas a través de los forjados, que actúan como losas rígidas, a unos núcleos o losas verticales de anclamiento. En edificios de hasta dos plantas es posible el anclamiento por los solos pies derechos.

(M) Condiciones acústicas

El grueso de las losas que forman el forjado, añadido al grueso del solado de hormigón, dan un grueso de material de 160 mm, que cumple las condiciones impuestas por la norma DIN 4109 sobre protección contra el ruido.

(R) Fuego

Todos los elementos de esta estructura sustentante cumplen las condiciones impuestas por la norma DIN 4102 sobre protección contra el fuego (F90).

(T) Fabricación, transporte

La fabricación de los elementos prefabricados tiene lugar en los talleres fijos de la Hochtief AG Fertigteilbau. Debido al acertado emplazamiento de

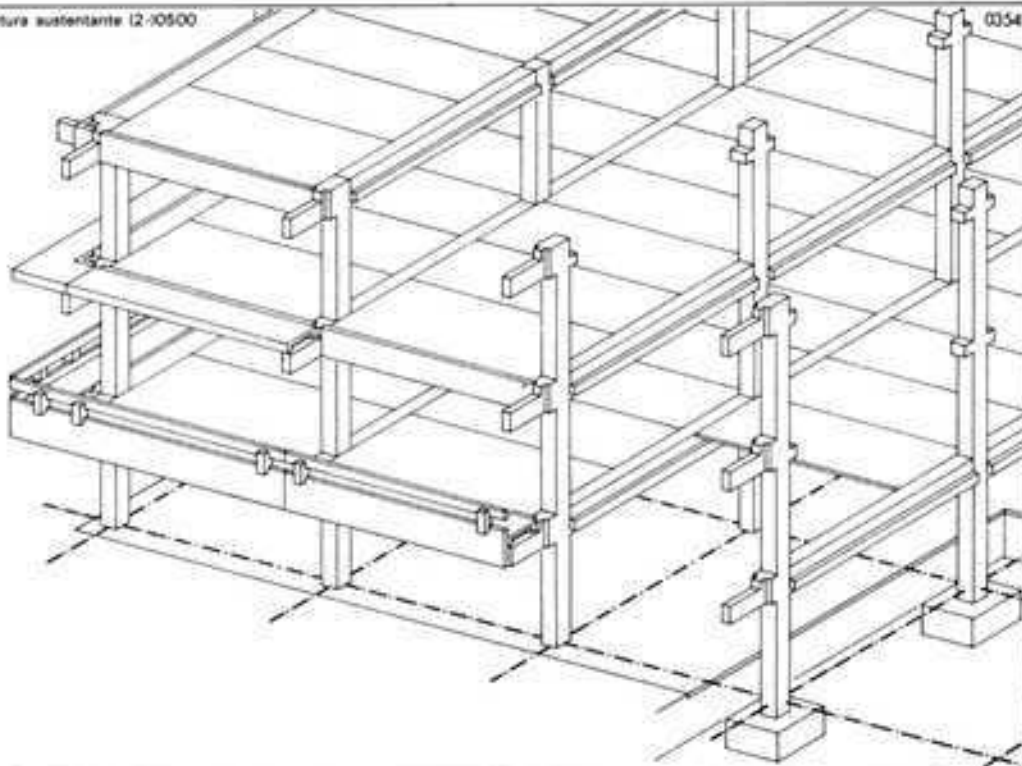
estos talleres y a que las formas y dimensiones de las piezas las hacen aptas para un cómodo transporte, con este sistema de construcción prefabricada pueden construirse obras en toda la República Federal Alemana.

(U) Técnica de montaje

El montaje puede hacerse por plantas, por tramos de toda la altura del edificio. Durante el montaje pueden empezar los trabajos de acabado, pues no son precisos andamiajes de montaje. La duración de los trabajos es notablemente menor que con los sistemas de construcción convencionales y es independiente de los factores atmosféricos.

Estructura sustentante (2-10500)

0354



Pie derecho (22.1)0500

(E) Consideraciones generales

Elemento sustentante vertical de la estructura (2.10500), con carteras para el apoyo de las jácenas (23.1)0500.

(F) Coordinación de dimensiones; medidas

Ordenación modular en planta según el reticulado elegido para la estructura sustentante. La sección normal es de 50/50 cm. Según sea el número de plantas, la carga útil y las distancias entre ellos, pueden emplearse también pies derechos de 40/40 cm, 60/60 cm o 70/70 cm.

(G) Forma, superficie, aspecto

Superficies de hormigón visto liso; cantos achaflanados.

(H) Fuego

Clase de resistencia al fuego F 90 (resistente al fuego).

(I) Fabricación, transporte

Se fabrica en talleres fijos, con hormigones Bn 450 ó Bn 550.

(J) Técnica de montaje

Están hechos para unirse a:

Cimentaciones (16).

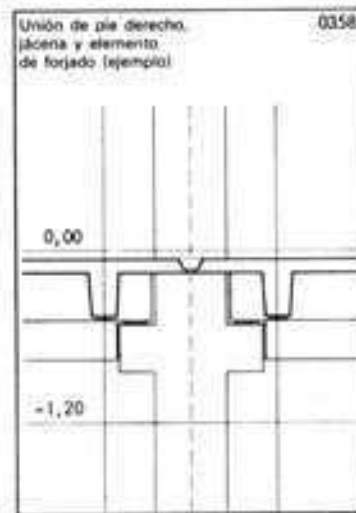
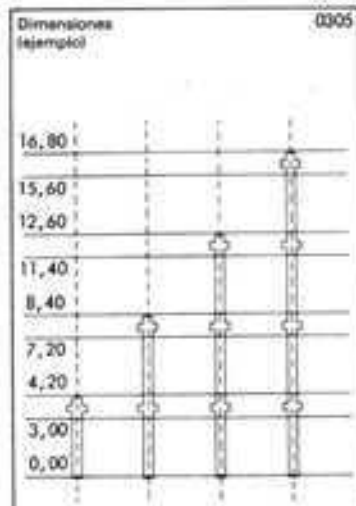
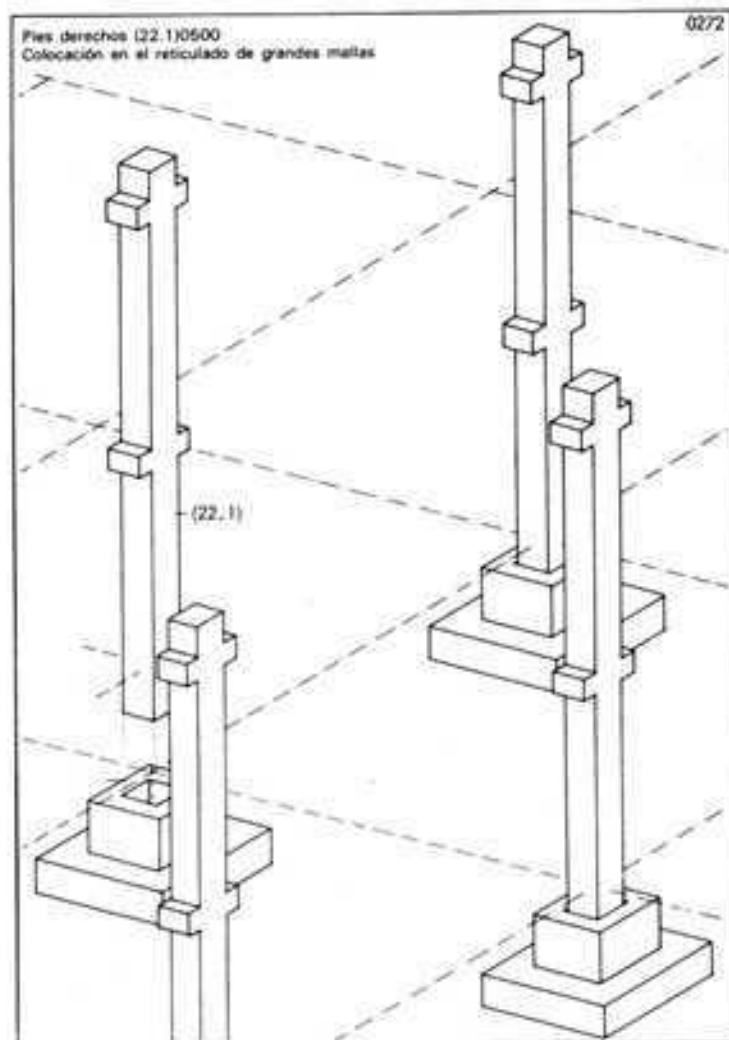
Jácenas (23.1)0500.

Jácenas de cubierta (27.1).

Cielos rasos suspendidos (35).

Pavimentos (43).

No se presentan problemas de enlace con respecto a paredes exteriores, ventanías, tabiques y puertas cuando se ha atendido a que exista una independencia básica entre el reticulado de la estructura y el de los trabajos de acabado.



Elemento de forjado (23.2)0500

(E) Consideraciones generales

Elemento prefabricado de hormigón armado o de hormigón pretensado, formado por dos vigas T unidas, que constituyen un elemento de forjado de forma TT.

(F) Coordinación de dimensiones: medidas

Determinación de la altura h (cm)

L (m)	Sobrecarga 500	750	1000
7,20	60	60	60
7,80	60	60	60
8,60	60	60	60
9,00	60	60	60
9,80	60	60	60
10,20	60	60	60
10,80	60	60	70
11,40	70	70	70
12,00	70	70	70

La coordinación modular está determinada por el sistema plus derechos vigas (23.1)0500 y (22.1)0500.

(G) Forma, superficie, aspecto

Las superficies de las losas pueden ser lisas o rugosas; la cara inferior es para dejar el hormigón visto (encofrado metálico); es posible la colocación de un cielo raso suspendido.

(K) Resistencia condiciones estáticas, estabilidad

Sobrecargas de 500 kg/m², 750 kg/m² o 1000 kg/m², incluido un peso de tabiquería de 150 kg/m². Hipótesis de carga para solado, pavimento y cielo raso: en total, 170 kg/m².

(R) Fuego

Clase de resistencia al fuego F 90 (resistente al fuego)

(T) Fabricación, transporte

Se fabrica en encofrado sin fin, en talleres fijos.

(U) Técnica de montaje

Los distintos elementos de forjado se colocan sobre las jácenas (23.1) y se

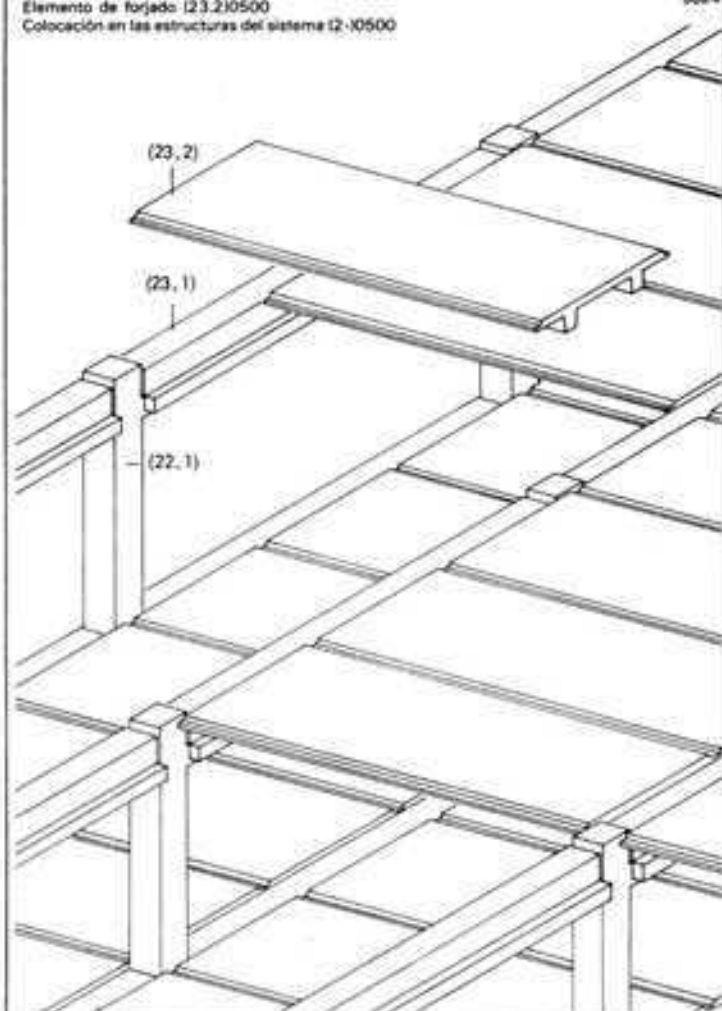
unen hasta formar una sola losa mediante alambres, anclajes anulares y relleno de juntas. Las placas que constituyen la parte superior de los elementos pueden llevar huecos para cúpulas de iluminación o para el paso de canalizaciones. También es posible abrir estos huecos por barrenado, una vez terminado el forjado, hasta un diámetro de 200 mm.

(Y) Costes, economía

Entre los forjados a base de piezas prefabricadas esta estructura representa un óptimo de economía en relación a las cargas que puede sustentar.

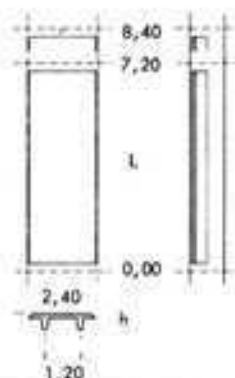
Elemento de forjado (23.2)0500
Colocación en las estructuras del sistema (2.1)0500

0024

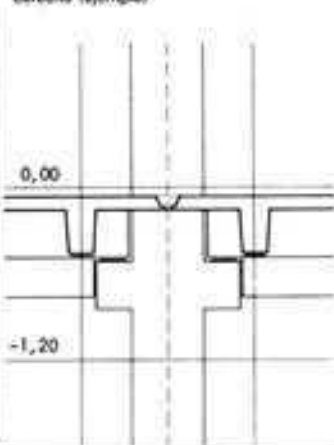


Dimensiones
(ejemplo)

0359



Elemento de forjado,
jácena, pie
derecho (ejemplo)



Jácnas (23.1)0500

(E) Consideraciones generales
Elemento horizontal que forma parte de la estructura sustentante (2-10500, para el apoyo de los elementos de forjado (23.2)0500. Estas jácnas se suelen colocar en la dirección longitudinal del edificio; los elementos de forjado, en dirección transversal. Este es el sistema más racional para los edificios con esqueleto de hormigón armado. Pero si la estructura del edificio cumple ciertas condiciones las jácnas pueden ponerse también en sentido transversal. Al tomar una decisión en dicho sentido hay que tener en cuenta la dirección de los conductos de aire acondicionado, cuyos ramales principales es conveniente que vayan paralelos a las jácnas. En todo el perímetro del edificio se pone una jácna de borde.

(F) Coordinación de dimensiones:
medidas
Las jácnas van entre los pies derechos:

por lo tanto su longitud es siempre menor que la dimensión correspondiente de las mallas de la retícula y depende de las dimensiones de la sección de los pies derechos elegidos. El ancho del cordón comprimido es igual al de los pies derechos correspondientes. (22.1)0500. La altura de la jácna depende de la superficie del tramo que sostiene y de la carga que actúa sobre él. Las dimensiones de la sección bid (cm) se calculan por la siguiente tabla:

L (m)	Sobrecarga hasta 1000 kg/m²
7,20	50/70
7,80	50/70
8,40	50/80
9,00	50/80
9,60	50/90

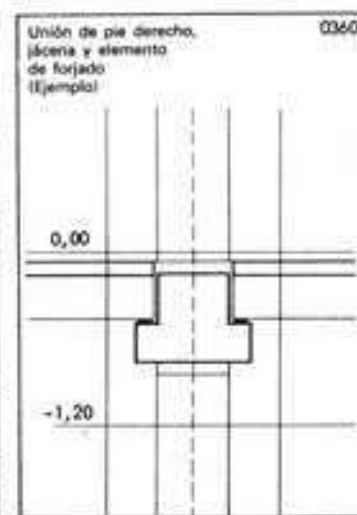
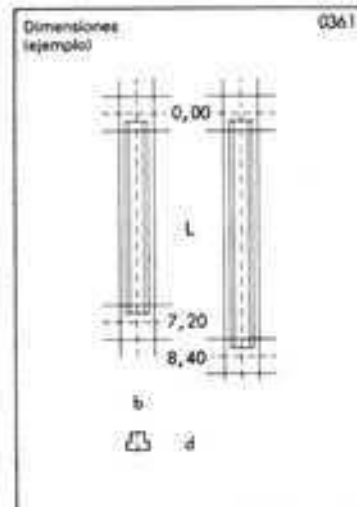
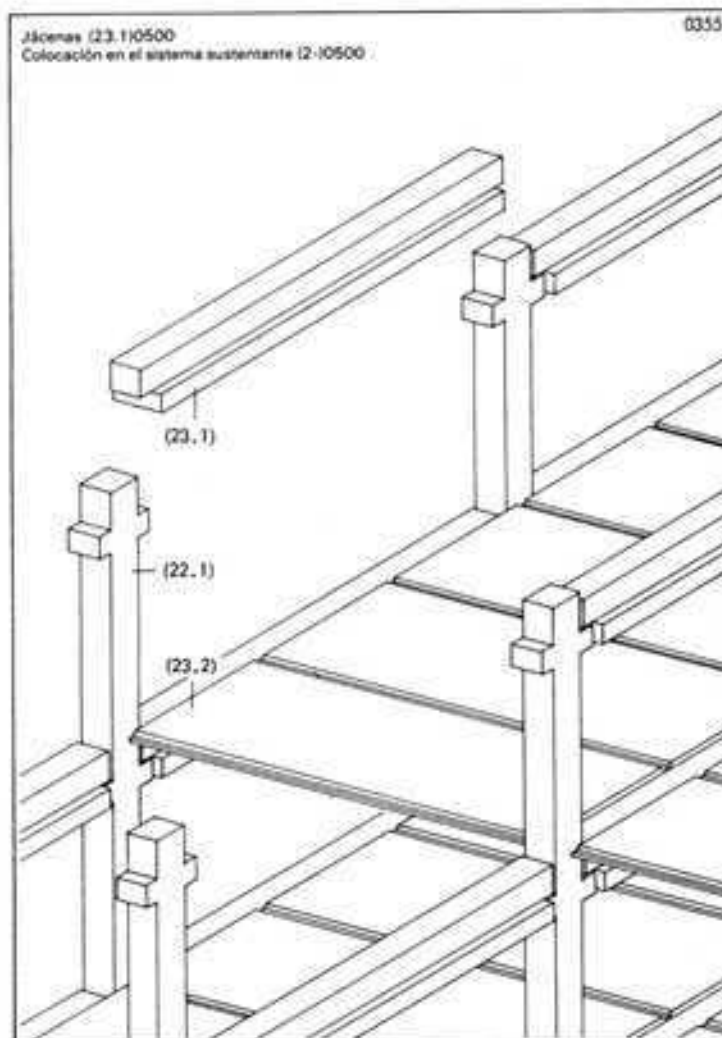
(G) Forma, superficie, aspecto
Superficies de hormigón visto (encontrado metálico).

(K) Resistencia, condiciones estáticas, estabilidad
Vigas de un solo tramo

(R) Fuego
Clase de resistencia al fuego F 90
Resistente al fuego

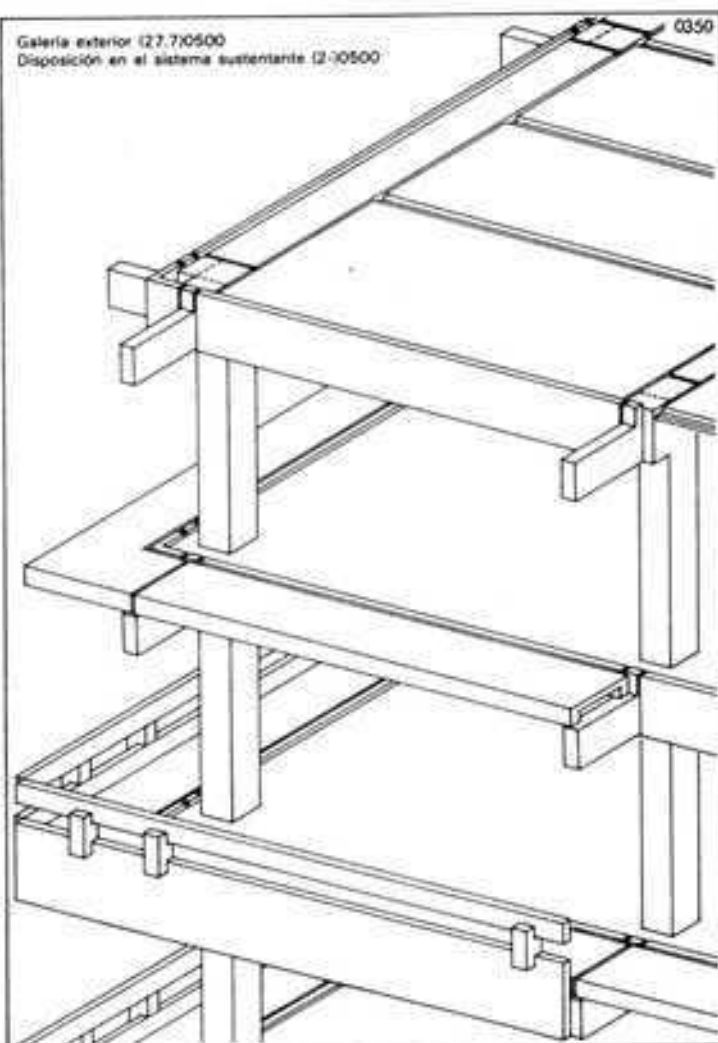
(T) Fabricación, transporte
Se fabrica en talleres fijos

(U) Técnica de montaje
Las jácnas quedan unidas a los elementos del forjado por medio de alambres y relleno de hormigón, de modo que el conjunto actúa como una losa horizontal.



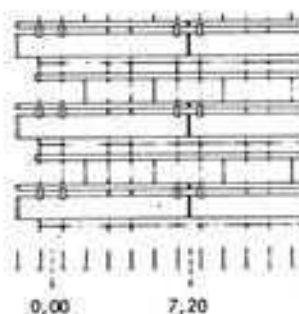
Construcción con esqueleto de hormigón armado

Galería exterior (27.7)0500
Disposición en el sistema sustentante (27.7)0500



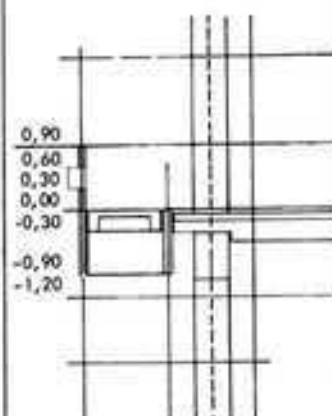
Alzado

0351



Unión de la galería exterior,
los pies derechos y las jicnas

0451



Construcciones de entramado metálico

La construcción a base de entramado metálico es uno de los sistemas de construcción con elementos prefabricados o de montaje. La piezas que han de formar la estructura son preparadas en el taller y su elaboración es independiente de las inclemencias del tiempo. Al mismo tiempo pueden irse ejecutando los trabajos de movimiento de tierras y preparando las cimentaciones. El montaje del esqueleto metálico en la obra se efectúa rápidamente, con lo cual se logra una notable reducción del período de construcción. Tan pronto como queda montado el entramado puede colocarse la cubierta y efectuar el resto de los trabajos de la obra a cubierto. La construcción de entramados metálicos permite en todo momento efectuar ulteriores refuerzos de los elementos portantes, cuando así lo requieren las modificaciones y aditamentos que puedan presentarse (por ejemplo, refuerzo de los pies derechos cuando hay que instalar algún puente-grúa, o refuerzos de las jácenas si hay que suspender de ellas guías, carriles, conducciones, etc.). Cuando se producen asentamientos en las cimentaciones, el entramado metálico permite levantar y reponer en su sitio partes completas del edificio (obras en territorios mineros, susceptibles de sufrir descensos del terreno). Incluso resulta posible desmontar una obra para trasladarla y volverla a montar a otro sitio. Por estas razones es apropiado el empleo del entramado de hierro en las construcciones industriales. El inconveniente de los entramados metálicos es el peligro de corrosión y su gran deformación y pérdida de resistencia en caso de incendio. Ambos peligros pueden conjurarse aplicando a las piezas de la estructura metálica un revestimiento de protección resistente al fuego.

Si no se requiere protección contra el fuego, se recurre a contrarrestar el peligro de corrosión por medio de capas de pintura, que es el medio de conservación empleado corrientemente. En fábricas y edificios destinados a producción industrial, muchas veces resulta imposible aplicar revestimientos de protección contra el fuego.

Aceros que se usan en construcción

Los aceros empleados en construcción se distinguen por su resistencia mínima a tracción y su grupo de calidad. Para determinar este último se requiere un análisis de la estructura interna del acero, su composición, tipo de fusión, colada, etc. El pertenecer a un determinado grupo de calidad caracteriza al acero para diferentes usos según su disposición constructiva y las condiciones de su producción.

En la construcción se emplean, según la norma DIN 17100, las siguientes clases de acero:

- St 33 con una resistencia mínima a tracción de 33 kg/mm².
- St 37 (designación conjunta para los aceros St 37, St 37-2 y St 37-3) con una resistencia mínima a tracción de 37 kg/mm².
- St 52-3 con una resistencia mínima a tracción de 52 kg/mm².

El acero que se usa para la construcción se fabrica en series de perfiles normalizados que se adaptan estática y constructivamente unos con otros. Además de ellos se fabrican planchas gruesas (>4,75 mm según DIN 1543) para componer vigas de alma llena y hacer placas de nudo para los entramados metálicos.

Perfiles empleados

I		Viga doble T delgada, según DIN 1025, hoja 1
I PE		Viga doble T de ancho medio, con alas paralelas, DIN 1025, hoja 5 y EURONORMA 19

I 8		Perfil de ala ancha con cara interior del ala inclinada, DIN 1025, hoja 2
I PB		Perfil doble T de alas anchas y paralelas, DIN 1025, hoja 2
I PBL		Perfil doble T de alas anchas y paralelas, ligero, DIN 1025, hoja 3
I PBv		Perfil doble T de alas anchas y paralelas, pesado, DIN 1025, hoja 4
U		Perfil U, DIN 1026
Z		Perfil Z, DIN 1027

Barras de acero

Como barras para vigas de celosía, secciones compuestas, etc. se emplean:

L		Angular de alas iguales, DIN 1028
L		Angular de alas distintas, DIN 1029
T		Perfil T, DIN 1024
Q		Cuadrado, DIN 1014
Ø		Redondo, DIN 1013
□		Plano (ancho < 150 mm y espesor > 50 mm), DIN 1017
□		Plano ancho (ancho > 150 mm y espesor > 50 mm), DIN 59200

Perfiles tubulares

-  Tubos de acero, sin costura o soldados, según DIN 1448 y 2448 respectivamente.
-  Numerosos perfiles huecos de sección cuadrada o rectangular, de distintos grosores de pared, de cantos agudos o redondeados, no normalizados.

Los símbolos se componen de una figura y unas letras. El significado de las letras es el siguiente:
 P = de alas con bordes paralelos
 B = de ala ancha
 E = perfil europeo
 L = construcción ligera
 R = construcción reforzada
 S = de cantos agudos

cos, y planchas más delgadas para construcciones secundarias, así como numerosos perfiles especiales laminados en caliente o conformados en frío.

Los perfiles que deben emplearse y sus dimensiones en mm, deben indicarse con precisión con los símbolos correspondientes; en ciertos casos incluso con el número de la norma DIN y las condiciones que debe cumplir el material.

La unión entre los elementos constructivos se efectúa por medio de remaches, soldadura o pernos. Entre estos últimos se distinguen los pernos en bruto, los calibrados y los de alta resistencia. Últimamente se ha empezado a utilizar la cola adhesiva metálica en pequeñas cantidades. La combinación de estos procedimientos debe hacerse de acuerdo con lo prescrito por la norma DIN 1050; esto es, sólo pueden combinarse remaches con pernos calibrados o pernos de alta resistencia con soldadura, pero nunca remaches o pernos calibrados con pernos en bruto.

Longitudes normales

Las longitudes normales de suministro son:

Vigas doble T	de 4 a 15 m
Perfiles U	de 3 a 15 m
Perfiles L	de 3 a 12 m
Perfiles Z	de 3 a 15 m
Perfiles T	de 3 a 12 m
Hierros planos	de 2 a 12 m
Planos anchos	de 2 a 12 m

Se fabrican, además, para la construcción de vigas de alma llena de gran longitud, perfiles laminados de longitud especial, y en casos dados con efectos de pretensado.

Propiedades del acero

El acero empleado en construcción se rige por la norma DIN 17100 —“Aceros en la construcción”— desde octubre 1957. Dicho folleto establece todas las calidades utilizadas en las

estructuras metálicas, esto es, con exclusión de las tuberías y aceros de grano fino cuya aplicación se limita a casos especiales. Para el hierro en tuberías rige la norma DIN 1629, hojas 1 a 4.

Los aceros comercializados se suministran bajo las patentes “Thomas”, “Windfrisch” o “Siemens-Martin”. Mientras el primero de los tres se destina más especialmente a estructuras roblonadas y atornilladas y sólo se admite para ir soldado cuando los esfuerzos a que se podrán someter las mismas soldaduras son poco importantes, los aceros Windfrisch y Siemens-Martin son igualmente utilizables para estructuras soldadas. Los aceros fundidos por el sistema L-D (Linz-Donawitz) equivalen prácticamente a los Siemens-Martin. El sistema L-D consiste en la insuflación de oxígeno puro en el seno de la masa fluida de hierro fundido mediante una boquilla que penetra en un convertidor de revestimiento básico. Con ello se evita la entrada de impurezas en el baño de fusión.

Los empleados en construcción son en general aceros al carbono sin otras aleaciones. Presentan la siguiente proporción de inclusiones en la colada:

Carbono	de un 0,17 a un 0,25%
Fósforo	de un 0,05 a un 0,08%
Azufre	un 0,05%

así como otros elementos de la ganga del hierro. Los más perjudiciales son el fósforo, el azufre, el oxígeno y el nitrógeno. En general provocan efervescencias en la solidificación del vertido y dan lugar a la formación de burbujas. Además estos elementos suelen quedar en el seno de los lingotes de modo que tras el laminado aparecen en medio del alma o de un ala o en la arista interior entre alma y ala. Estas inclusiones de fósforo y azufre, e incluso de carbono, se consideran como materias de sedimentación a separar. También se puede disminuir su concentración mediante el empleo de reductores, esto es, añadiendo a la masa fundida elementos ávidos de oxígeno como silicio y aluminio, con lo cual el acero resultante queda prácticamente a salvo de posteriores alteraciones.

En general se agrupa a los aceros del mercado en tres grupos o calidades. Los usados básicamente en construcción son los St 37 y St 52-3. Con el orden numérico de los grupos de calidad

Ejemplos del empleo de los símbolos

Símbolos		Significado
Gráfico*	Escrito	
 I 160 × 6000 DIN 1025	I 160 × 6000 DIN 1025	Viga doble T de ala estrecha, de 160 mm de altura y 6000 mm de longitud, según DIN 1025
 U PE 240 × 4600 DIN 1025	U PE 240 × 4600 DIN 1025	Viga doble T de ala media, de 240 mm de altura y 4600 mm de longitud, según DIN 1025
 L PB 400 × 2000 DIN 1025	L PB 400 × 2000 DIN 1025	Viga doble T de ala ancha, de 400 mm de altura y 2000 mm de longitud, según DIN 1025
 U 200 × 800 DIN 1026	U 200 × 800 DIN 1026	Barra en U de 200 mm de altura y 800 mm de longitud, según DIN 1026
 L 80 × 10 × 60 Lg DIN 1028	L 80 × 10 × 60 Lg DIN 1028	Angular de lados iguales, de 80 mm de ancho y 10 mm de grueso de aleta, y 60 mm de longitud, según DIN 1028.
 L 120 × 80 × 12 × 800 DIN 1029	L 120 × 80 × 12 × 800 DIN 1029	Angular de lados desiguales, de 120 y 80 mm de lado, 12 mm de grueso, y 800 mm de longitud, según DIN 1029.
 T 80 × 10 × 400 DIN 1017 St 52-3	T 80 × 10 × 400 DIN 1017 - St 52-3	Barra plana de 80 mm de ancho y 10 mm de grueso y 400 mm de longitud, según DIN 1017, de acero St 52-3 según DIN 17100.
 P 88,9 × 4 × 500 DIN 2448	Tubo 88,9 × 4 × 500 DIN 2448	Tubo de acero sin costura, de 88,9 mm de diámetro exterior, 4 mm de grueso de pared y 500 mm de longitud, según DIN 2448
 B 8 × 900 × 980 DIN 1543	B 8 × 900 × 980 DIN 1543	Chapa de acero de 8 mm de grueso, 900 mm de ancho y 980 mm de longitud, según DIN 1543

*En la representación gráfica puede prescindirse del número de la DIN cuando no es posible ninguna duda.

(I^a, II^a, III^a) aumentan las cualidades de soldabilidad y resistencia a la rotura agria.

Un procedimiento para clasificar de algún modo los factores que influyen en el momento de escoger la clase de acero a emplear es el que se basa en las siguientes consideraciones:

- Actuación conjunta de tensiones axiales (tracciones y compresiones) con las cargas.
- Importancia de las cargas permanentes o periódicas.
- Precisión de fabricación y suministro.
- Espesor de los elementos.
- Posibilidad de conformación en frío.
- Influencia del frío y presencia de otros agentes nocivos.

Una cifra valorativa que resume estos factores decide sobre la calidad conveniente en cada caso. Según otro procedimiento más corto se combinan los factores más importantes, a saber: tipo de estructura deseado, presencia de agentes nocivos y utilización prevista y según la importancia de cada uno de ellos se determina la calidad de acero a emplear. Ambos procedimientos han sido elaborados y desarrollados por los profesores Kloppel y Bierett.

Las planchas y planos anchos con grosores mayores de 25 mm deben soldarse tan sólo en estado normalizado. Mediante la normalización se eliminan las tensiones internas del metal y se consigue una estructura de grano fino o compacta.

Las piezas que hayan de rebordarse o doblarse deben ser previamente comprobadas como aptas para dicha operación. En el mercado existen a este efecto los aceros especiales QSt 34, QSt 37 y QSt 52. Las planchas de acero St 37 de 30 a 50 mm de espesor deben someterse al ensayo de doblado por la misma soldadura para probar si son apropiadas para dicho tipo de enlace.

Protección contra la corrosión

Las secciones que actualmente se admiten para los materiales, sometidas estáticamente a los máximos esfuerzos por razones de economía (especialmente las estructuras ligeras de paredes delgadas), deben protegerse cuidadosamente y en forma permanente contra la corrosión. Se distinguen:

- a) Prevención activa, que consiste en una intervención en el proceso de la corrosión mediante una composición especial de los materiales (aleaciones) y una adecuada selección de los mismos, así como por una conveniente estructuración y coordinación de los elementos compuestos por materiales distintos.
- b) Prevención pasiva, que consiste en la defensa de los elementos corrosibles mediante una protección superficial tal como una pintura, un revestimiento de plástico, un recubrimiento metódico o una capa de imprimación en combinación con estos medios.

Acero inoxidable (austenítico)

Los aceros aleados con cromo o con cromo y níquel en las condiciones atmosféricas normales no se oxidan y hacen posible emplear el acero dejándolo con su superficie brillante, sin protección alguna. El elevado precio de los componentes que forman las aleaciones hace que estos aceros resulten hasta tres veces más caros que los aceros de construcción corrientes, lo que explica que generalmente se usen solamente para perfiles ligeros, chapas o elementos de unión.

Acero patinable

Con este nombre se comprenden unos aceros de baja aleación tales como los de las clases RSt 37-2 (acero Patinax) o St 52-3 (acero Cor-Ten) en que, conservando las demás propiedades tecnológicas, un cierto proceso de corrosión los protege contra el progreso de la misma. "La corrosión protegiendo contra la corrosión".

Unas aleaciones de aproximadamente 0,5% de cobre, 0,8% de cromo, 0,5% de níquel y a veces un 0,1% de fósforo son suficientes en las condiciones atmosféricas naturales para que debajo de la capa de herrumbre superficial se forme una capa estanca de sulfatos básicos, hidróxidos, carbonatos, fosfatos y sulfatos de cobre, níquel y cromo, insolubles. Los poros de la herrumbre primaria quedan obturados por este proceso químico hasta tal punto que ni el agua ni los agentes atmosféricos agresivos pueden penetrar hasta el metal puro. La corrosión empieza produciéndose a la velocidad natural y luego va formándose lentamente la capa estanca, en de 1 a 3 años, hasta llegar finalmente a una detención. Tiene el aspecto de una patina compacta, lisa, sólida y adherente, de color entre pardo y violeta, en la cual los desperfectos causados por causas mecánicas se reparan automáticamente.

Como condiciones para su uso solamente tenemos:

- a) que no existan en la atmósfera componentes que ataquen la capa protectora,
- b) que las superficies estén expuestas a los cambios atmosféricos naturales y no queden mojadas permanentemente.

Estructuras resistentes de acero

Hay que distinguir entre las estructuras de alma llena y las de entramado. La cuestión de saber cual de estos tipos es el más adecuado depende de las distancias entre apoyos, de las sobrecargas y de la altura disponible. Cuando se adoptan estructuras de alma llena hay que poner especial atención a las flechas que se producen. Las flechas admisibles de 1/300 prescritas por la DIN 1050, cuando las distancias entre apoyos son grandes, pueden influir notablemente en las obras de acabado. Por esto la flecha admisible, ya desde el principio debería limitarse a 1/1000. Las estructuras de entramado, por su peso propio relativamente pequeño son especialmente adecuadas para cubrir locales con grandes distancias entre apoyos, y permiten una gran libertad en la disposición de las instalaciones.

Por su alargamiento, el acero de construcción es muy apropiado para sistemas estáticamente indeterminados. Cuando para su caso previsto de la carga y en un punto aislado de la construcción se produce una sobrecarga del material (que rebase el límite de fluencia), no se produce la rotura sino únicamente un alargamiento y con él un desplazamiento de las fuerzas hacia un punto menos castigado.

La rigidez del entramado se logra por medio de placas rígidas horizontales (pisos) y verticales (en direcciones longitudinales o transversales), perpendiculares entre sí. Las placas horizontales rígidas pueden construirse sin dificultad empleando formas adecuadas en la construcción de los pisos. Las placas longitudinales y transversales, de posición vertical, se obtienen mediante un forjado suficientemente rígido del entramado, por la colocación de diagonales de arriostramiento o por el empleo de pórticos rígidos. Forjados y riostras en diagonal, sin embargo, sólo son aplicables en los sitios donde no ha de haber aberturas en las paredes, como, por ejemplo, en los muros cortafuegos, cajas de escalera, muros piñones sin ventanas, etc.

Al hacer el forjado del entramado hay que tener en cuenta que un entrepaño no alcanza su eficacia completa hasta que el forjado del entramado de acero no está completo. Para la fase del montaje, por consiguiente, hay que colocar en todo caso diagonales (riostras de montaje) que para mayor sencillez ya no suelen ser desmontadas, quedando incorporadas a la obra. En tal caso puede renunciarse al efecto de placa del forjado y realizar éste con materiales menos resistentes a la compresión, pero más ligeros y mejor aislantes del calor.

Como en la mayor parte de los casos, con la disposición de riostras en diagonal se obtiene un peso de acero más reducido que cuando se busca la rigidez por medio de pórticos; se emplearán únicamente éstos en el caso en que las riostras diagonales no puedan ser empleadas en los puntos que estáticamente lo requieran. Con frecuencia, las riostras en diagonal pueden aplicarse sólo transversalmente, en cuyo caso la rigidez longitudinal tiene que ser obtenida por medio de nudos rígidos.

La realización de un nudo rígido es uno de los problemas más difíciles de las construcciones de entramado metálico. La solu-

ción más sencilla es el enlace con placas de nudo o cartabones fijados con pernos. Se utiliza principalmente en las construcciones industriales. En construcciones en que haya que cuidar más el aspecto estético se procura ocultar esos elementos auxiliares de rigidez mediante revestimientos de techos o paredes, o, donde esto no sea posible, sustituirlos por complicadas disposiciones.

Se suele preferir la solución de la soldadura, que permite una mejor adaptación a la trayectoria de las fuerzas, exige menos trabajo y tiempo y proporciona pesos más reducidos en la construcción y una solución de formas más bellas. Como en las construcciones de entramado metálico, los enlaces o uniones de montaje, por lo regular, no van soldados se sitúan las juntas o uniones en cuestión, casi siempre, apartadas de los nudos soldados y en las proximidades del punto de momento nulo de la pieza correspondiente.

La cantidad necesaria de acero que depende en alto grado del tipo de construcción del entramado, en los edificios de 5 a 12 pisos oscila entre 15 y 30 kg por m² de volumen de edificación. En los rascacielos norteamericanos se calcula un consumo de unos 40 a 70 kg/m².

Cálculos de comprobación

La comprobación de que las solicitudes a que podrá someterse la estructura no sobrepasan las resistencias tabuladas en la DIN 1050 (comprobación de tensiones en prevención de la rotura estática) no es, en general, suficiente.

Hay que ver que no se rebasa también una determinada flecha en la deformación elástica de las piezas (comprobación de deformaciones). La flecha debe mantenerse dentro de ciertos límites que, por regla general, en los edificios de acero, se fijan en 1/300 de la luz para vigas y jácenas con distancia entre apoyos simples mayor que 5 m, y de 1/200 de la luz en el extremo de las vigas en voladizo, siempre que no existan otras razones constructivas, por ejemplo, la conservación de pendientes en una cubierta plana o el peligro de formación de grietas en elementos monolíticos, que fueren a reducir todavía más dicha relación. Para el cálculo de la flecha se utiliza una característica del material que es el "módulo de elasticidad" y que en todos los aceros tiene el mismo valor, a saber: $E = 2\ 100\ 000\ \text{kg/cm}^2$. A causa de la invariabilidad de este módulo el empleo de acero St 52 de alta resistencia no suele presentar economía sensible alguna porque al reducir las secciones de las barras se puede rebasar la flecha máxima.

Para evitar precisamente la aparición de deformaciones es por lo que la comprobación estática de las estructuras de acero ha adquirido su actual importancia. La utilización de barras cada vez más delgadas y esbeltas acarrea los peligros de pandeo, vuelco y abombamiento. Cuanto más ligera y delgada es una estructura más costosa es la comprobación estática.

Para asegurarse contra el desplazamiento o vuelco del esqueleto portante, hay que recurrir a la comprobación de indesplazabilidad de toda estructura de acero compleja, tal como se hace en los edificios altos.

La comprobación de las oscilaciones en evitación de frecuencias de resonancia y la comprobación de resistencia a la producción de roturas por fatiga (solicitaciones alternativas) no suelen ser necesarias en las estructuras de acero.

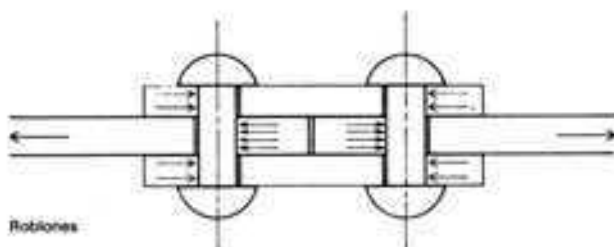
Elementos de enlace

Los enlaces o uniones sirven para mantener unidas las diversas partes de una obra y para la transmisión de los esfuerzos desde una de las partes a la otra.

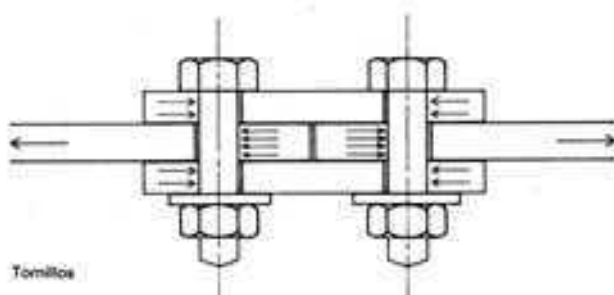
Hay que distinguir entre enlaces separables e inseparables. Pertenecen a estos últimos el remachado y la soldadura; y a los primeros los enlaces con pernos, ejes o pasadores de articulación, cuñas y tensores. En tanto que los enlaces inseparables se construyen preferentemente en los talleres, los de tipo separable se utilizan para juntar en la obra las diversas piezas.

También los distintos sistemas de enlace se diferencian en la forma en que transmiten las fuerzas y en que distribuyen las tensiones. Los robiones y los tornillos que actúan por esfuerzo cor-

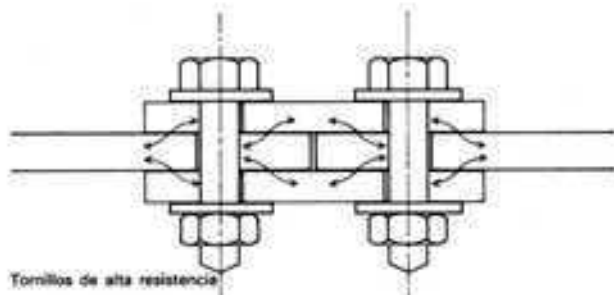
ELEMENTOS DE ENLACE Y TRANSMISIÓN DE ESFUERZO



Robiones



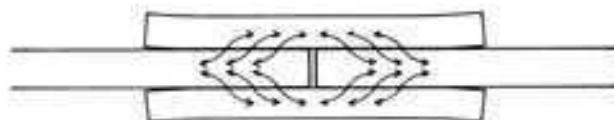
Tornillos



Tornillos de alta resistencia



Soldadura



Adhesivos

tante producen en el vástago del elemento de enlace y en las paredes de los orificios de las piezas unidas la más elevada concentración de tensiones. Más uniformemente se reparten éstas en los tornillos de alta resistencia que actúan por rozamiento. Una continuidad todavía mayor en la distribución de las tensiones sólo se logra mediante las uniones soldadas que forman líneas continuas.

El empleo de adhesivos hasta ahora sólo ha dado buen resultado en las construcciones metálicas ligeras. Este sistema de unión de superficies, en las condiciones oportunas, es el que proporciona la mejor transmisión de esfuerzos.

Se llama "de fuerza" un remachado cuando el enlace correspondiente o costura remachada ha de servir para la transmisión de esfuerzos; y "de fijación", cuando únicamente sirve para mantener unidas las partes que se enlazan. La ventaja de las uniones remachadas estriba en que, en relación con las resistencias, la elasticidad y el alargamiento se comportan casi lo mismo que el material de las piezas objeto de la unión y en todo momento pueden ser comprobadas acerca de su grado de seguridad. El trabajo remachado produce mucho ruido, por lo cual en lugares próximos a ciertos edificios (escuelas, hospitales, etc.) puede ser altamente inconveniente.

Uniones con pernos y tornillos

El perno consta de un vástago con cabeza en un extremo y rosca en el otro y de la tuerca con su arandela. Si se practica una sección longitudinal según el eje del perno, se ve que los hilos de rosca de tornillo y tuerca engranan entre sí, con lo cual es posible, en contraposición con lo que ocurre en los roblones, hacer que el perno, además de trabajar a esfuerzo cortante y a la compresión contra las paredes del agujero, trabaje también a tracción bajo solicitaciones axiales.

La preparación de las piezas que hay que unir es la misma que para el remachado; se introduce el perno por el agujero y por la parte opuesta se coloca la tuerca. Para que encajen las llaves, tanto la cabeza del perno como la tuerca tienen que ser hexagonales o cuadradas. Para que el perno trabaje bien a esfuerzo cortante y a compresión contra las paredes del agujero, la parte rosca debe quedar fuera del agujero. Para apretar bien la tuerca es necesario interponer una arandela.

Como los pernos se colocan en frío, la longitud de material apriada o longitud del vástago puede ser mayor que en el caso de los roblones. Se distinguen dos clases de pernos: brutos y ajustados. En la edificación metálica se emplean en general los pernos brutos que no llenan totalmente los taladros, pero que no requieren preparación tan cuidadosa como los pernos ajustados. Estos sólo se colocan en orificios que deban quedar bien llenos con ellos, como en las uniones de pies derechos y jácenas de los edificios de entramado de acero.

tes prescripciones: los orificios deben presentar un diámetro 1 mm mayor que el del vástago del perno. Las superficies de rozamiento se limpiarán de sus posibles rebabas o irregularidades mediante soplete o chorro de arena. Está permitida la superposición de partes con distinto tratamiento para sus superficies de contacto contiguas. Las partes que presenten signos de oxidación o herrumbre se limpiarán primero pasándoles el soplete y luego cepillándolas fuertemente con un cepillo blando de púas de acero. Las superficies de contacto deben estar en el momento de unirse libres de polvo, colorantes, etc., y deben permanecer planas tras ser sometidas al soplete.

Para las tuercas de las uniones HV (de gran resistencia) se utiliza una calidad 8 G. Para las plaquetas intermedias se escoge la calidad de acuerdo con la dureza del tornillo. La unión se verifica al apretar el tornillo, cuyo avance se produce (transmisión por rosca) al aplicar un par de fuerzas en la corona de la tuerca mediante una llave.

El cálculo al esfuerzo cortante y a la comprensión de la pared lateral del orificio se hace poco más o menos como en el caso de los roblones. Para los pernos brutos hay que partir del diámetro del vástago en los cálculos de resistencia; en los ajustados puede tomarse, como en el caso de los roblones remachados, el diámetro del orificio. Además, las solicitaciones admisibles a esfuerzo cortante y a compresión contra la pared del agujero son más elevadas en los pernos ajustados que en los brutos. Los esfuerzos de tracción axiales se transmiten por medio de la tuerca a la rosca y al vástago y sólo pueden ser contrarrestados por el núcleo del tornillo, por lo cual ésta es la sección que debe aplicarse en el cálculo. Cuando deben hacerse uniones con pernos en perfiles doble T o U cuyas alas no son de caras paralelas se emplean arandelas de cuña. En partes de edificios sujetas a fuertes trepidaciones, es aconsejable asegurar los pernos con doble tuerca o con arandelas elásticas, chavetas o tuercas de seguridad.

La distancia entre pernos debe ser suficientemente grande para que pueda manejarse sin dificultad la llave inglesa o de berbiqui destinada a atomillarlos; por lo menos debe ser tres veces y media el diámetro d. Las distancias a los bordes y al final de la pieza son las mismas que en el caso de los roblones.

En lugar de roblones, en el caso en que el espesor a coser es excesivo se emplean pernos de vástago cónico y sin cabeza (conicidad 1:100). No es indispensable un ajustado de precisión; en cambio, el taladrado y la rectificación del orificio cónico son difíciles.

Los enlaces con tornillos requieren la labra de la rosca en una de las piezas que se unen.

Además de los citados se emplean, según la finalidad a que se destinan, otras muchas clases de pernos que tienen los mismos diámetros de rosca y sólo difieren en la forma que se da a las cabezas y a las cañas o vástagos: pernos para piedra, pernos de anclaje, pernos con cabeza de martillo, etc.

Los enlaces por medio de pernos se emplean:

1. Cuando hay que contrarrestar esfuerzos axiales, como por ejemplo en el caso de los pernos de anclaje.
2. Cuando la longitud de la caña sería excesiva en un roblón para poder hacer la unión remachada.
3. Cuando se requiere cierta movilidad en las uniones, como, por ejemplo, en diversas uniones de vigas.
4. En todas aquellas uniones que deban poder ser fáciles de deshacer, sobre todo en los casos de construcciones auxiliares, salas de exposiciones y construcciones en que haya que contar con modificaciones.
5. En la unión de materiales que no permitan el empleo de roblones; por ejemplo, la unión de piezas de acero con piezas de fundición o de acero fundido.
6. En sitios poco accesibles, donde resulta difícil hacer un remachado o una soldadura.
7. Cuando, en atención a que los alrededores están habitados, no se puede emplear el remachado (por el ruido).

En general se prefiere el uso de los pernos para acopiamentos en la obra, porque se hacen con mayor facilidad, rapidez y economía que con el remachado o la soldadura. Se facilita, además, el montaje de la estructura, porque los pernos tienen mayor movilidad que los otros medios de unión.

RESISTENCIA DE LOS PERNOS
SEGÚN LA NORMA DIN 267

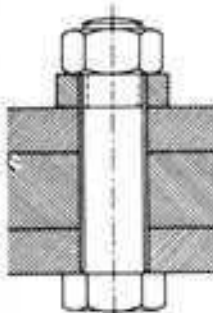
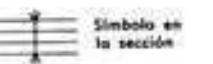
Designación abreviada ¹⁾	Resistencia mínima a tracción kg/mm ²	Límite mínimo de elasticidad (fluencia) en kg/mm ²	Alargamiento: mínimo de rotura, en la barra corta (L ₀ = 5 d); %
4 D	37	21	25
5 D	50	28	22
5 S	50	40	10
8 G	80	64	12
10 K	100	90	8

1) La designación se compone de la cifra aproximada de las decenas de la resistencia a tracción y la letra inicial que corresponde al límite de fluencia y al alargamiento.

En las uniones de alta resistencia pretensadas, llamadas uniones HV (de acuerdo con las iniciales alemanas de "alta resistencia") se utilizan pernos de alta resistencia de la calidad 10 K. Los pernos, que se introducen en sus orificios con un huelgo determinado, se pretensan apretando la tuerca, e incluso, eventualmente, la cabeza. Al hacerlo pueden surgir solicitaciones perpendiculares al eje del perno producidas por fricción con las superficies de rozamiento. La transmisión de esfuerzos se efectúa en esta clase de pernos de una forma fundamentalmente distinta a la de los restantes roblones y pernos, que sólo trabajan a esfuerzo cortante o a compresión. Las partes que componen una unión de alta resistencia deben prepararse de acuerdo con las siguientes

**SÍMBOLOS UTILIZADOS PARA LOS ROBLONES Y LOS
PERNOS O TORNILLOS CON TUERCA (DIN 407)**

	ROBLONES		Diámetro del roblón en bruto mm	8	10	12	14	16	18	20	22	24	27	30	33	36
			Diámetro del orificio 1) mm	8,4	11	13	15	17	19	21	23	25	28	31	34	37
 	Símbolos para	Cabezas redondas 5)														
		Cabezas ovaladas	la superior													
			la inferior													
		ambas														
		Roblones a remachar en la obra														
		Orificios de roblones a perforar en obra														

 TORNILLOS	Diámetro del tornillo	M 8	M 10	M 12	M 14	M 16	M 18	M 20	M 22	M 24	M 27	M 30	M 33	M 36
	Diámetro del vástago 2) mm	8	10	12	14	16	18	20	22	24	27	30	33	36
	Sección del núcleo 3) mm	31,9	50,9	74,3	102	141	171	220	276	317	419	509	636	745
	Diámetro del orificio 4) mm	8,4	11	13	15	17	19	21	23	25	28	31	34	37
	Tornillos con taladro normal													
	Tornillos con taladro anormal 4)	Círculo con indicación de los diámetros del taladro y del tornillo, p. ej.												
	Orificios roscados	Doble círculo con el dato de la dimensión, p. ej.												
	Tornillos a colocar en obra													
	Taladros para tornillos a ejecutar en obra													

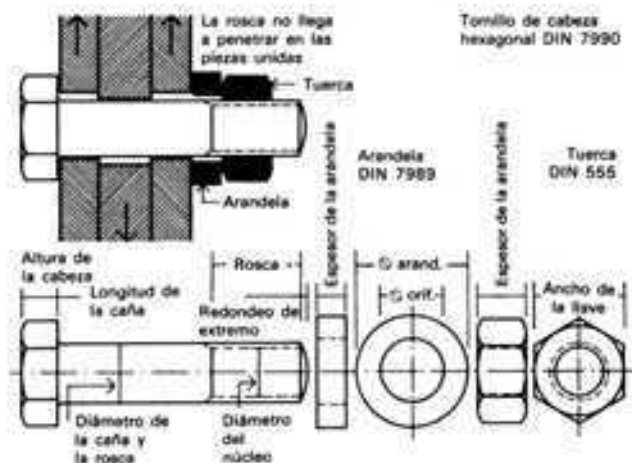
1) Dato para el dibujo y adecuado para el cálculo de los roblones y de la debilitación de la sección.

2) Dato para el dibujo y adecuado para el cálculo de los pernos al esfuerzo cortante y a la presión sobre las paredes del agujero.

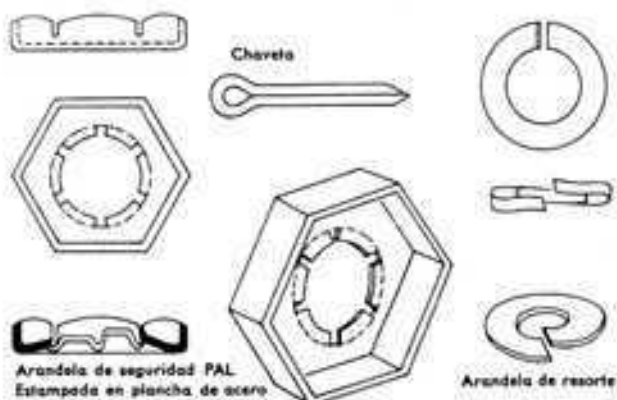
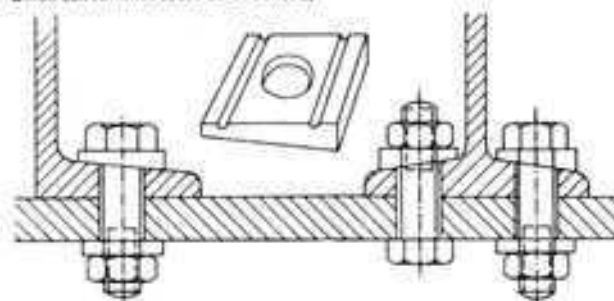
3) Adecuado para el cálculo de los pernos a la tracción.

4) Adecuado para el cálculo de la debilitación de la sección.

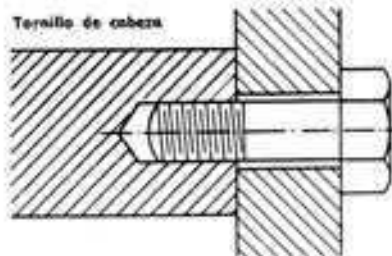
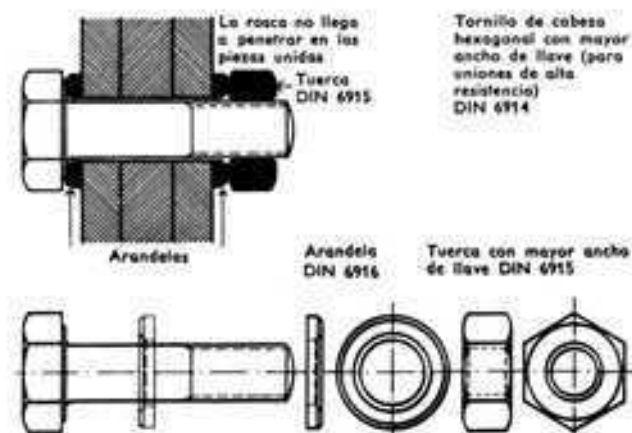
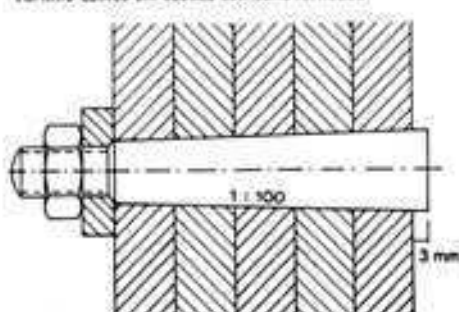
5) En los dibujos en que sólo figuren roblones de un diámetro, único y con cabezas redondas en ambos lados, con objeto de facilitar el trabajo bastará dibujar las cruces de los ejes.



Unión con tornillos sobre caras oblicuas



Tornillo cónico sin cabeza con caña torneada



Uniones por soldadura

La soldadura para el caso de solicitaciones sin movimiento (estáticas) es actualmente equivalente al remachado y en la edificación es generalmente preferida a él por el menor consumo de materiales y de mano de obra. Además, la unión soldada, en las partes de la obra que quedan visibles, ofrece mejor aspecto. La unión de piezas de igual material, o muy parecido, se hace por medio de una costura. Para llevarla a cabo se calientan las partes correspondientes de las piezas que hay que soldar, hasta la temperatura de fusión, y el material necesario para el relleno de la costura se agrega tomándolo del alambre de soldadura. Según la manera de efectuar el calentamiento hay que distinguir: soldaduras por fusión con gas y soldaduras eléctricas, por resistencia y por arco. Esta última, que es la que más se emplea, utiliza la varilla o alambre de soldadura como uno de los electrodos.

Según lo que prescribe la norma DIN 4100 para las construcciones metálicas soldadas, se puede elegir libremente el método de soldadura, pero hay que mencionarlo en el proyecto de la obra. De todos los métodos utilizados, el que ha alcanzado más difusión es el de la soldadura por arco eléctrico, pues es el método con que se logran mejores resultados. Las tensiones térmicas que origina el brusco calentamiento del material en el punto de la soldadura tienen una influencia menos perjudicial que en los otros métodos sobre la eficacia y calidad de la unión soldada. La fluidificación del acero en el punto de la unión se produce por medio de la corriente continua o alterna que circula entre la pieza y el polo opuesto de donde salta el arco. Para ello se emplean electrodos metálicos (alambres o varillas de soldadura) como primer polo del que salta el arco eléctrico hacia el segundo polo, constituido por la misma pieza a soldar. Entonces, tanto el electrodo como la pieza en el punto de la soldadura empiezan a fundirse produciéndose una cavidad llena de fluido incandescente, que es el material que produce la soldadura.

Los electrodos empleados son varillas o alambres de acero de diferentes composiciones. Se distinguen:

- electrodos desnudos (para soldadura con corriente continua y trabajos sencillos en plano horizontal);
- electrodos revestidos (para soldadura con corriente continua y alterna, para soldar en cualquier posición y para uniones de alta calidad. El revestimiento impide una oxidación demasiado fuerte de la costura, contiene sustancias que mejoran el acero, retarda el enfriamiento, cosa que impide la formación de poros, y proporciona soldaduras elásticas);
- electrodos enrollados o de alma (para cordones de soldadura continuos de gran longitud, por ejemplo, en la construcción de depósitos).

En la ejecución de las soldaduras hay que distinguir entre: soldaduras horizontales, verticales y de techo. Estas últimas son las más difíciles de hacer y únicamente soldadores muy expertos pueden hacerlas de la misma calidad que las demás. Hay que evitarlas todo lo posible.

Para cada clase de acero hay electrodos especialmente adecuados. La norma DIN 1913 fija, desde 1960, las características de los electrodos para soldaduras con arco eléctrico. Los electrodos más utilizados para trabajos de acabado son los revestidos. El revestimiento se les proporciona por baño o por prensado y gracias a él, que contribuye a estabilizar posibles oscilaciones del arco eléctrico, se consiguen superficies uniformes de recubrimiento para el baño de fusión.

Según el material del recubrimiento se establecen hasta 6 tipos básicos de electrodos:

Recubrimiento de dióxido de titanio	= Electrodo-Ti
Recubrimiento de mena ácida	= Electrodo-Es
Recubrimiento de mena oxidada	= Electrodo-Ox
Recubrimiento calcobásico	= Electrodo-Kb
Recubrimiento de calulosa	= Electrodo-Ze
Recubrimiento especial	= Electrodo-So

Para trabajos de soldadura en los que se requiere una especial tenacidad del material se utilizan electrodos Kb, pero normalmente son los "Es" y "Ti" los más empleados.

Los electrodos se dividen asimismo en 12 clases, según la clase de acero sobre el que se utilizan. La norma DIN 193 se ocupa de la aplicación de electrodos para cada clase específica de acero. Es admisible utilizar diferentes tipos de electrodos en la ejecución de una misma costura a tope; por ejemplo "Kb" y "Ti". Aparte de la soldadura a mano, se están desarrollando hoy en día otros procedimientos de soldadura más racionales, como los semiautomáticos y los automáticos. Entre las soldaduras semiautomáticas citaremos el procedimiento de electrodos envueltos en gas protector. Para montajes de estructuras ligeras se utiliza el método de los "puntos de soldadura".

Símbolos para las soldaduras

En los dibujos y planos relativos a estructuras metálicas soldadas se utilizan para señalar la forma y dimensión de cada soldadura símbolos simplificados acompañados de las cifras de las dimensiones. Estos símbolos han quedado establecidos por la norma DIN 1912, hoja 1, con objeto de lograr un código unificado y se reproducen en la página 395.

Es recomendable reproducir en los dibujos y planos las diferentes formas de soldaduras que deben aplicarse, dibujadas a escala mayor y aparte —como "detalles"— citándolas en los diferentes puntos del plano a que corresponden con letras y cifras (por ejemplo, S₁, S₂,...). En dichos dibujos a escala ampliada existe la oportunidad de señalar en cuántos sitios se debe aplicar la soldadura y si se necesitan varillas de diversos grosores. Las soldaduras que deban ejecutarse inmediatamente tras el montaje de las piezas en obra, se identificarán simbólicamente con una bandera que las distinga de los puntos donde irán robiones o pernos.

Clases de soldaduras

La forma y el espesor de los cordones de soldadura que en cada caso hay que escoger dependen de las piezas que haya que unir y de las fuerzas que la soldadura tenga que transmitir. Los cordones de soldadura pueden sufrir solicitaciones por tracción, compresión y esfuerzo cortante. Hay que distinguir entre soldaduras a tope y soldaduras en ángulo. Las soldaduras en ángulo son las más sencillas de hacer y son las que se realizan con mayor frecuencia. Las soldaduras a tope, sin embargo, proporcionan mayores resistencias que las de ángulo a causa de ser más favorables en ellas el flujo de las fuerzas.

Formas de las soldaduras

Las formas de las soldaduras deben escogerse, básicamente, teniendo en cuenta, tanto para soldadura manual como para automática, el procedimiento y el tipo de varillas a emplear. Para las soldaduras manuales a tope deben utilizarse las formas que figuran en las normas DIN 1912, hoja 1 y DIN 2559.

Soldaduras a tope

Hasta un espesor de 5 mm en las placas, las soldaduras a tope no exigen preparación alguna de las partes a soldar. Estas se disponen una a continuación de la otra, a una distancia de 1/4 de su espesor, y se procede a su soldadura.

Si los espesores son entre 5 y 15 mm es necesario achaflanar los bordes según un ángulo de 30 a 35°, obteniéndose así una costura en V.

Para espesores de más de 15 hasta 20 mm se aplica, en general, la costura en U (llamada costura de tulipa), la costura en X, la costura en X asimétrica o las en "doble U" y "X" combinadas. La costura de la otra cara de la unión a tope necesita, en general, un repaso o, en caso que no pueda efectuarse la soldadura por el otro lado, una soldadura pasante siguiendo a modo de plantilla el borde de una plancheta de cobre aplanada. En condiciones favorables se pueden llegar a soldar planchas de hasta 12 mm, sin preparación alguna de los bordes mediante la soldadura en I efectuada con una costura llena y correcta.

La mejor unión es la ofrecida por las costuras en X efectuadas por ambos lados.

Soldaduras en ángulo

Si los bordes de las dos piezas a soldar se unen formando un diedro recto u oblicuo, se efectúa la llamada costura angular. Hay que distinguir tres tipos de soldaduras angulares:

- 1) Las de cordón reforzado, de superficie abombada, presentan las desventajas de un notable efecto de muesca y una baja resistencia a la fatiga. Por otra parte necesitan mayor cantidad de material y no ofrecen en contrapartida un refuerzo suficiente de la resistencia. La transición de la superficie del cordón a la de la pieza soldada debe ser siempre lisa y suave.
- 2) Las de cordón achafanado, de superficie plana, mejoran las desventajas del cordón abombado.
- 3) La soldadura angular de cordón aligerado o cóncavo es más elástica y da lugar a menor efecto de muesca. En ella se produce una adecuada superficie de transición de la soldadura a la pieza y por consiguiente una buena transmisión de los esfuerzos con un mínimo efecto de muesca. Ejecutada con electrodos revestidos es la mejor de las soldaduras desde el punto de vista constructivo.

Según su posición en relación con la dirección de las fuerzas hay que distinguir en las soldaduras angulares las frontales, las laterales y las de collar.

Hay un tipo especial de esas soldaduras, que son las soldaduras en ranura y las en agujero. Se trata de unos aumentos de superficie que sólo se aplican cuando las soldaduras angulares por sí solas no podrían resistir los esfuerzos a que se las habría de someter. La anchura mínima de las ranuras ha de ser en tal caso, para poder introducir los electrodos, por lo menos igual al triple del espesor del cordón y de 1.5 veces el espesor de la plancha.

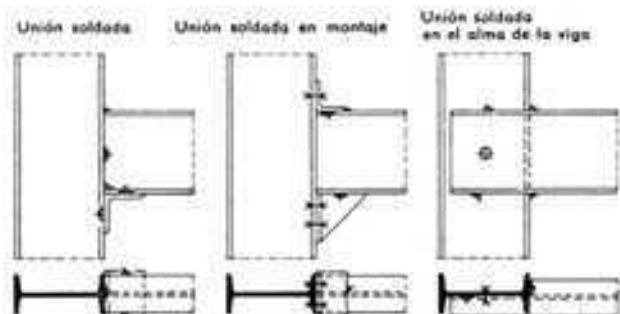
Dimensiones de los cordones de soldadura

Al enfriarse, el cordón de soldadura se contrae y ocasiona deformaciones de las partes soldadas. Si tales deformaciones quedan impedidas por medidas de tipo constructivo, se producen tensiones cuya importancia no es valorable. La importancia de tales tensiones de contracción en la soldadura depende de su espesor y de su grado de fluidez. La soldadura se contrae tanto menos, cuanto más gruesa es. Esas tensiones pueden reducirse subdividiendo la soldadura en secciones cortas. Los puntos de interrupción de tales soldaduras actúan, sin embargo, como muescas o entalladuras del material y en estructuras solicitadas dinámicamente dan origen a roturas sin deformación (roturas lentas). Además, en los cordones interrumpidos de soldadura puede introducirse agua en las ranuras que subsisten, por lo cual deben rellenarse esas ranuras con soldaduras más débiles. Desde el punto de vista constructivo es siempre mejor y más económico disponer en lugar de soldaduras cortas y gruesas, otras más largas y de menor espesor. El grueso del cordón de soldadura se procura, en vista de esto, que no exceda del que el cálculo da como necesario. Para soldaduras angulares destinadas a soportar cargas no deben exceder de 0.7 veces el espesor del material menos grueso que entra en la unión, sin bajar, sin embargo, nunca de 3 mm.

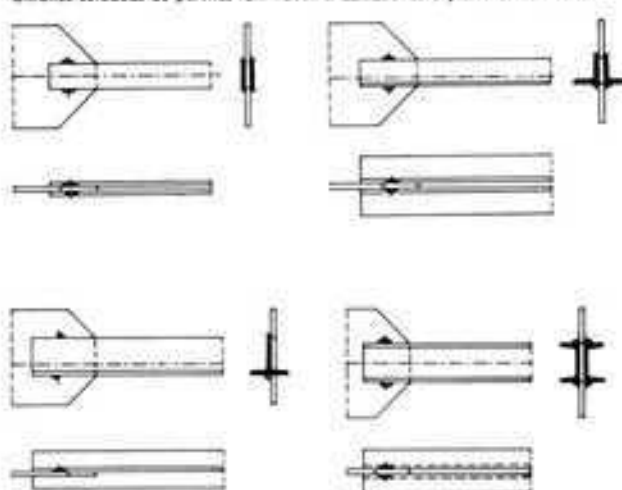
La longitud de las costuras soldadas, después de restar el cráter formado por el arco eléctrico en cada extremo, no debe ser, para soldaduras laterales angulares de uniones de barras, menor que 15 veces el espesor del cordón ni mayor que 100 veces dicha dimensión.

Ventajas e inconvenientes de la soldadura

La soldadura permite, en la construcción de las estructuras de entramado, mayor libertad que el remachado. La sección de los elementos resistentes no queda debilitada y mediante una adecuada realización de los empalmes y uniones puede ser aprovechada totalmente. La realización de muchas uniones, como, por ejemplo, los ángulos de los pórticos y sus eventuales nudos, resulta más fácil. Para obtener uniones rígidas bastan, en general, planchas planas, mientras que con los roblones se requieren laminados de diferentes perfiles. Los refuerzos (incluso a posteriori) de determinados miembros de las construcciones son de



Uniones soldadas de perfiles laminados o cartabones o planchas de enlace



aplicación sencilla. Además, para elementos de compresión pueden también emplearse las secciones tubulares, que se unen bien.

Gracias a todas esas simplificaciones constructivas se obtienen además las siguientes ventajas: menor número de elementos aislados, economía de materiales y reducción del peso.

La ejecución en obra y el montaje de las estructuras soldadas de acero, contrariamente a lo que ocurre con el remachado, no produce ruidos molestos y, por consiguiente, es un método más adecuado para los casos en que los alrededores de la obra estén habitados.

Con la soldadura, en cambio, es fácil que se produzcan deformaciones que introducen tensiones adicionales, que no siempre pueden ser contrarrestadas. En las estructuras de carga ya existentes, sólo es posible la soldadura con un apeo o apuntalamiento suficiente. Si se trata de solicitaciones de carácter dinámico, las estructuras remachadas tienen mayor capacidad permanente para soportar cargas.

Ejecución

Normas de ejecución de edificios altos de estructura de acero

Extracto de la DIN 1000

2.5. Limpieza y protección de superficies

2.5.1. Las superficies de contacto de las piezas de acero deben estar libres de suciedad y óxido y secas antes de superponerlas. Se pintarán con una capa de pintura protectora (generalmente de minio).

En piezas de la estructura sometidas a esfuerzos no preponderantemente estáticos, de acero de alta calidad, las superficies de contacto a rellenar no deben pintarse, excepto las diagonales de rigidez.

2.5.2. Tanto las piezas como las costuras soldadas deben limpiarse de perlas de fusión y escorias.

2.5.3. Cuando las estructuras se suministran con una capa de protección, ésta habrá tenido que colocarse después de haber limpiado y desoxidado y secado la superficie y una vez montada la estructura habrá que repasar muy cuidadosamente las partes no cubiertas, especialmente las costuras soldadas.

Como pinturas de protección se emplearán únicamente productos de eficacia reconocida.

2.5.4. Las superficies de la estructura que en la obra han de ir íntimamente unidas a mortero, hormigón u otros materiales, no llevarán pintura protectora.

2.5.5. Para estructuras ligeras o tubulares de acero en edificios altos rige además la norma DIN 4115, edición 8/50 párrafo 4.1.

2.5.5. En cada caso hay que tener en cuenta la norma DIN 52928, Pinturas de las estructuras de acero.

2.6. Montaje

2.6.1. Durante la carga, descarga, transporte, almacenamiento y montaje de las piezas de acero, éstas no deberán sufrir sobresolicitaciones, alabos o deformaciones. Especialmente cuando se manejen con cadenas, deberán protegerse adecuadamente.

2.6.2. En el montaje de estructuras de acero hay que poner especial cuidado en obtener las formas indicadas en los planos. La correcta posición de los elementos debe comprobarse con repetidas mediciones. También hay que asegurar suficientemente la estabilidad y resistencia de la estructura durante el montaje. Los apuntalamientos y otros dispositivos auxiliares de montaje no deberán quitarse hasta asegurarse de que sean estáticamente innecesarios.

2.6.3. El dimensionado y ejecución de los armazones de apoyo o acceso para las piezas que se montan, se hará de acuerdo con la norma DIN 4420. Al armar las estructuras hay que tener en cuenta que las piezas se pueden deformar por su plano menos resistente y ello no debe dar lugar a sobresolicitaciones.

2.6.4. Sólo se empezarán a roblonar y soldar las partes cuando el armazón se haya completado y las piezas estén bien aseguradas y ajustadas con pernos y mordazas. Sólo podrá prescindirse de esto cuando de alguna otra forma se asegure la obtención de la disposición indicada en el plano.

2.6.5. Los apoyos móviles (rodillos, zapas, etc.) deben montarse de forma que actuando toda la carga permanente y con una temperatura del aire de + 10° C, queden en su posición media.

2.6.6. El espacio entre placa de apoyo y el cuerpo de obra masivo debe rellenarse con mortero de cemento.

2.6.7. Para comprobación, deben ser accesibles todos los roblones, pernos y cordones de soldadura. En uniones no accesibles en la comprobación final, debe efectuarse una comprobación previa.

2.6.8. Los roblones y pernos defectuosos deben sustituirse por otros correctos.

2.6.9. En el montaje de obras de acero soldado deben observarse los siguientes puntos:

2.6.9.1. Para facilitar el montaje no deben soldarse en los elementos portantes piezas que no estén previstas en el plano, ni siquiera de manera provisional, para ser eliminadas luego. Si es necesario, se taladrarán pequeños agujeros (en lo posible en partes poco solicitadas). Estos agujeros no deberán cerrarse posteriormente por soldaduras.

2.6.9.2. Las soldaduras en obra deben reducirse a las mínimas indispensables.

2.6.9.3. Para la ejecución de juntas de vigas soldadas debe recapitalizarse concienzudamente la secuencia de los cordones de soldadura. Las soldaduras de cuello entre cordón y alma, efectuadas en taller, deben terminar algo separadas de la junta a soldar en obra.

2.6.9.4. Las grandes estructuras de acero soldado se empiezan a construir desde el centro para que las sucesivas piezas puedan adaptarse a las construcciones de soldadura sin originar sobresolicitaciones.

2.6.9.5. El examen de los trabajos de soldadura y el ensayo de cordones soldados durante y después de su ejecución se llevarán a cabo por técnicos titulados. La capacitación de los soldadores y de los trabajos de soldadura pueden controlarse mediante ensayos aleatorios de piezas soldadas o con pruebas en piezas de ensayo según DIN 50127 (probetas para examen de la superficie de rotura de soldaduras de fusión a tope o angulares). La superficie de rotura de estas piezas de ensayo debe presentar una correcta textura. Si los resultados de los ensayos aleatorios no cumplen la norma DIN 50127, puede exigirse un ensayo completo de todos los trabajos de soldadura según DIN 4100.

2.6.9.6. Para el examen de aceptación, las costuras no deben estar cubiertas por pintura protectora o, en todo caso, debe ser transparente.

2.6.9.7. Las uniones soldadas se darán como buenas tras el examen de su apariencia exterior y, cuando se exigen, por medio de los ensayos particulares que consten en el contrato.

2.6.9.8. Las soldaduras que no cumplen las exigencias establecidas se eliminarán, siempre que no pongan en peligro la seguridad de la obra, y se sustituirán por otras según plano confeccionado conjuntamente por el calculista, constructor y técnico de soldadura. En los casos en que una segunda soldadura sea problemática, se aplicarán otros medios de unión.

Títulos de capacitación para soldadura de edificios altos de estructura de acero

Extracto de la DIN 1050, párrafo 1.3.

Los talleres dedicados a trabajos de soldadura y montajes soldados deben poseer documento acreditativo de que sus instalaciones y personal técnico han sido reconocidos por un organismo oficial competente. Las condiciones que deben cumplir los talleres, técnicos titulados y soldadores para obtener el permiso indicado, están contenidas en la norma DIN 4100, hojas 1 y 2.

Permiso especial

Extracto de la norma DIN 4100, hoja 1.

El permiso especial es para aquellos talleres que de forma permanente construyen estructuras soldadas de acero bajo la responsabilidad de un ingeniero de soldadura y soldadores titulados y que disponen de instalaciones que cumplen lo indicado en los párrafos 2.5. y 2.6.

2.5. Además de las instalaciones usuales de seguridad para soldadura, deben disponer de mecanismos con los cuales las piezas a soldar se puedan colocar en la posición correcta.

2.6. Si el taller no posee ninguna instalación de examen por rayos X, deberá demostrar la existencia de alguna instalación de la cual puede disponer en cualquier momento. Sin embargo, debe contar con dispositivos para el ensayo de probetas sencillas o instalación para ensayo por flujo magnético.

Permiso ordinario

Extracto de la norma DIN 4100, hoja 2.

El permiso ordinario sirve para pequeños y medianos talleres dedicados a la construcción de simples obras soldadas de acero. Sólo autoriza la construcción de apoyos simples soldados, vigas de alma llena y jácenas para cargas preponderantemente constantes, con un máximo de 500 kg/m² de carga móvil, invernaderos, garajes aislados, escaleras, barandillas y postes de hasta 12 m. También, con reconocimiento de las autoridades de obras, permite la construcción de otras estructuras del mismo tipo y orden de magnitud cuyos espesores en las secciones portantes no sobrepasen 12 mm o 20 mm en las placas de cabeza y fundación de los pies derechos. Como acero sólo emplearán el St 37.

Pisos

Entre los pisos que actúan a modo de placas rígidas figuran: los de losas de hormigón armado o de vigas-losas y también los pisos nervados de hormigón armado con piezas de relleno, y los pisos de piezas prefabricadas de hormigón armado, siempre que la capa superior de hormigón sea suficientemente gruesa. Para que las placas o losas que forman los pisos pueden transmitir al entramado de acero las fuerzas horizontales que en ellas actúan es preciso que estén rígidamente enlazadas con la estructura de aquel entramado, es decir, que los pisos tienen que estar situados entre las jácenas de la estructura o bien hallarse bien enlazados con éstas.

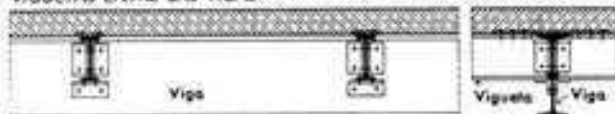
Los pisos entre las jácenas suelen ser antieconómicos porque no pueden ser armados como losa continua y, por consiguiente, tienen un elevado peso propio. Esto representa una carga adicional innecesaria para el entramado.

Los pisos situados sobre las jácenas pueden ir tendidos de jácena a jácena, o bien, si las crujeas son muy grandes, sobre viguetas apoyadas en las jácenas. En los edificios que no requieren el revestimiento de las piezas de acero como medida contra el fuego, se colocan las losas de hormigón armado continuas directamente sobre las viguetas. Esta construcción exige sólo una sencilla y económica construcción de encofrados y el estado en que se hallan las piezas de acero puede comprobarse en todo momento: además pueden siempre ser fijados a la estructura, carriles, guías, transmisiones, etc.

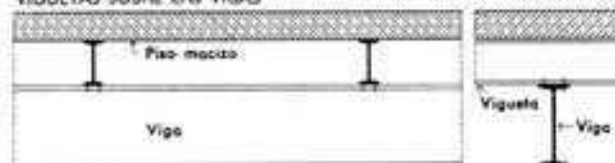
A fin de poder calcular y considerar las viguetas ordinarias colocadas entre jácena y jácena como vigas continuas, se las une y enlaza entre sí y con las jácenas mediante llantas de tracción, hierros angulares y planchas de compresión.

Si se dispone de altura suficientemente grande para construir, pueden colocarse las viguetas en forma de vigas continuas sobre las jácenas. Se obtiene de este modo una sección de vigueta más económica y, al suprimir los ensambles con las jácenas, una construcción más sencilla.

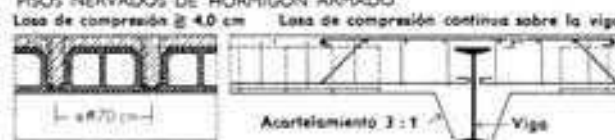
VIGUETAS ENTRE LAS VIGAS



VIGUETAS SOBRE LAS VIGAS



PISOS NERVADOS DE HORMIGÓN ARMADO



Se reducen las dimensiones de las vigas mediante su construcción en forma de estructuras mixtas de acero y hormigón, o sea haciendo que el hormigón y el acero colaboren en la absorción de los esfuerzos. Entonces el acero se encarga de los esfuerzos de tracción y el hormigón de los de compresión. Las posibilidades constructivas están detalladamente expuestas en el capítulo "Techos o pisos", página 213. Estas estructuras mixtas, para los edificios con entramado de acero, tanto pueden realizarse mediante hormigón vertido in situ como por montaje de piezas prefabricadas.

Las planchas onduladas de perfil trapecial de los pisos alveolares de acero, cuando se vierte encima hormigón in situ no sólo constituyen un encofrado perdido sino que a la vez actúan como armadura de extensión. Por otra parte, mediante unos anclajes de fijación de la plancha a las vigas se obtiene a la vez el efecto de estructura mixta en la dirección de las vigas.

Cuando las losas de hormigón están formadas por piezas prefabricadas de hormigón armado, la colaboración con el acero se obtiene mediante vástagos de alta resistencia o mediante anclajes en las juntas que se hormigonan in situ.

Los gruesos de los pisos, que cuando las cargas y las luces de los pisos son grandes resultan inevitablemente grandes, pueden reducirse al mínimo mediante el doble efecto de estructura mixta que se obtiene pretensando y envolviendo totalmente en hormigón las vigas de acero. (Véase sistema Preflex, de la página 240.)

Protección contra el fuego de los edificios con estructura metálica

Los esqueletos de acero sin revestimiento, que es cuando ponen más claramente de manifiesto la ligereza de la construcción en estructura metálica, en general sólo son posibles en la construcción industrial. Por lo menos los esqueletos metálicos requieren una resistente protección contra la corrosión, pero en general deben protegerse a la vez contra la corrosión y contra el fuego. Sólo se satisfacen simultáneamente ambas exigencias embelleciendo completamente el acero en hormigón o en el mortero de un revestimiento de obra de fábrica. Pero estos revestimientos requieren no sólo un aumento de las dimensiones totales de la

estructura, sino que además, debido a su peso, resultan mayores las cargas a que está sometida la estructura y deben ser mayores sus escuadrias.

Por esto en la moderna construcción con estructura metálica se busca satisfacer a las exigencias de la protección contra el fuego mediante medidas constructivas más ligeras y una mejor organización del uso del edificio.

Según el peligro de incendio (carga de fuego) se establece el grado de protección contra el fuego exigido. Si entonces algunos elementos de acero pueden dejarse sin protección o si deben protegerse suficientemente mediante medidas constructivas y técnicas es una cuestión que depende del papel que dichos elementos desempeñan y también de la economía, teniendo presente el tiempo durante el cual se les exige que puedan continuar siendo aptos para desempeñarlo. Es un principio básico que en caso de incendio los elementos de acero deben poder continuar desempeñando su misión durante un plazo determinado (tiempo de resistencia al fuego).

Los problemas de la protección contra el fuego se han estudiado detalladamente en el capítulo "Protección contra el fuego". Aquí indicaremos solamente las medidas constructivas.

Entre ellas hay que distinguir:

- La protección directa mediante revestimientos, recubrimientos, pinturas y aplicados que forman capas aislantes, así como el relleno de núcleos.
- La protección indirecta mediante pantallas, por ejemplo cielos rasos, antepechos, marquesinas.

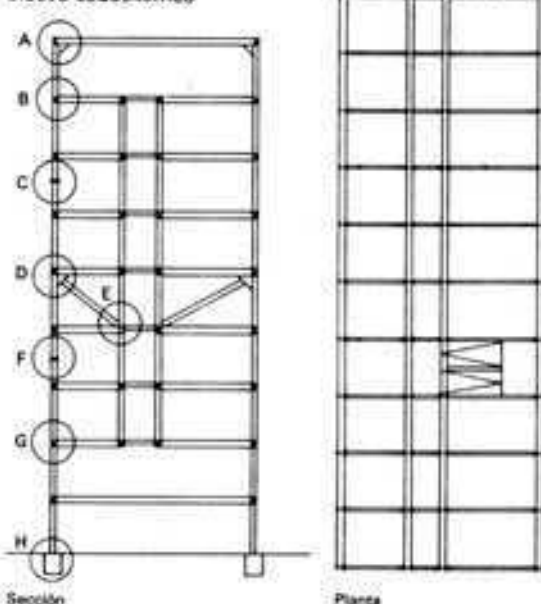
Entre las precauciones técnicas, o sea las que dependen de la organización del uso del edificio, tenemos:

La compartimentación en sectores de fuego, las instalaciones de extinción fijas y móviles, los detectores del calor, así como los dispositivos de extracción de gases y humos y los sistemas de alarma.

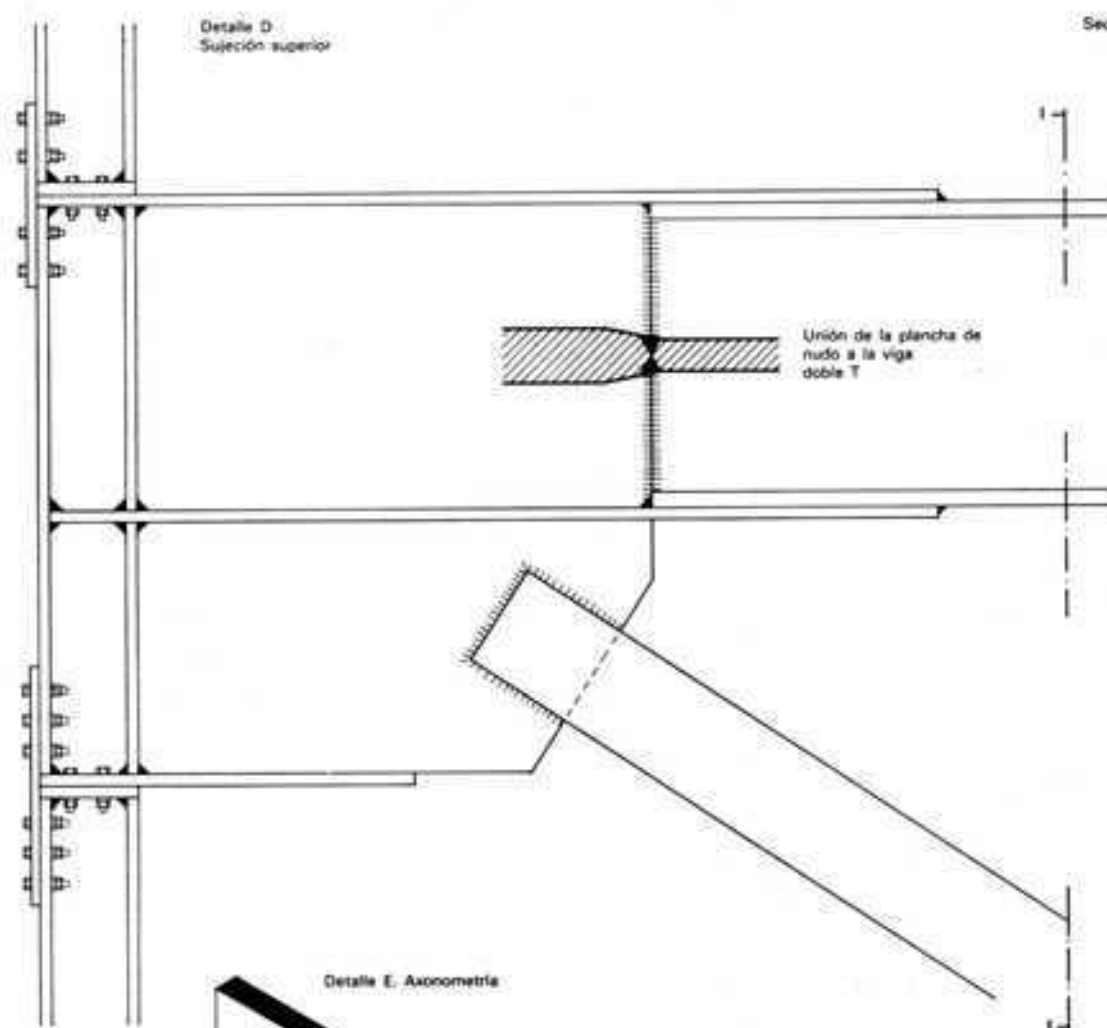
Revestimientos y recubrimientos

Pueden ser realizados in situ (revoques, torcretados, hormigonado) o estar constituidos por placas y piezas moldeadas prefabricadas. Los materiales que se emplean según los casos son yeso, vermiculita, perlita o amianto. Como protección contra la corrosión basta en general una pintura de fondo. A fin de que los huecos que quedan entre el material de revestimiento y las piezas de acero no puedan actuar como chimeneas, se subdividirán cada 4 m, por lo menos, mediante mamparos que ofrezcan una suficiente resistencia al fuego.

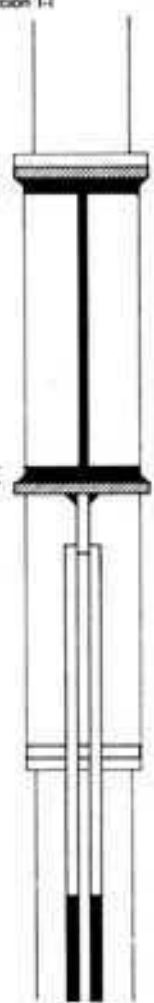
HOSPITAL DE SANTA TERESA
EN MANNHEIM
ESTRUCTURA DE ACERO DE LA
EMPRESA GEBR. KNAUER,
MANNHEIM
DIBUJO ESQUEMÁTICO



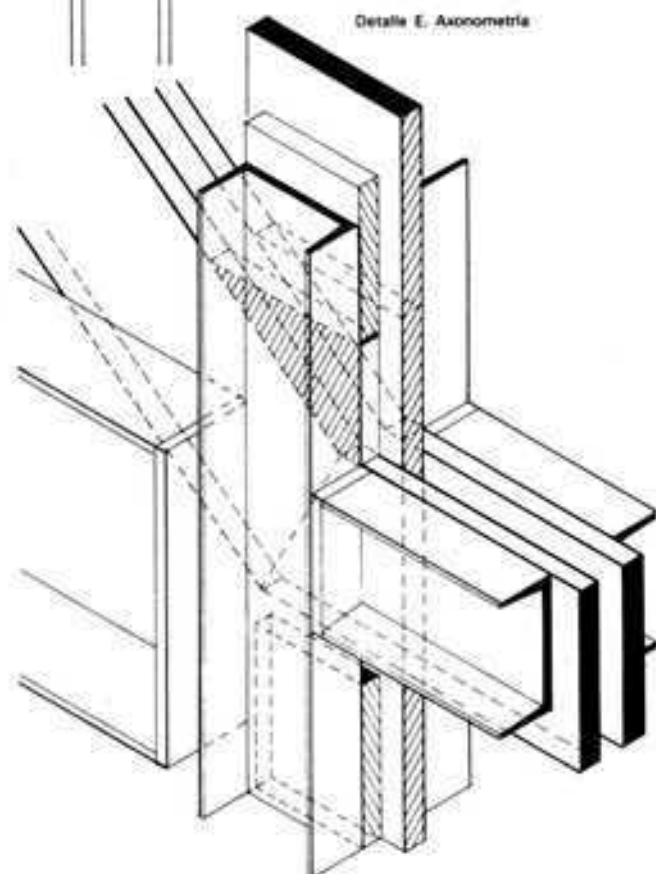
Detalle D
Sujeción superior



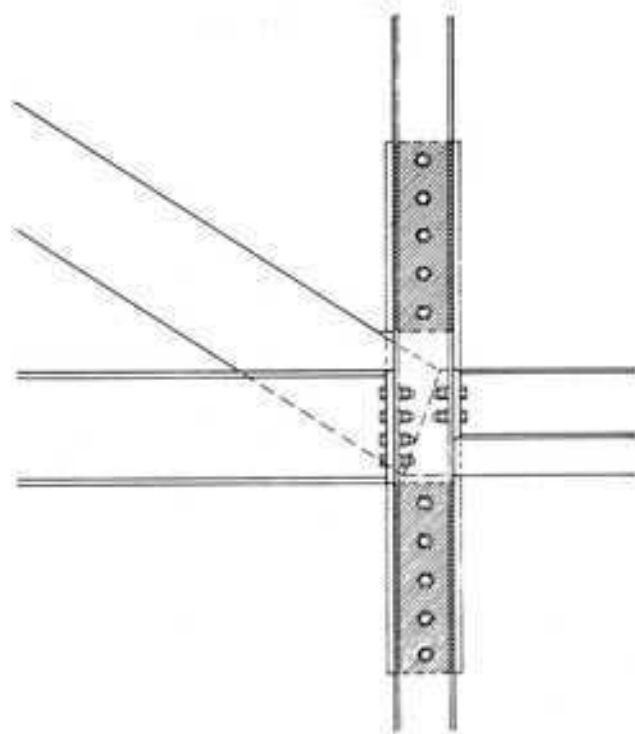
Sección I-I

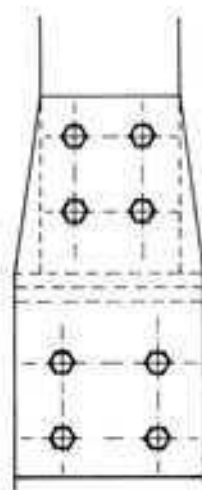
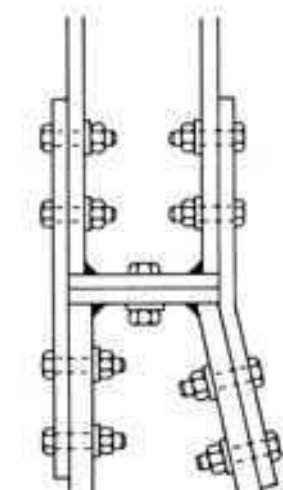


Detalle E. Axonometría



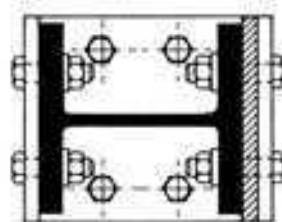
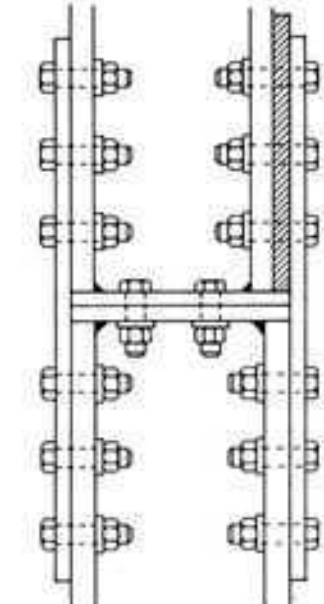
Detalle E.
Sujeción inferior





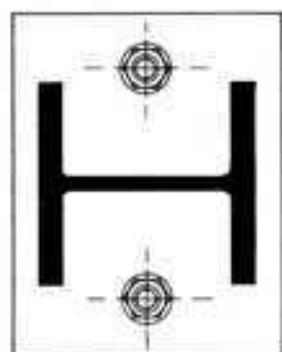
Unión de dos partes
de un pie derecho
con gran diferencia
de escuadras

Detalle F

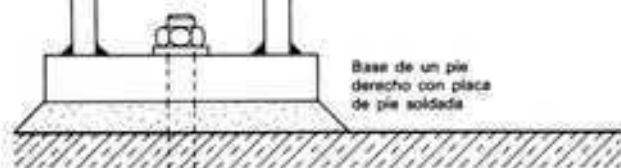


Unión de dos partes
de un pie derecho
con pequeña
diferencia
de escuadras

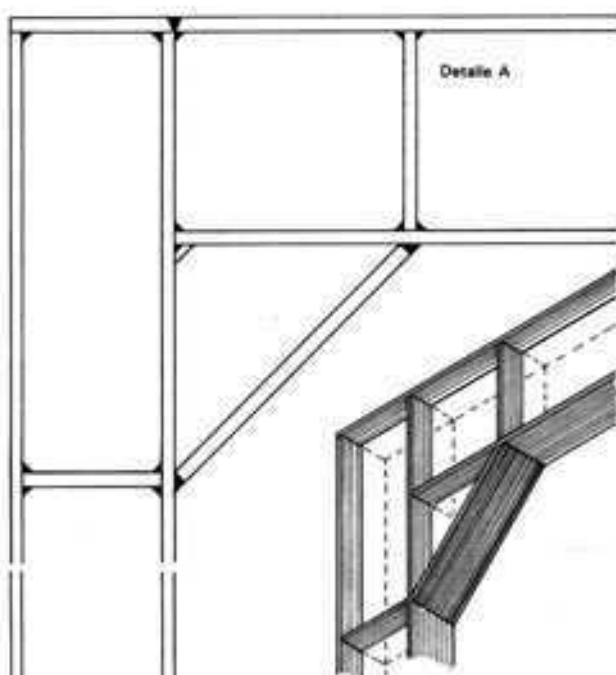
Detalle H



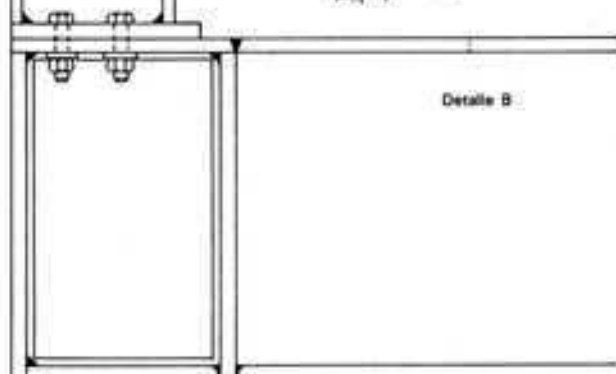
Base de un pie
derecho con placa
de pie soldada



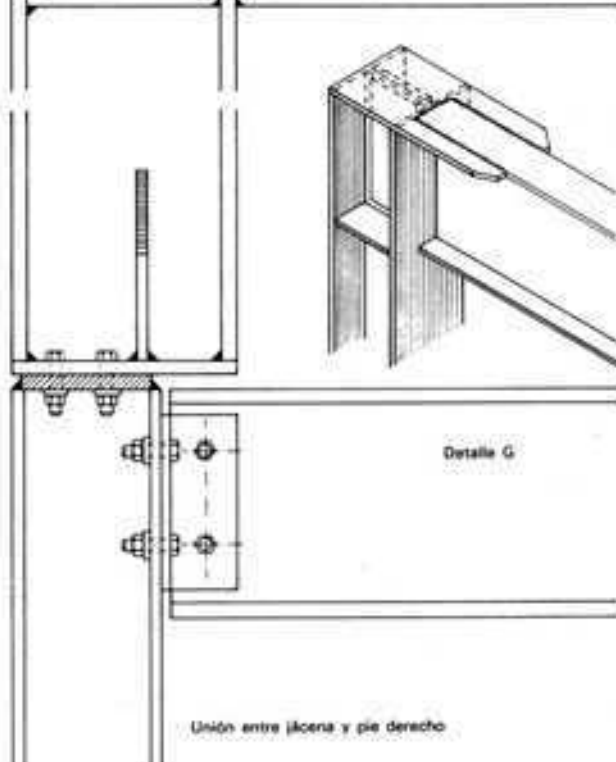
Detalle A



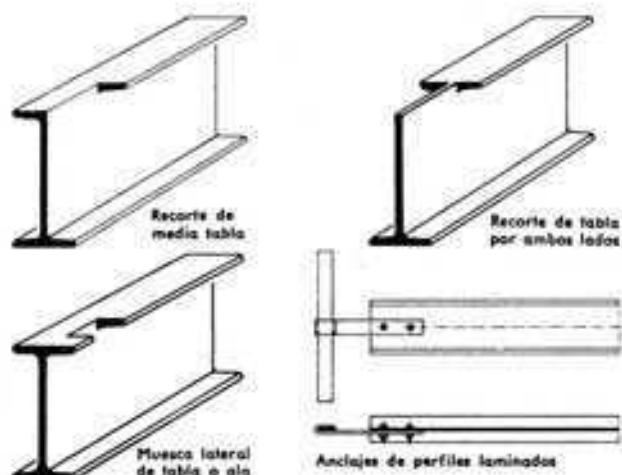
Detalle B



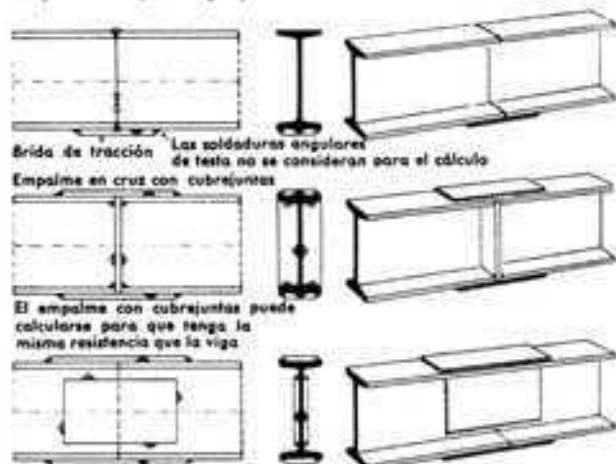
Detalle G



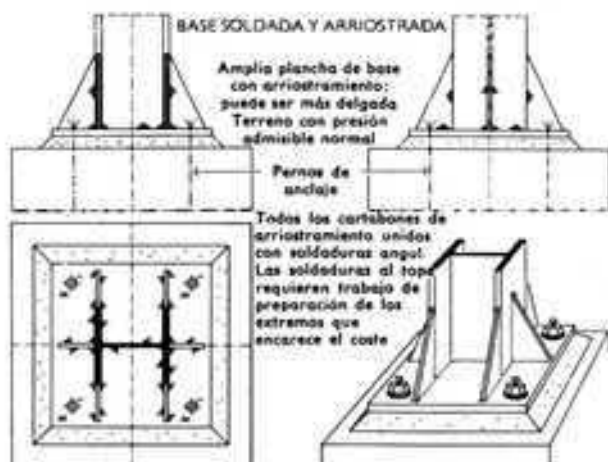
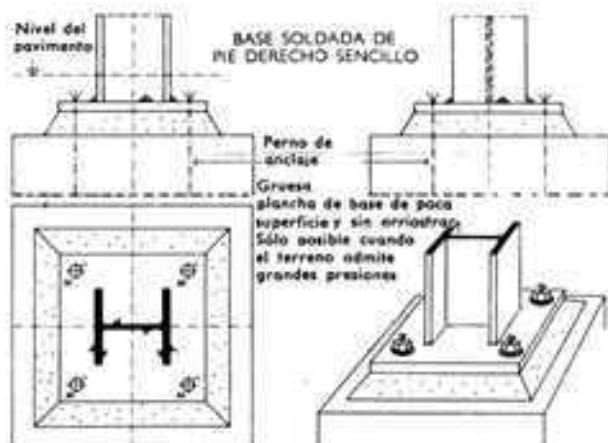
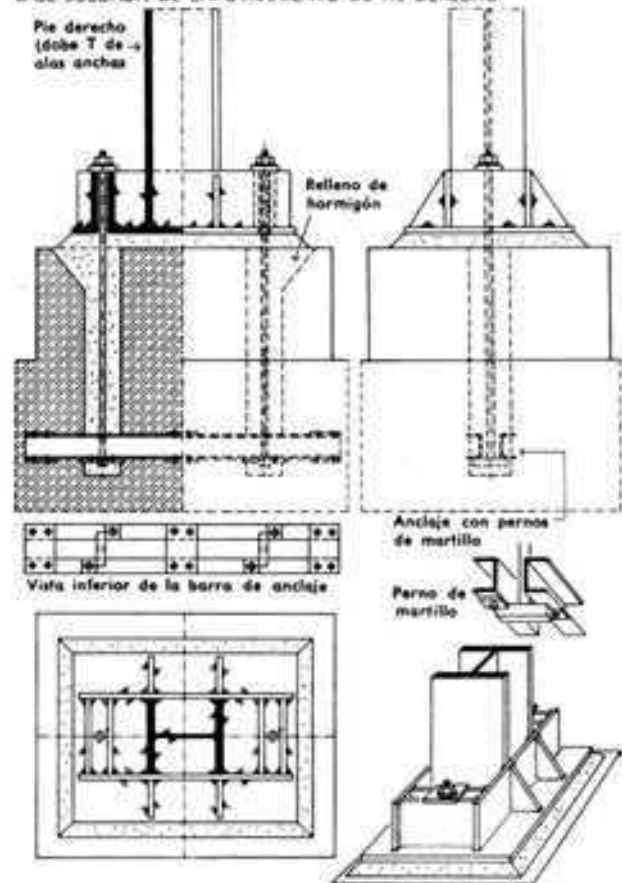
Unión entre jácena y pie derecho



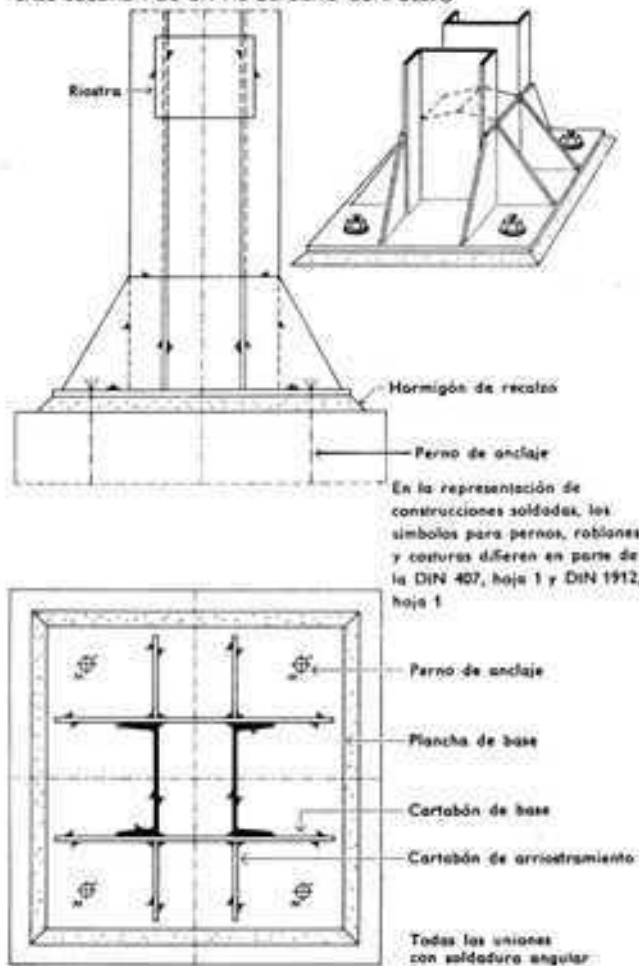
Empalmes al tope de vigas por soldadura



BASE SOLDADA DE EMPOTRAMIENTO DE PIE DERECHO

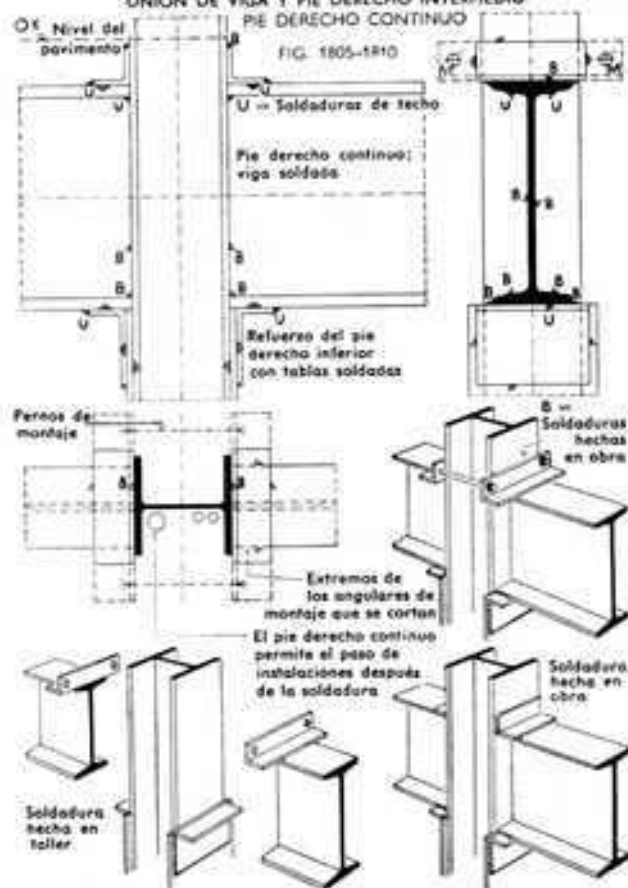


BASE SOLDADA DE UN PIE DERECHO COMPUESTO

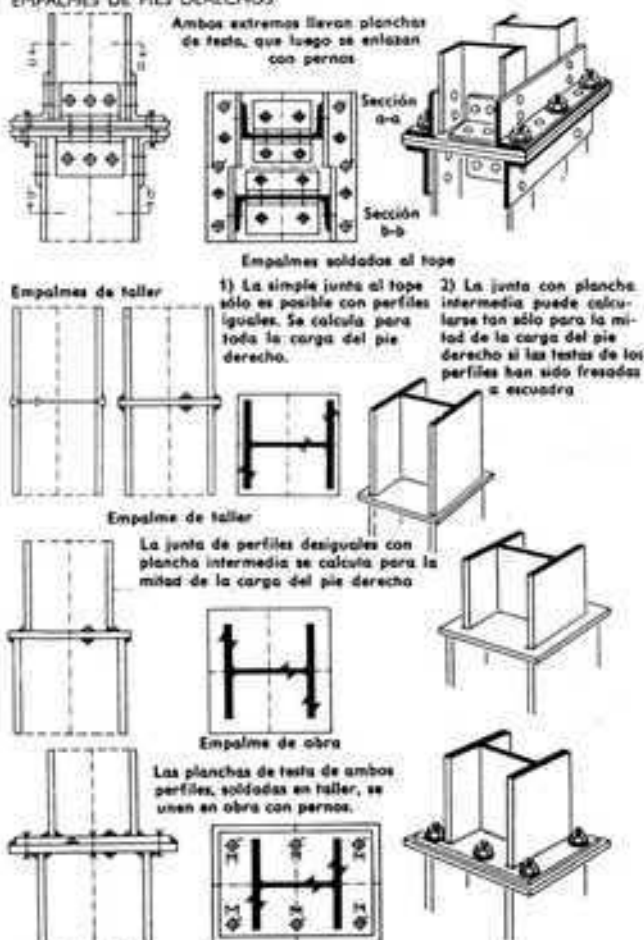


UNIÓN DE VIGA Y PIE DERECHO INTERMEDIO PIE DERECHO CONTINUO

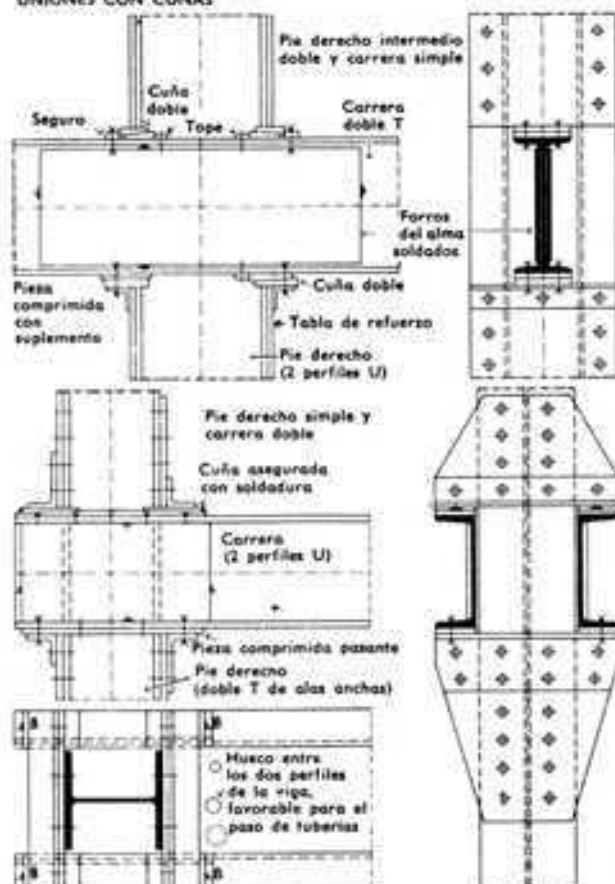
FIG. 1805-1810



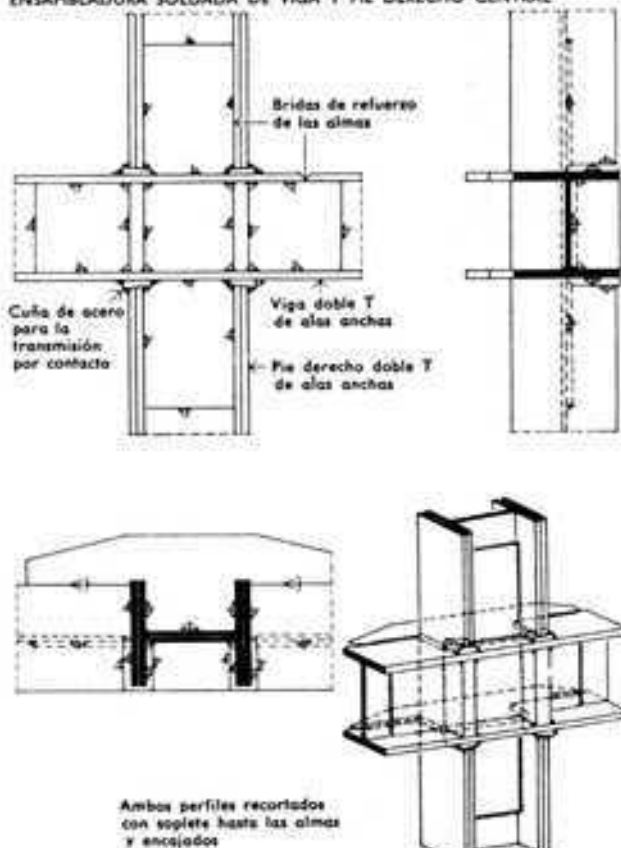
EMPALMES DE PIES DERECHOS



UNIONES CON CUÑAS



ENSAMBLADURA SOLDADA DE VIGA Y PIE DERECHO CENTRAL



ENCUENTROS DE VIGAS Y VIGUETAS VIGUETAS APOYADAS (REMACHES Y PERNOS)

Viga y vigueta de igual altura



Unión de las almas con angular de apoyo



Unión de las almas con plancha de apoyo

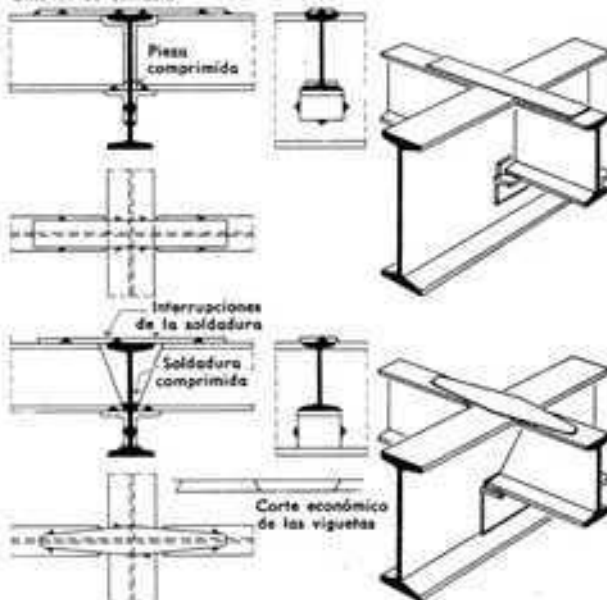


ENCUENTROS DE VIGAS Y VIGUETAS UNIONES SOLDADAS

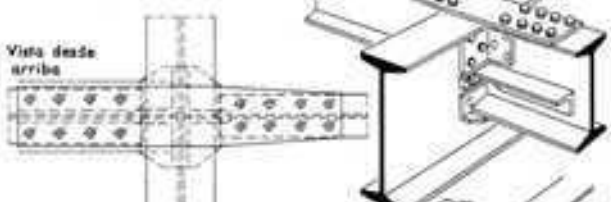
Unión con soldaduras angulares de contorno



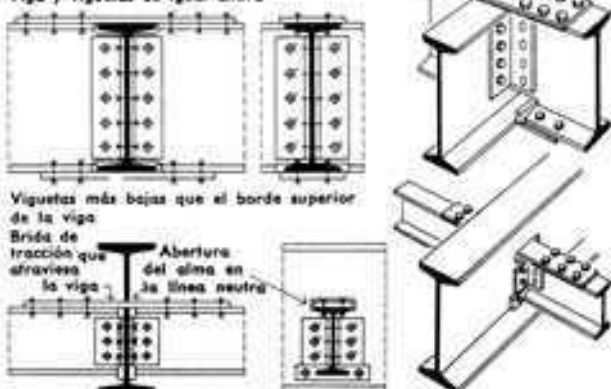
Uniones de contacto



UNIÓN DE CONTACTO CON VIGUETAS DE DISTINTA ALTURA

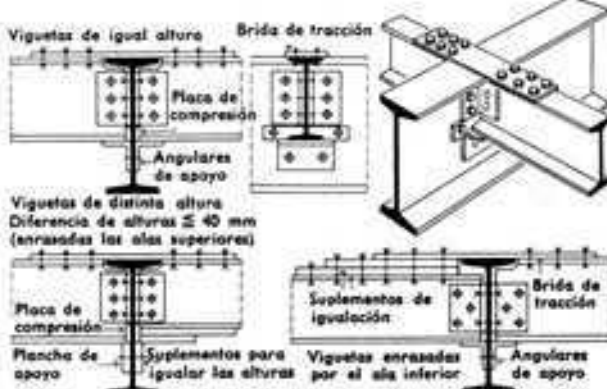
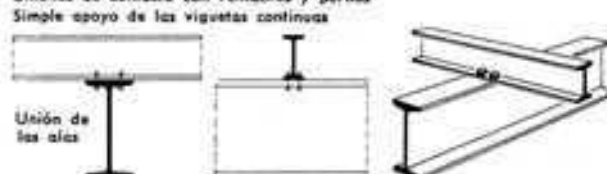


Viga y vigueta de igual altura



ENLACE DE LAS VIGUETAS COMO VIGAS CONTINUAS

Uniones de contacto con remaches y pernos



Contienen componentes orgánicos que bajo el efecto del calor se esponjan y constituyen una coraza protectora de carbono, de gran efecto aislante. La resistencia al envejecimiento y la resistencia al agua que se emplea en la extinción del fuego, así como la resistencia al agua de lluvia y a otros agentes atmosféricos son todavía problemas a resolver para este sistema de protección tan apropiado para las estructuras metálicas. Hasta ahora las investigaciones normales permiten asegurar una clase de resistencia al fuego F 30 (retardadores del fuego) para los elementos constructivos de acero. Los perfiles más macizos dieron ya por resultado, en los ensayos con pinturas productoras de capas aislantes, una resistencia al fuego de hasta el límite de los 60 minutos.

Rellenado de núcleos

Rellenando con hormigón el núcleo de los pies derechos de acero se aumenta no sólo su capacidad sustentante sino que a consecuencia de su mayor capacidad térmica también se aumenta la duración de su resistencia al fuego. Los pies derechos de acero de sección hueca cerrada con el núcleo relleno de hormigón deben tener a distancias de ≤ 5 m por lo menos dos agujeros de 6 cm^2 de superficie en total, que también deben atravesar el eventual revestimiento.

El relleno de agua de los pies derechos produce enfriamiento por la circulación y la evaporación, y constituye el sistema de protección permanentemente más eficaz, siempre que pueda considerarse resuelta la protección contra las heladas y la corrosión. Todas las partes que llevan agua deben estar continuamente llenas y deben estar en comunicación con la atmósfera a través de unos depósitos de reserva y de expansión.

Pantallas

Los cielos rasos, como sistemas de protección indirecta contra el fuego para los forjados, pueden a la vez resolver problemas de aislamiento térmico y acústico, así como de configuración de los espacios. Con elementos de fijación y anclaje no combustibles, mediante cielos rasos a base de yeso, vermiculita, perlita, amianto o fibras minerales pueden conseguirse resistencias al fuego para toda la estructura del techo de hasta 180 minutos. El grueso del material, su clase de revestimiento, la altura de suspensión y la distancia entre apoyos de la estructura que los sustenta son las magnitudes de que depende su eficacia.

En las instalaciones de acondicionamiento de aire a alta presión las bocas de entrada de aire deben poder cerrarse mediante trampillas resistentes al fuego, mientras que en las instalaciones a baja presión con cielos rasos perforados para la circulación del aire no son necesarias medidas especiales.

Las marquesinas y antepechos deben impedir que los gases de combustión y las llamas se propaguen a los pisos superiores. Las marquesinas móviles, como las puertas de los muros cortafuego o las trampillas de cierre de los conductos de aire, deben tener un dispositivo de los que actúan por fusión de una soldadura, que los ponga automáticamente en la posición eficaz.

Edificios con entramado de madera

Como idea constructiva la construcción a base de entramado de madera se encuentra ya en la época neolítica. Como los asentamientos humanos eran una lucha con el bosque siempre invasor no faltaba la primera materia "madera". Con las hachas de piedra de la época podían ya derribarse árboles del grueso conveniente. Recientes investigaciones han permitido saber que para derribar un tronco de 16 cm de diámetro sólo se necesitaban unos 20 minutos. Hachas de bronce no las hubo en la Europa Central hasta aproximadamente 800 años antes de Jesucristo. Con estas herramientas se podían trabajar los troncos mejor



Casa de entramado sobre zócalo de obra de fábrica, después de la introducción de la construcción a base de piedra o ladrillo y mortero por los romanos. Idea estática del pórtico rígido por la introducción de los jabalones y las uniones a media madera, labor facilitada por las herramientas de metal.



Anisotramiento transversal y longitudinal del entramado mediante paredes de obra de fábrica.

y más fácilmente, e incluso practicar ensambles sencillos; así apareció en aquella época la casa de troncos de madera, formada por troncos superpuestos con los extremos ensamblados a media madera. Para ello se requerían troncos lo más rectos posible, que suministraban principalmente los árboles de blanda madera de la familia de las coníferas, que predominaban en el sur de Alemania y en Suiza. Por el contrario, la construcción a base de entramado, que tuvo su máximo florecimiento en la Edad Media, y que predominó hasta los siglos XVII y XVIII incluso en la construcción de viviendas en las ciudades, se realizó principalmente con troncos de roble. El área de difusión que tuvo en aquella época coincide casi exactamente con los países en que abundaban los robles.

Historia de la construcción con entramado de madera

El desarrollo de las construcciones con entramado de madera, que a la vez sostiene y arriostra, muestra progresos constantes debidos a la experiencia artesanal y constructiva. Algunos ejemplos, que en parte han podido ser reconstruidos a partir de los restos encontrados en las excavaciones, permiten establecer los siguientes tipos

1. Casa de la edad de piedra, de una sola habitación, con postes hincados y paredes de trenzado de mimbre. Idea estática de los pilares empotrados.
2. Casa de entramado sobre zócalo de obra de fábrica, después de la introducción de la construcción con piedra o ladrillo y mortero por los romanos. Idea estática del pórtico rígido por la introducción de los jalcónes y de las uniones a media madera, labor facilitada por las herramientas de metal.
3. La casa de pisos con entramado de madera:
 - a) con pilares continuos a través de los pisos;
 - b) con pisos superpuestos unos a otros.
4. Distintos tipos de arriostramiento longitudinal y transversal de los entramados; losas verticales arriostrantes.

Constructivamente son de considerar distintos detalles de diferenciación, ligados a los pueblos y paisajes.

Sistema sajón

- Los pilares se apoyan sobre un envigado; arriostramientos sólo en los pies derechos de los ángulos y otros pies derechos principales. Muchas veces los arriostramientos están sustituidos por el relleno de los entrepaños con fábrica de ladrillo.
- La cubierta de la casa familiar es por regla general a base de armaduras de puente.
- Los pilares se aseguran individualmente con puntales o ejones.
- Notables voladizos en los pisos de las casas urbanas, para ganar espacio.

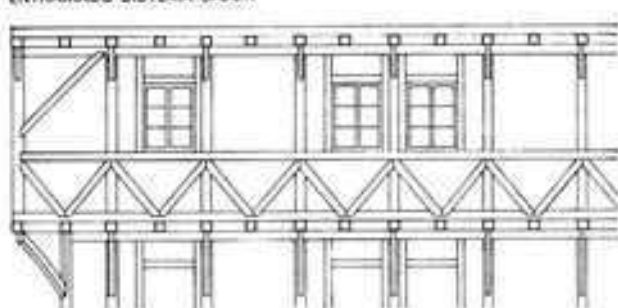
Sistema franconiano

En general cada uno de los pies derechos, estribados, se apoya sobre una de las vigas del techo correspondiente. Las vigas del envigado están muy próximas unas a otras; los montantes secundarios se apoyan, independientemente del envigado del piso, sobre una carrera.

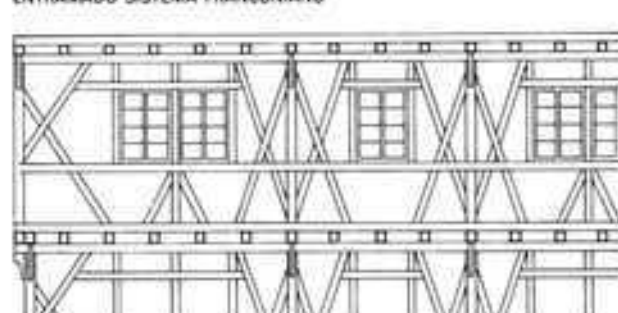
Sistema alemánico

- Sólo se ponen pies derechos a distancias entre 2 y 4 m.
- A causa de su gran distancia estos pies derechos sostienen dos carreras superpuestas.
- Las distancias entre vigas son pequeñas.
- Se da rigidez a las paredes exclusivamente con dos franjas, una en los pies y otra en las cabezas de los pilares; estas franjas sólo tienen la mitad del grueso de la pared.

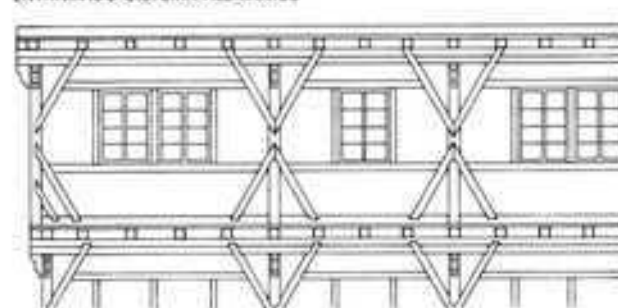
ENTRAMADO SISTEMA SAJÓN



ENTRAMADO SISTEMA FRANCONIANO



ENTRAMADO SISTEMA ALEMÁNICO



- Los entrepaños llevan tabloncillos de la mitad del grueso de la pared.
- Ornamentación mínima.
- La carrera inferior no descansa sobre el envigado, sino sobre el pavimento, cuyo canto resulta visible desde el exterior.

Entre estos tres tipos fundamentales de construcciones con entramado de madera se encuentran en los siglos XVII y XVIII muchas formas mixtas, especialmente en las zonas fronterizas entre las diferentes regiones históricas.

En las construcciones de entramado de los tipos históricos, las piezas de madera eran siempre muy robustas. Muchas veces llevan trabajos de talla. Sólo se ahorra la madera en las casas de los ciudadanos más pobres.

La construcción con tabloncillos horizontales superpuestos, o incluso con rollos, ya casi no se emplea nunca actualmente. Tienen como inconveniente, no sólo el gran consumo de madera, sino sobre todo los grandes hinchamientos y contracciones de las paredes exteriores con el sol y la lluvia.

Construcciones con entramado de madera modernas

Las construcciones con entramado de madera están más expuestas al peligro de incendio que las casas de obra de fábrica. Por lo tanto no conviene construirlas contiguas unas a otras, sino a ciertas distancias fijadas por los servicios de protección contra incendios. Si no se emplean sistemas especiales, que siempre resultan caros, son poco amortiguadoras del ruido, como ocurre también con los techos con envigado de madera. Si las paredes de las casas de pisos cargan sobre las carreras que

se ponen a nivel de los envigados, estas carreras quedan comprimidas en sentido perpendicular a las fibras y entonces la altura de los pisos no se mantiene exacta sino que se reduce, lo que es un inconveniente para los conductos de las instalaciones. Por esto actualmente se hace que los pies derechos alcancen dos plantas y se tienden los envigados entre una y otro de los pares de tabloncillos que a modo de cepos van atracados por ambos lados a los pies derechos.

En los países en que abunda la madera, como los Estados Unidos, el Canadá, Noruega y Suecia, donde la casa unifamiliar aislada todavía desempeña un gran papel, se ha mantenido la construcción con entramado de madera en forma racionalizada y constructivamente modernizada. Allí se toma como cosa natural la menor duración de esta clase de construcciones.

Una pared de madera de 14 cm. de grueso proporciona el mismo aislamiento térmico que una pared de ladrillo de asta y media o que una pared de bloques huecos de 30 cm. de grueso. En todo caso es un problema el pequeño almacenamiento de calor, por lo cual se emplean frecuentemente construcciones mixtas con paredes que ofrezcan buen almacenamiento térmico. Y sin embargo la casa con entramado de madera no se ha extinguido en modo alguno en la Europa Central. Una serie de clases de edificios para los cuales son a propósito construcciones de una o dos plantas, por ejemplo, jardines de infancia, escuelas, pabellones para exposiciones, casas unifamiliares, etc., ofrecen incluso hoy un campo apropiado para las casas con entramado de madera. Muchas veces se ha colocado éste como formando parte de la estructura de la cubierta, sobre una construcción inferior de obra de fábrica. Para el arriostramiento de la planta baja en ambas direcciones sirven unas paredes constituidas por losas convenientemente dispuestas. Son posibles magníficas interpretaciones de volumen y soluciones de detalle, y no es lo menos importante el efecto estético y psíquico de este material natural con su cálido juego de colores y su maravilloso y vivo veteado.

Si la construcción con entramado de madera ya hace tiempo que en el campo de la construcción de viviendas ha perdido su posición dominante ha podido conquistar un nuevo campo de empleo en las exigentes construcciones de ingeniería; por el desarrollo de nuevos medios de unión para el ensamble de las barras y por nuevos sistemas de encolado. También son importantes los perfeccionados medios de protección contra el fuego y los nuevos conocimientos sobre el desarrollo de los incendios. Con todo ello se hace posible la ejecución de cerchas, pórticos e incluso estructuras sustentantes bidimensionales de grandes dimensiones.

Entramado de madera ejecutados por plantas

Los problemas que presenta la actual construcción en entramado de madera, el autor de este libro los ha encontrado expuestos con la mayor concisión y profundidad por un arquitecto que tiene amplia experiencia en este campo. El estudio de dichos problemas se reproduce textualmente a continuación.

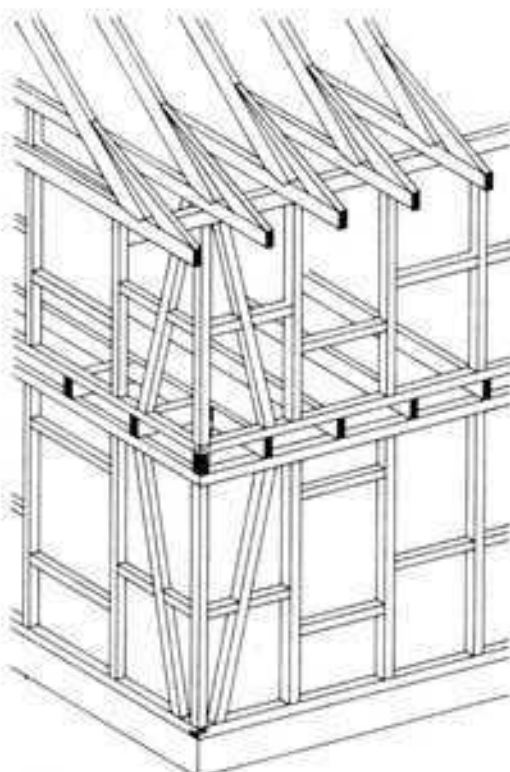
Tomado de "Detail-Arbeitskartei".

Autor: Dipl. Ing. H. E. Budde

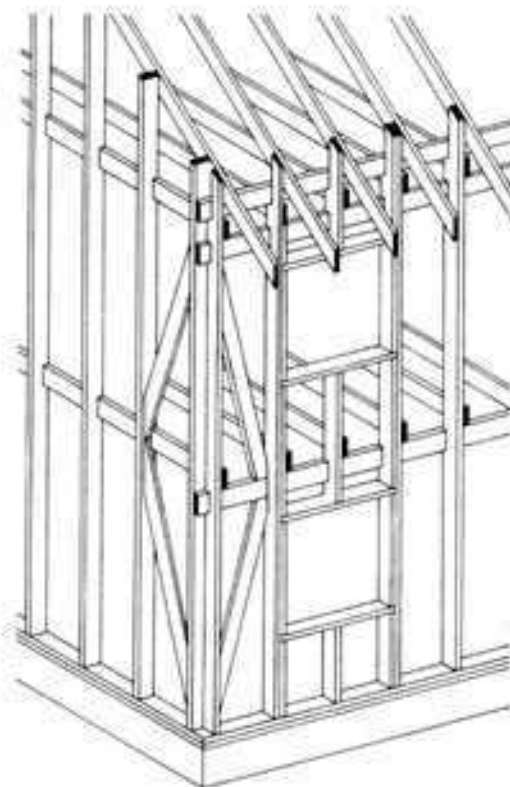
La ejecución se realiza por plantas. Elementos: correas, tornapuntas, pies derechos, dinteles, cargaderos, refuerzos de ángulo, carreras, vigería y zócalo. Como distancias entre los pies derechos se recomiendan de 0,80 a 1,00 m. Secciones: 8/12, 10/12 o 10/14 cm. Los tornapuntas deben colocarse de tal modo que transmitan directamente las fuerzas del viento a las carreras. La estructura ya se compone completamente en el taller de ensamblado, luego se desmonta y se vuelve a montar en obra. La mayoría de las casas tienen un sótano y cuando no lo tienen se construyen sobre una losa de hormigón o sobre una cimentación por bloques aislados o en zanjas.

Para proteger la madera contra la humedad que sube por los muros se pone un cartón impermeable entre la carrera y la obra de fábrica de ladrillo o de hormigón. Es importante que el entramado sobresalga un poco respecto a la pared, pues con ello se impide que el agua que resbala por el entramado penetre entre él y el hormigón. Para fijar las carreras a la fábrica de ladrillo o de hormigón se emplean pernos o vástagos embebidos en aquélla.

Entramados de madera ejecutados por plantas



Entramados de madera con pies derechos continuos



La construcción se efectúa empotrando los pies derechos, colocando los tornapuntas y finalmente poniendo la carrera como remate. Las construcciones de entramado pueden levantarse sobre cimentaciones de bloques aislados sin tomar ninguna clase de precauciones, pues son sistemas rígidos por sí mismos. Actualmente se ha llegado a dejar libre la estructura de madera. Así puede secarse bien y está continuamente en contacto con el aire que circula.

En construcciones de más de una planta se recomienda dejar que las paredes de los pisos superiores sobresalgan sobre las de los pisos inferiores en los edificios con cubierta a dos aguas, cuando el entramado se eleva hasta más arriba que el frontón. Así el armazón puede quedar muy bien atirantado, las cabezas visibles de las vigas se secan mejor y las partes inferiores de la casa quedan protegidas contra la lluvia y la nieve. Además, así se tiene en cuenta a la vez la deformación de la pared de entramado.

Los distintos elementos de una pared de entramado tienen deformaciones distintas. Los elementos horizontales, como los dinteles y las vigas, se deforman más que los verticales. La magnitud de estas deformaciones debe ser tenida en cuenta por lo tanto, tanto en las uniones con los elementos verticales de las paredes como en los revestimientos interiores y exteriores. Por lo tanto no son aconsejables los revestimientos rígidos que alcanzan varios pisos, como los entablados o los revestimientos de ladrillo.

Hay que examinar cuidadosamente las presiones transversales que sufren los elementos horizontales en los puntos que quedan debajo de los pies derechos, sobre todo en los edificios de más de una planta. Por otra parte es recomendable poner debajo de los pies derechos unas piezas de madera suplementarias.

Para el cerramiento de los entrepaños pueden emplearse fábricas de ladrillo, planchas de fibrocemento o planchas ligeras, entre otros materiales. Pero en ningún caso debe empezar la ejecución de los cerramientos antes de que el contenido de agua de las maderas del entramado haya descendido hasta del 18 al 12%. En caso contrario deben disponerse juntas. Cuando el cerramiento se hace con fábrica de ladrillo hay que clavar unos listones triangulares a los pies derechos. Su perfil se incrustará en los ladrillos. Entre las piezas de madera horizontales y la fábrica de ladrillo se colocará una capa de cartón como el que se emplea en las cubiertas. Finalmente las paredes se revocarán; el revoque puede sobresalir o quedar en el mismo plano que las maderas del entramado. El aislamiento térmico de las paredes de entramado con entrepaños de fábrica de ladrillo es relativamente menor que con los otros tipos de paredes exteriores. Por esto es aconsejable revestir además interiormente las paredes con planchas ligeras, o con planchas aislantes.

Entramados de madera con pies derechos continuos

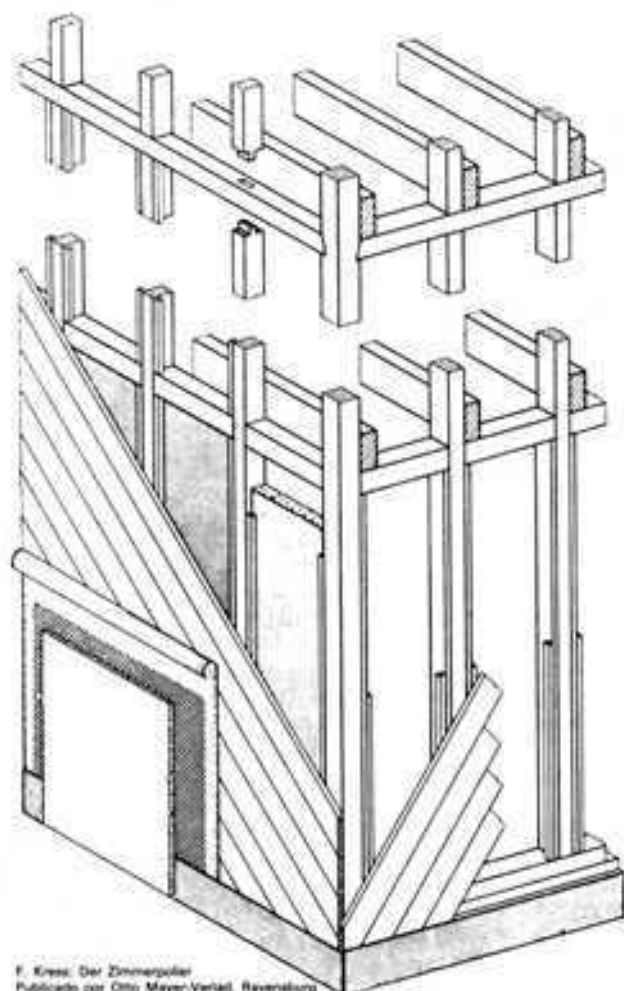
Este es otro tipo de construcciones con esqueleto de madera. Casi siempre están revestidas totalmente, tanto por el interior como por el exterior. Al contrario de lo que ocurre con los entramados del tipo anterior la madera no queda visible.

Una diferencia fundamental con aquellos entramados está en su menor asentamiento, pues los pies derechos son continuos a lo largo de varias plantas; por lo tanto depende sólo de los elementos de construcción horizontales que deben reducirse al mínimo necesario técnicamente. En las instalaciones verticales y en las uniones con elementos verticales de obra de fábrica no es necesario tener en cuenta las deformaciones. La pequeña deformación de esta clase de obras hace posible también la colocación de un revestimiento de paredes rígido, por ejemplo de planchas ligeras revocadas. Estos revestimientos, sin precauciones especiales, pueden alcanzar varias plantas.

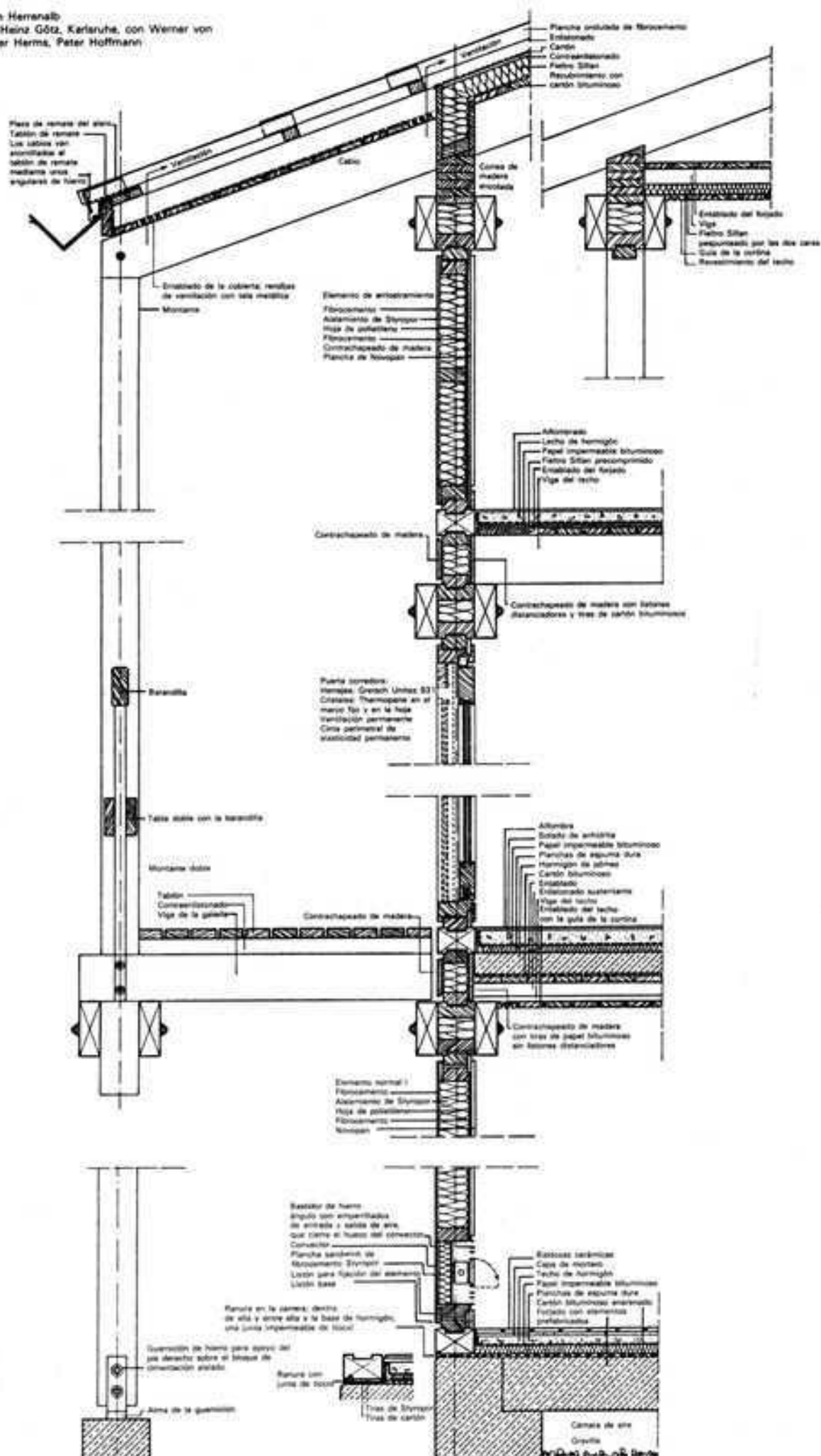
La construcción con pies derechos continuos se basa en el empleo de secciones del tipo de tablón. Su unión se hace en la mayoría de los casos con clavos; muchas veces se emplean en estas uniones planchas de formas especiales. Para cada unión se necesitan por lo menos cuatro clavos. Los pies derechos se colocan a distancias de unos 60 cm. Su sección puede ser de 6/14, 6/16 o 8/24 cm. Tornapuntas en forma de tablas o entablados ciegos aseguran en este tipo de construcción la estabilidad en sentido horizontal. Para los entablados ciegos pueden emplearse tablas canteadas, unidas a media madera o machihembradas. Al salir de la sierra las tablas tienen normalmente un espesor de 24 o 21 mm. Los anchos corrientes son de 120 a 180 mm. Un revestimiento de protección contra el viento, pero permeable al vapor de agua, recubre el entablado por el lado exterior. Este revestimiento puede ser de papel Kraft tipo crespón. El entablado ciego actúa a la vez como aislante térmico. Mientras en los entramados ejecutados por plantas la estructura generalmente es visible desde el exterior, en los entramados a base de pies derechos queda oculta. Las ventanas, o los lienzos de pared que llevan las ventanas, se insertan en la estructura. Los techos de estas construcciones se hacen con maderas escuadradas. Para ellos se colocan unas tablas a derecha e izquierda de los montantes, que se unen a ellos mediante pasadores, tornillos o clavos. Así se obtiene una estructura esencialmente más ligera que la descrita anteriormente. También es más fácil de construir con elementos prefabricados. Pero, al contrario de aquella, sólo resulta rígida cuando forman parte de ella a la vez las paredes interiores y las exteriores.

Otra diferencia reside en la forma de los pies de los montantes. Sobre una pieza en forma de durmiente se colocan directamente los montantes, con pernos o zapatas de hierro. A continuación se los sostiene en la debida posición por medio de tirantes o retenedores y se los fija; luego se montan los tabloncillos que forman los envigados de los pisos. Hasta la ejecución del entablado del revestimiento exterior deben emplearse medios de arriostramiento provisionales.

ENTABLADO EN DIAGONAL QUE A LA VEZ SIRVE DE ARRIOSTRAMIENTO DE UNA ESTRUCTURA DE MADERA



F. Kress: Der Zimmerpolier
Publicado por Otto Meyer-Verlag, Ravensburg



Disposición constructiva y elementos de pared exteriores

Tomado de Informationsdienst Holz

Autor: Arbeitsgemeinschaft Holz e. V., Düsseldorf

Como elemento sustentante actúa fundamentalmente una estructura porticada de madera. En parte, de acuerdo con las nuevas instrucciones estéticas, colaboran con ella los revestimientos exteriores e interiores.

No es difícil conseguir el debido aislamiento térmico con las conocidas planchas y fieltros aislantes, pero debe ponerse cuidado en emplear materiales en cuya colocación no se presenten juntas.

Como revestimiento interior de paredes la mayor parte de constructores emplean las planchas de virutas, pues éstas pueden ser ajustadas en taller, al contrario de las planchas de cartón-yeso, que deben ajustarse en la obra, pues es muy fácil que resulten dañadas durante el transporte. Para los revestimientos exteriores de las paredes existen numerosas posibilidades.

1. Revestimientos de madera al natural. Por ejemplo de abeto, pino, caoba, cedro, etc. Sobre los problemas que presenta el tratamiento de las superficies de la madera natural, véase lo que se dice más adelante.
2. Planchas de materiales a base de madera, como los contrachapeados con encolados resistentes a los agentes atmosféricos, para los cuales el mejor tratamiento superficial es un recubrimiento de resina sintética aplicado por proyección; o bien las planchas chapeadas formadas por capas de distintos materiales, con revestimiento especial resistente a la intemperie.
3. Planchas de otras clases, por ejemplo de fibrocemento, o planchas con revestimiento de plástico o de aluminio.

Cuando la capa exterior del revestimiento de las paredes se coloca en obra, como es corriente en los Estados Unidos, existen todavía otras muchas posibilidades para el revestimiento de las casas con estructura de madera, tales como los perfiles desmontables de aluminio o de plástico y los recubrimientos de pizarra o de placas de madera.

Revestimientos exteriores de madera

Tomado de "Detail-Arbeitskarte"

Autor: Dipl.-Ing. H. E. Budde

Al colocar un revestimiento exterior de madera hay que dejar una distancia de seguridad desde el terreno hasta el límite inferior del revestimiento, para que éste no quede expuesto a las salpicaduras del agua de lluvia que rebota contra el suelo. Esta distancia debe ser como mínimo de 30 cm. Si el alero de la cubierta tiene mucho voladizo, esta distancia, naturalmente, puede ser menor. En los revestimientos de pared verticales la lluvia oblicua que choca con ellas debe poder escurrirse fácilmente. Por esto las piezas del revestimiento deben tener sus extremos cortados oblicuamente desde atrás hacia adelante. La forma de los extremos de las tablas puede todavía acelerar el escurrimiento. Si se

desea efectuar un tratamiento de las testas de las tablas con hidrófugos, debe examinarse su compatibilidad con los otros sistemas de protección de las superficies.

En los revestimientos verticales que alcanzan varios pisos son necesarias juntas longitudinales, en las cuales las tablas de encima deben recubrir los extremos de las de debajo. En los revestimientos horizontales las juntas longitudinales de las tablas deben ser a media madera. Para que quede una cámara de aire detrás del revestimiento se clava un enlistonado sobre una superficie sin huecos. Los listones, generalmente de madera sin cepillar, tienen una sección de 24/48 o de 30/50 mm. La distancia vertical entre los ejes del enlistonado depende del grueso del revestimiento exterior. En los casos corrientes es de 50 a 100 mm.

Todos los elementos de revestimiento se colocarán con el lado de la médula hacia el interior. Con ello disminuye el riesgo de agrietamiento. Además, las tablas de los revestimientos de pared horizontales se colocarán de modo que la médula quede más cerca del canto superior. De esta forma las eventuales grietas de contracción se abrirán hacia abajo, de modo que el agua de lluvia no podrá entrar. Las tablas acepilladas tienen normalmente de 20 a 23 mm de grueso y las tablas sin acepillar, de 21 a 24 mm. El ancho de las tablas es de unos 10 a 16 cm.

Protección de las superficies

La clase de protección de las superficies se elegirá según las condiciones de exposición a los agentes atmosféricos, como son la orientación y las condiciones de humedad y temperatura, según las variaciones del calor y la humedad, según la clase y la dureza de los ataques a que están expuestas, y la compatibilidad de las pinturas con la clase de las maderas o el tipo de los entramados de madera empleados. En primer lugar hay que tratar las superficies de testa de las maderas, los cantos y las esquinas. Las piezas que van adosadas a elementos de obra de fábrica deben recibir una pintura de protección. Las partes que al principio quedan ocultas, pero que con la contracción de las maderas pueden pasar a ser visibles, también deben recibir tratamiento. Entre ellas tenemos las lengüetas de los ensambles a media madera y machihembrados, y las partes que quedan tapadas en los solapados, elementos todos que se encuentran en los revestimientos de madera de las estructuras con pies derechos continuos, y las maderas de los marcos ensamblados que llevan encajados plafones de madera maciza o de otros materiales a base de madera.

Para los revestimientos de las paredes exteriores de las casas con entramado de pies derechos cuya estructura de madera deba quedar vista, se recomiendan tratamientos superficiales que no formen película, como los tratamientos por impregnación con color o las pinturas del tipo de los barnices con adición de pigmentos. Hay que evitar el uso de pinturas que formen película sin ocultar la madera (barnices incoloros o transparentes). Pero cuando los revestimientos de las paredes exteriores tienen detrás una cámara de aire, pueden aplicárseles medios de protección que formen película aunque tapen la madera.

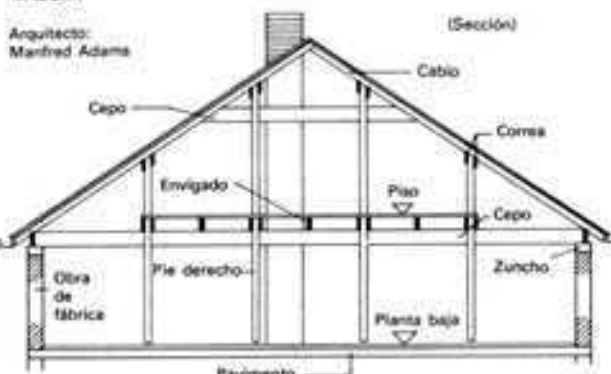
Construcción de edificios altos

Edificios altos destinados a viviendas ya existían en la antigüedad, por ejemplo en la Roma Imperial, donde se elevaron casas con entramado sustentante de hasta 30 y 35 m de altura. En los nuevos tiempos los primeros edificios altos se construyeron en los Estados Unidos. Ya hacia el 1860 se levantaban casas de ladrillo con 7 a 10 plantas. En 1883 se construyó en Chicago el Monadnock-Building, con 17 plantas.

Actualmente se pueden considerar como edificios altos aquellos en que el pavimento del último piso está a más de 22 m sobre el nivel de la calle. Esta medida obedecía, cuando se publicaron las prescripciones sobre la construcción de edificios altos, a la altura que entonces tenían las escaleras de bomberos (actualmente, de 30 a 32 m). Las casas altas están sometidas a condiciones más severas por parte de las autoridades.

Los costes de la construcción en sí aumentan al aumentar la altura, pues el transporte vertical de cargas y personas es más

CASA-ESTUDIO DE CONSTRUCCIÓN MODERNA CON ESTRUCTURA DE MADERA



Arriostamiento por las paredes de la planta baja

caro que el horizontal, aunque muchas veces la pequeñez del terreno obliga a aumentar el número de pisos. Por otra parte el tanto por ciento del coste del terreno y otros gastos secundarios, referido al coste total del edificio, disminuye al aumentar la altura, lo que hace aumentar la rentabilidad de los edificios altos. A pesar de esto los edificios altos son una forma de construcción cara y, en relación al volumen edificado, tanto más cara cuanto más altos son, pues con la altura no sólo resulta más cara la estructura sustentante, sino que también se requiere más espacio para las circulaciones verticales (escaleras y ascensores) y para los conductos de las instalaciones (montantes de aire acondicionado, pozos de vertido de basuras, etc.).

Al aumentar el número de pisos, con una determinada superficie disponible, disminuye por lo tanto la superficie útil de cada planta. A ello añaden los aumentos de coste debidos a las prescripciones que exigen en la construcción de edificios altos, como la seguridad de las cajas de escalera o la necesidad de una segunda caja de escalera, etc. Finalmente hay que pensar en que en los edificios altos se está a merced del funcionamiento de los aparatos elevadores. Hay que pensar que el subir escaleras ocasiona un gasto de unas 900 kcal/h, con lo que es la actividad más fatigosa, aparte las actividades puramente deportivas. En casos de peligro, como los de incendio por ejemplo, al aumentar la altura aumenta el tiempo de evacuación y el esfuerzo corporal en la huida a través de las cajas de escalera. Otras posibilidades de salvamento, como por ejemplo las escaleras de bomberos, llegan actualmente sólo hasta unos 30 m de altura. Precisamente en las cuestiones de seguridad contra incendios es donde hay que contar con las obligaciones más caras, impuestas por los reglamentos.

Si estalla un incendio antes de terminar un edificio y de efectuar la instalación de los dispositivos de extinción del fuego, son mucho menores las perspectivas de poder combatirlo con eficacia. Los expertos destinan en una mitad las posibilidades de éxito. A pesar de todo esto las casas altas se han generalizado cada vez más, también en Alemania, en la década de los sesenta, y hay que contar en el futuro, a causa de la falta de terrenos, con nuevos aumentos en el número de edificios altos y en la altura de los mismos. Las casas altas ayudan a evitar el desmenuzamiento del paisaje, y a aumentar la compacidad de los núcleos urbanos, lo que solamente es posible aumentando el número de plantas.

Además de las casas para oficinas, las casas altas para viviendas han sido impuestas como la forma de vivienda preferida. Actualmente se construyen más casas altas destinadas a viviendas que a oficinas. Pero también desde hace tiempo los edificios altos han tenido éxito como hoteles o bloques de habitaciones en los hospitales. También como talleres de fabricación o reparación de artículos ligeros, por ejemplo aparatos de precisión, son utilizables los edificios de muchos pisos y se construyen en gran número.

Antes de proceder a la elaboración del proyecto de un edificio alto hay que estudiar las prescripciones que rigen en su construcción, que a continuación exponemos.

Instrucciones

La Comisión integrada por todos los ministerios regionales de Alemania para la construcción, vivienda y urbanismo —ARGEBAU— ha publicado unas instrucciones y normas para la construcción de edificios altos. Estas normas complementan, recogiendo, las anteriormente dadas por cada organismo regional y constituyen un buen enfoque de los problemas que se plantean en los edificios singulares, en primer lugar el de una protección suficiente contra el peligro de incendio. En las líneas siguientes se reproduce el contenido de las instrucciones.

Principios básicos para la construcción de edificios altos

Contenido

1. Definición.
2. Generalidades.
3. Procedimientos.
4. Aprovechamiento del solar.

5. Estructura resistente. Forjados.
6. Antepechos, dinteles, puertas cristaleras y ventanas.
7. Paredes interiores, revestimientos y empotramientos.
8. Pozos de instalaciones y conductos.
9. Puertas.
10. Sectores de contención del fuego.
11. Salidas y escaleras de emergencia.
12. Ascensores.
13. Locales auxiliares.
14. Triturador-incinerador de inmundicias.
15. Calefacción, chimeneas.
16. Instalaciones de aire acondicionado.
17. Instalación eléctrica de emergencia.
18. Cuadro de distribución y transformador eléctricos.
19. Pararrayos.
20. Dispositivos de lucha contra incendios.
21. Planos orientativos.
22. Otras instalaciones especiales.

1 Definición

Se llama "edificio alto" a todo aquel que se compone de locales en los que pueden permanecer personas y cuya altura sobre la rasante del terreno sobrepasa los 22 m.

2 Generalidades

La construcción de un edificio alto o singular sólo debe ser autorizada cuando existan razones urbanísticas para ello y no se originen problemas de seguridad y salubridad. En especial se prestará atención a los problemas del tráfico, tanto estacionario o aparcado como el circulante o rodado, a la seguridad de los que habitan el edificio y al correcto tratamiento paisajístico de los viales y espacios libres alrededor. No deben causarse perjuicios a las propiedades vecinas.

3 Procedimientos

Para la incorporación de proyectos de edificios singulares a los planes de urbanismo ya aprobados, deben consultarse los apartados 2 y 4.1. hasta 4.5. de estas Instrucciones.

3.2. En la comprobación del cumplimiento de las condiciones establecidas para la concesión del permiso debe procederse con sumo rigor. Para salir al paso de posibles reclamaciones convendrá dejar constancia escrita de los compromisos formulados por el solicitante como base de la concesión del permiso.

4 Aprovechamiento del solar

- 4.1. La superficie edificable que prevén las ordenanzas municipales debe ser respetada por el edificio singular y sus construcciones anejas. Se entiende por superficie edificable el producto de la máxima superficie ocupable en planta por el número de plantas normalmente permitidas.
- 4.2. Deberán preverse las superficies oportunas (según las normas) para aparcamiento dentro del mismo solar. Deben venir indicadas en los planos que se someten a aprobación.
- 4.3. Todas las paredes exteriores con ventanas deben ser accesibles para las escaleras de bomberos extensibles. Los anejos, saledizos, etc., son admisibles sólo en la medida que no entorpezcan la conexión y funcionamiento de mangas de agua y aparatos de salvamento.
- 4.4. Los espacios libres que no se destinen a circulación y aparcamiento deberán dedicarse a jardín y mantenerse bien cuidados.
- 4.5. Debe poderse garantizar un soleamiento, iluminación y aireamiento suficientes para el edificio singular y sus edificios vecinos. Para superficies laterales del edificio que no tienen más de 16 m. de longitud, la distancia que debe dejarse entre el edificio y sus vecinos inmediatos es, en distritos comerciales, del 0,75 de su altura de azotes y en zonas mixtas o residenciales igual a la altura; para longitudes de más de 16 m, los valores anteriores son de una vez la altura y el doble, respectivamente. Si frente al edificio singular hay otro que le sobrepasa en altura, rige como distancia mínima entre ambos la altura del mayor.

5 Estructura resistente, forjados

Los elementos estructurales, como paredes, pilares, forjados y cajas de escalera han de ser resistentes al fuego. La estructura de la cubierta y su revestimiento deben ser también de materiales incombustibles.

6 Antepechos, dinteles, puertas cristaleras y ventanas

- 6.1. Los antepechos de las ventanas deben tener una altura mínima interior de 0,90 cm y deben ser resistentes al fuego. Los dinteles deben ser resistentes al fuego y quedar, por lo menos, 25 cm por debajo del techo del local. En lugar de dinteles macizos pueden disponerse bandas acristaladas no móviles y sujetas a cercos incombustibles que lleguen, como mínimo, hasta 40 cm por debajo del techo. Estas bandas acristaladas deben cumplir los requisitos de un ensayo, por lo menos, efectuado según la norma DIN 4102, hoja 3, apartado C II, núm. 3. No se requiere dintel cuando la ventana es en forma de puerta cristalera. Las puertas cristaleras o balconeras servirán como su nombre

indica para la salida a terrazas, balcones, galerías o cornisas practicables con un mínimo de 0,60 m de voladizo o retranqueo; no necesitan dinteles cuando encima de ellas va un forjado incombustible que tiene 0,60 m, como mínimo, de voladizo o retranqueo.

No deben utilizarse ventanas ni balconeras de marcos combustibles.

6.2. Si las ventanas no pueden ser limpiadas sin peligro alguno desde dentro o desde galerías y balcones, se deberán prever sistemas que permitan el desplazamiento del operario de limpieza por las fachadas y por todas las superficies exteriores que necesiten limpieza.

7 Paredes interiores, revestimientos e inclusiones

7.1. Las paredes de separación de viviendas, las de cajas de escalera y pasillos que conducen a ella, deben ser resistentes al fuego. Las aberturas acristaladas de estas paredes deben estar de acuerdo con lo dicho en 6.1. Los requisitos de aislamiento acústico son los normales.

7.2. Los corredores y escaleras deben ir revestidos en paredes y techos con materiales incombustibles.

7.3. Los otros revestimientos para paredes, techos y tabiques, deben ser de materiales incombustibles; se puede permitir una excepción allí donde exista una cierta seguridad de que no se podrá provocar fuego y las probabilidades de tal cosa son mínimas.

8 Pozos de instalaciones y conductos

8.1. Los pozos para el paso de todo tipo de conductos, cables o toberas de aire acondicionado, deben ir revestidos por fuera con material resistente al fuego.

8.2. Los conductos horizontales para las diversas instalaciones y aire acondicionado deben ir revestidos con materiales resistentes al fuego si atraviesan distintos sectores de contención del fuego. Si sólo se desarrollan dentro de un sector, basta con que sean de materiales incombustibles.

8.3. Los pozos y conductos deben, además de estar formados y revestidos por materiales incombustibles o difícilmente combustibles, recibir pinturas asimismo no inflamables.

8.4. En los pozos y conductos de renovación y acondicionamiento de aire no deben incluirse cables o tuberías de energía, y en cajas de ascensores tan sólo los imprescindibles que forman parte de su equipo motor.

8.5. Las cajas de ascensor no deben utilizarse para la ventilación de otros locales.

9 Puertas

9.1. Las puertas de la caja de escalera que no dan paso al exterior deben ser, como mínimo, un freno a la propagación del fuego y estar compuestas de materiales no combustibles.

9.2. Las puertas que se abren a pasillos que conducen a la caja de escalera deben ser impermeables al humo, lisas y macizas.

9.3. Las puertas de enlace entre la escalera que va a los pisos y la que va al sótano deben ser resistentes al fuego.

10 Sectores de contención del fuego

Los edificios altos deben subdividirse en sectores de contención del fuego de 30 m de longitud mediante paredes cortafuegos. Estas paredes sólo tendrán huecos en los pasillos, y aún éstos se dotarán de puertas cortafuegos.

11 Salidas y escaleras de emergencia

11.1. Desde cada habitación de cada planta deben existir vías de acceso a dos escaleras que sean independientes una de otra y situadas lo más separadas posible. Una de las escaleras debe considerarse como escalera de servicio, normal; la otra puede, si no resulta necesaria para la comunicación vertical normal, construirse como una escalera de socorro según las características que se describen en 11.5. para casas de hasta 12 pisos.

En lugar de las dos escaleras puede preverse una escalera única de seguridad como la descrita en el apartado 11.6.

11.2. De las dos cajas de escalera debe haber una junto a una pared exterior que tenga en cada planta una ventana practicable que dé al aire libre. Las dos cajas de escalera deben tener, al nivel de la azotea o encima de la cubierta, un pasadizo o pasarela de enlace transitable sin peligro. Una de las escaleras no es necesario que llegue hasta la planta baja, basta con que desemboque en alguna terraza o salido anejo que quede por debajo de la barrera de los 22 m y que disponga de otra caja de escalera normal accesible que conduzca directamente al exterior.

11.3. Las cajas de escalera normales deben, a partir de la altura límite de 22 m y cada cuatro pisos, dividirse en tramos de eliminación del humo. Cada tramo dispondrá de un extractor de humos en su punto más alto, que podrá ponerse en funcionamiento desde la planta baja y desde el último rellano del tramo inmediato inferior. La dimensión de la abertura por donde habrá de eliminarse el humo debe ser, como mínimo, igual a un 5% de la superficie en planta del tramo correspondiente: de todas maneras la superficie mínima es de 0,5 m².

11.4. La anchura de las escaleras de servicio y sus rellanos debe ser de 1,25 m como mínimo, según la finalidad del edificio singular. Estas

escaleras deben presentar una pendiente moderada, normal según DIN 4174. Los escalones de las escaleras curvadas deben tener en su lado corto un mínimo de 23 cm de huella.

11.5. Las escaleras de emergencia deben tener una anchura mínima de 80 cm y una relación altura-anchura de sus escalones de 20/20 cm.

11.6. La escalera de seguridad sólo será accesible por una galería exterior abierta cuyo antepecho sea de 0,90 m de altura, por lo menos, y sea de materiales incombustibles. Sus paredes de sustentación sólo deben presentar aberturas al aire libre o hacia una galería abierta. En todo lo restante es válido lo dicho en 11.4. La división en tramos comentada en 11.3. y 11.7. puede suprimirse.

11.7. En los edificios altos de viviendas hay que subdividir los pasillos de distribución no limitados por pared longitudinal exterior en sectores de contención del fuego cada 15 m. Puertas sin cerradura pero impenetrables para el humo. Cada sector de pasillo debe tener salida inmediata a una caja de escalera y debe tener alguna abertura al exterior, ya sea por un extremo o mediante un pasillo lateral anejo.

11.8. Las plantas subterráneas deben disponer, por lo menos, de dos salidas independientes que conduzcan directamente al exterior. Si existen dos plantas de sótano, éstas deben estar separadas con protecciones contra el fuego independientes.

La iluminación de estas plantas se hará por lucernarios distintos. Cada salida independiente de una planta de sótano puede estar comunicada con una caja de escalera general.

12 Ascensores

Aparte de las prescripciones propias del Reglamento de ascensores, deben cumplirse las siguientes instrucciones:

12.1. Todos los edificios singulares deben disponer de ascensores. Estos ascensores deben estar contruidos con materiales incombustibles. Las superficies interiores de la cabina pueden ir revestidas hasta un espesor de 1,5 mm con materiales, por lo menos, "difícilmente inflamables". El pavimento de la cabina puede ser de madera de roble siempre que debajo de la madera haya una plancha de acero, y entre ambos 4 mm, como mínimo, de amianto. Los ascensores deben discurrir por "pozos" o "cajas" especiales (véase apartado 8). En un mismo pozo pueden encontrarse a la vez un máximo de 3 cabinas. El cuarto de maquinaria debe estar aislado —a prueba de fuego— de los locales vecinos. Además, debe ser suficientemente espacioso y tener acceso por una escalera.

12.2. En edificios singulares cada vivienda debe ser accesible desde, por lo menos, un ascensor o "montacargas" cuya superficie en planta deberá ser de 1,0 x 2,1 m, como mínimo, para prever la eventual necesidad de transportar una camilla de evacuación de enfermos y diversos tipos de cargas.

En los edificios singulares no se permiten los ascensores continuos.

12.3. Las puertas que abren la caja de ascensores al rellano serán de dos chapas de acero, unidas cada una de 1 a 2 mm de espesor, rígidas a torsión en todas direcciones.

Si se disponen mirillas de cristal, éstas deben ser dobles lunas de vidrio armado, cada una de ellas de 8 mm de espesor, y con dimensiones limitadas a piezas de 0,95 x 0,15 m. Las presillas u otros medios de sostén de las lunas deben solaparse 25 mm como mínimo. En su borde superior se practicarán unos orificios por los que podrán colgarse mediante clavijas o alguna clase de tornillo de fijación. La mirilla de vidrio armado debe tener una resistencia al fuego suficiente con arreglo a la norma DIN 4102.

Las puertas de caja de ascensor deben tener en sus bordes lateral y superior un reborde que solape la junta del marco como mínimo una anchura de 25 mm.

12.4. Las cajas de ascensor con puertas correderas o sin puertas (como los ascensores continuos) deben disponer de un espacio de espera o rellano cuyas paredes sean resistentes al fuego y cuyas puertas sean también ininflamables. Estos espacios cerrados ya no son necesarios más abajo del nivel de los 22 m, pudiendo quedar abiertos a la caja de escalera. Tampoco serán necesarios si se trata de una caja de escalera de seguridad.

13 Locales auxiliares

En los edificios altos, las viviendas deben disponer de cuartos auxiliares o trasteros, así como de lavadero, secador, tendedero, a menos que estos últimos no se hayan situado en un edificio exento; espacio para guardar bicicletas, coches de niños, etc., en el sótano o en la última planta. Estos cuartos trasteros o bodegas deben existir pues en número suficiente y con la superficie adecuada. Se considera suficiente:

Un cuarto auxiliar en el interior de cada vivienda con una superficie mínima del 3% de la vivienda, pero con un mínimo de 1 m²; un cuarto en el sótano o bajo la azotea con una superficie de 8 m² por cada vivienda.

14 Triturador, incinerador de inmundicias

En los edificios altos se instalarán conductos de eliminación de basuras cuyas paredes sean resistentes al fuego. Estos conductos se dispondrán de manera que den lugar a un mínimo de peligros de incendio, humo, polvo, olores y ruidos; el almacenamiento de las cenizas hasta el

momento de su recogida debe estar asimismo correctamente previsto y asegurado.

15 Calefacción, chimeneas

15.1. En los edificios altos la calefacción debe ser central, con producción colectiva de la misma. Las estufas particulares, tanto de combustible sólido como líquido, deben evitarse en lo posible.

15.2. Las chimeneas deben ser continuas y sin codos desde sus cimientos hasta su boca y deben estar permanentemente separadas de las paredes y techos por juntas de 3 cm. como mínimo, rellenas de lana mineral u otro material aislante de iguales cualidades.

16 Ventilación y acondicionamiento de aire

16.1. Dentro de cada sector de contención del fuego los canales de aire deben cerrar un circuito de entrada y salida. No deben estar en contacto o en inmediata vecindad con los conductos que vayan a otros sectores de contención del fuego.

16.2. Las instalaciones de renovación y acondicionamiento del aire basadas en medios mecánicos de impulsión deben poderse controlar (conectar o desconectar) desde un lugar accesible próximo a la entrada y salida de las toberas.

17 Instalación eléctrica de emergencia

Todos los edificios altos deben disponer de una red eléctrica independiente para caso de necesidad, que pueda sustituir la corriente normal y continuar iluminando pasillos, cajas de escalera y salidas, así como hacer funcionar la ventilación forzada. La instalación, incluido el generador, debe revisarse cada dos años realizando una prueba o ensayo de la misma en presencia de un representante de la autoridad competente.

18 Cuadro de distribución y transformador

El recinto que debe albergar el cuadro de conexiones y transformador debe situarse en el interior del edificio y figurar en sus planos. Si en las instalaciones se trabaja con tensiones superiores a 1 kV conviene que el cuadro de control sea una habitación cerrada a toda comunicación interior y por tanto accesible sólo desde fuera del edificio. Sus paredes y techo serán resistentes al fuego en alto grado. Esta misma separación y aislamiento ignífugo se mantendrá en todo el edificio entre los canales y toberas de aire acondicionado y los cables de energía eléctrica. Las instalaciones se regirán por el reglamento VDE.

19 Pararrayos

Los edificios altos deben llevar una instalación de pararrayos que cumpla con todos los requisitos exigidos por la Comisión para la construcción de pararrayos (ABB). La instalación será sometida a comprobación cada cinco años mediante un ensayo. El comprobante y resultado de ensayo será visado por la autoridad correspondiente.

20 Dispositivos de la lucha contra incendios

Para la instalación y funcionamiento de dispositivos de alarma y extinción (por ejemplo, rociadores automáticos) ya se trate de tubos de ascenso húmedos o secos, aparatos de aumento de presión (compresores), mangueras de anillos, bocas de incendio, boquillas de empalme para mangueras, extintores manuales, etc., hay que recurrir en cada caso a la consulta de la Dirección local del servicio contra incendios, al centro más próximo de bomberos o a expertos en la materia para que formulen las condiciones que deben cumplirse.

21 Planos orientativos

Junto a las entradas y salidas del edificio deben colocarse en lugares bien visibles planos de situación y plantas en los que estén grafiados los recorridos de salida de emergencia y la ubicación de las áreas libres destinadas a la lucha contra incendios, aparatos de alarma y extintores así como el funcionamiento técnico de tales aparatos.

22 Otras instalaciones especiales

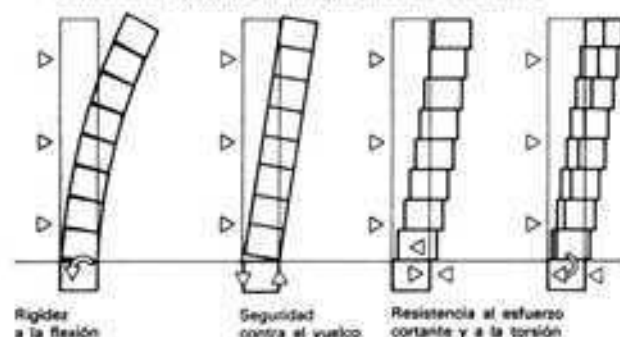
Las prescripciones referentes a instalaciones especiales no sufren modificación alguna.

Estructura y uso de los edificios altos

Para la construcción de edificios altos existen muchas posibilidades estructurales y estáticas. En la mayoría de casos el uso del edificio limita desde el principio la elección de la estructura y de los materiales.

Para edificios destinados a oficinas, en que se requieren superficies que permitan la máxima flexibilidad de compartimentación, sólo entran en consideración sistemas de entramado o porticados con las máximas distancias entre apoyos, que en edificios de

FUERZAS DE REACCIÓN QUE SE SUPERPONEN EN UNA ESTRUCTURA, CONTRA LA PRESIÓN DINÁMICA DEL VIENTO



Rígida a la flexión Seguridad contra el vuelco Resistencia al esfuerzo cortante y a la torsión

no mucha profundidad permitan dejar las plantas totalmente libres de pies derechos interiores. Lo mismo puede decirse de los edificios de muchos pisos destinados a fabricación o a talleres de reparaciones.

Para hoteles y hospitales, edificios en que puede considerarse que la compartimentación de las plantas no deberá sufrir modificaciones, y en que además las paredes divisorias deben tener las mejores propiedades de aislamiento acústico, es mejor una construcción con paredes de carga transversales, que a la vez tienen la ventaja de ser más baratas.

Lo mismo vale para las casas altas destinadas a viviendas, siempre que no se exija una gran flexibilidad en la compartimentación de las plantas. En todos los casos una completa flexibilidad de adaptación queda obstaculizada por las paredes que llevan las instalaciones necesarias con las canalizaciones ascendentes y descendentes, e incluso por la situación de las piezas, como cocinas y aseos, que utilizan aquellas instalaciones. La posibilidad de modificar la distribución mediante el uso de tabiques desmontables representa sin embargo unos costes siempre mayores.

Las paredes desmontables que separan viviendas distintas resultan muy caras a causa del aislamiento acústico que requieren; por esto las viviendas y los tabiques desmontables sólo se emplean para las divisiones interiores de la vivienda. El problema constructivo es, entonces, el de determinar las distancias entre las paredes transversales y las luces de los forjados.

Seguridad estática

Según la altura del edificio y el tipo de estructura sustentante, se presentan en ésta unas tensiones mucho mayores que las que corresponderían a la simple adición de los pisos. Además de los siempre considerables esfuerzos de compresión que sufre el material, correspondientes a la suma de las fuerzas verticales debidas a los pesos propios y a las cargas útiles, aumentan con la altura del edificio los problemas ocasionados por las fuerzas horizontales (viento) y por las de torsión.

Acción del viento

La fuerza del viento se calculará en función de la altura del edificio y de su superficie y forma, así como según la dirección en que aquél actúa, por la DIN 1055, hoja 4, de la que a continuación damos un extracto:

Acción del viento según DIN 1055, hoja 4, con complemento de marzo de 1969

1. En general se examinarán los efectos que sobre los edificios produce el viento actuando en la dirección de sus ejes principales. Excepciones: véase DIN 1055.
2. Los edificios que están suficientemente arriostrados por sus paredes y forjados rígidos no requieren normalmente un estudio especial sobre la presión del viento.
3. La seguridad contra el vuelco y el deslizamiento debe examinarse en casos de duda.

4. Como superficies expuestas al viento se considerarán:
- En edificios poliédricos las verdaderas superficies;
 - En edificios de planta circular o aproximadamente circular, la sección axial perpendicular a la dirección del viento;
 - Cuando hay varias superficies de cubierta, una tras otra (por ejemplo en las cubiertas en dientes de sierra) se contará la totalidad de la primera superficie y la mitad de las siguientes; sin embargo, cada tejado en sí debe calcularse para toda su superficie;
 - Las superficies donde actúan cargas móviles;
 - En las banderas con la tela fija, la superficie verdadera; en las que tienen la tela suelta, el 25% de su superficie.
5. La fuerza del viento se tomará como perpendicular a las superficies sobre las que actúa.
6. Las cargas de nieve y de viento se tendrán en cuenta simultáneamente en las cubiertas de hasta 45° de inclinación; cuando tengan mayor pendiente, sólo en los casos en que es posible una acumulación de nieve o cuando lo exigen los reglamentos.
7. En general se considerará que la dirección del viento es horizontal.
8. $w = c \cdot q$, en kg/m^2 , es la fuerza del viento por unidad de superficie,

Tabla 2.

Coeficientes c y fuerza del viento w por unidad de superficie (presión + succión)					
1	2	3	4	5	6
Clase de construcción	Coeficiente c	$w = c \cdot q$ para			
		$q = 50$ kg/m^2	$q = 80$ kg/m^2	$q = 110$ kg/m^2	$q = 130$ kg/m^2
1. Construcciones limitadas por superficies planas con excepción de las citadas en 2					
1.1. Construcciones cerradas					
1.1.1. Para las superficies perpendiculares a la dirección del viento: en general para construcciones en forma de torre	1,2 1,6	60 80	96 128	132 176	156 208
1.1.2. Superficies con inclinación de un ángulo en relación con la dirección del viento: en general, en estructuras tipo torre	1,2 sen α 1,6 sen α	60 sen α 80 sen α	96 sen α 128 sen α	132 sen α 176 sen α	156 sen α 208 sen α
1.2. En las construcciones que no están cerradas se aplican los valores dados en los casos 1.1.1. y 1.1.2.; pero en su segundo proceso de cálculo hay que aplicarles, simultáneamente, unas fuerzas según 1.1.1. ó 1.1.2. actuando perpendicularmente desde abajo sobre las superficies de cubierta, siempre que en este caso el edificio o alguna de sus partes esté solicitado más desfavorablemente. En este caso se toman los valores	1,2	60	96	132	156
1.3. Paredes aisladas apoyadas sobre el suelo y bandera con la tela fija en general paredes y banderas cuya altura es por lo menos cinco veces su anchura media	1,2 1,6	60 80	96 128	132 176	156 208
2. Construcciones o elementos de sección circular o aproximadamente circular					
2.1. Para la totalidad de la construcción					
2.1.1. Para cuerpos cilíndricos con (1) $d/\sqrt{q} < 1$ (p. ej. cables, alambres) (2) $d/\sqrt{q} > 1$ (p. ej. chimeneas industriales, gasómetros)	1,2 0,74	60 35	96 56	132 77	156 91
2.1.2. Para construcciones esféricas con (1) $d/\sqrt{q} < 1$ (2) $d/\sqrt{q} > 1$ en donde hay que poner el diámetro d en m y la presión q en kg/m^2	0,6 0,35	30 18	48 28	66 39	78 46
2.2. En cuerpos de edificación de forma cilíndrica de base circular, para el cálculo de los elementos sustentantes puede aceptarse un reparto de las fuerzas de presión y succión sobre el conjunto de la sección según las figuras 1 y 2. Curva al para superficies lisas, por ejemplo metales, revocos lisos, madera acepillada Curva bl para superficies rugosas, por ejemplo fábrica de ladrillo, revoco rugoso, madera sin acoplar Para los cuerpos de edificación esféricos el reparto es parecido					
3. Vigas de celosía y de alma llena (con excepción de las contenidas en el caso 4)					
3.1. Para una viga de alma llena sola; en el caso de varias vigas paralelas situadas una detrás de otras, para la viga de delante y las partes de las demás vigas que sobresalen respecto a las que tienen delante:					
3.1.1. Superficies perpendiculares a la dirección del viento	1,6	80	128	176	208
3.1.2. Superficies que forman con la dirección del viento un ángulo α	1,6 sen α	80 sen α	128 sen α	176 sen α	208 sen α
3.2. Para la segunda viga y las siguientes, siempre que vistas desde la dirección por donde sopla el viento queden ocultas por las de delante:					
3.2.1. Cuando la distancia entre vigas, en el caso de vigas de celosía, es menor que el ancho de las barras, y en el de vigas de alma menor que la altura de la viga.	0	0	0	0	0
3.2.2. Cuando la distancia entre vigas es mayor (1) para superficies perpendiculares a la dirección del viento (2) para superficies que forman con la dirección del viento un ángulo α	1,2 1,2 sen α	60 60 sen α	96 96 sen α	132 132 sen α	156 156 sen α

1	2	3	4	5	6
Clase de construcción	Coeficiente c	$w_c = c \cdot q$ para			
		$q = 50$ kg/m ²	$q = 80$ kg/m ²	$q = 110$ kg/m ²	$q = 130$ kg/m ²
4. Torres y pináculos de entramado					
4.1 Torres y pináculos de 3 y 4 montantes					
4.1.1. Dirección del viento perpendicular a una cara: La fuerza total del viento sobre el entramado es $W = c \cdot q \cdot F$ en kg siendo F la superficie cara al viento del entramado de una pared de la torre	2,8	140	224	308	364
4.1.2. El viento sopla en la dirección de una arista Fuerza total de viento = $A \cdot W = k \cdot c \cdot q \cdot F$ en kg (1) Torre triangular $A = 1,0$ (2) Torre cuadrangular: $A = 1,1$ para torres de acero $A = 1,2$ para torres de madera En los casos 1 y 2 la fuerza del viento se reparte entre las paredes de la torre que están de cara al viento y las que están en el lado opuesto en la proporción de 1,6/1,2. Véanse 3.1.1. y 3.2.2. (1). Pero para simplificar el cálculo puede aceptarse un reparto por mitad entre las dos caras. Estas fuerzas actúan en la dirección del viento. Cuando ataquen por una esquina deben descomponerse por lo tanto en sus componentes normal y paralela a las superficies de las paredes laterales.					
4.2. Torres y pináculos con más de 4 montantes Si no se dispone de datos de observación más exactos, para cada una de las barras se aplicará el cálculo según la tabla 2, número 1.3.	1,6	80	128	176	208

Tabla 3

Coeficiente c y succión w por unidad de superficie					
1	2	3	4	5	6
Clase de construcción	Coeficiente c	$w = c \cdot q$ para			
		$q = 50$ kg/m ²	$q = 80$ kg/m ²	$q = 110$ kg/m ²	$q = 130$ kg/m ²
1. Construcciones cerradas.					
Paredes y cubiertas					
en general	0,4	20	32	44	52
para construcciones en forma de torre	0,8	40	64	88	104
2. Construcciones sin cerrar y cobertizos aislados					
Paredes	0,4	20	32	44	52
Cubiertas	1,2	60	96	132	156

compuesta de presión y succión. Para los valores de q , véase tabla 1; para los de c , véase tabla 2.

9. La distinción entre presión y succión del viento queda bien establecida en los casos en que se trata de elementos de construcción (por ejemplo, cerchas) en los que la distribución entre estos esfuerzos está suficientemente aclarada por ensayos. En edificios cerrados de planta rectangular y cubierta a una o dos pendientes puede, por ejemplo, descomponerse la fuerza del viento cq , para los elementos sustentantes principales, según se indica en las figuras 3 a 5. Para

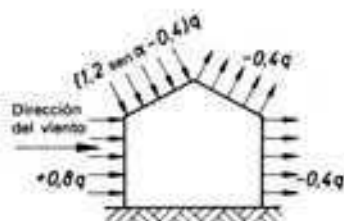


Figura 3

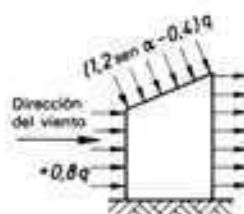


Figura 4

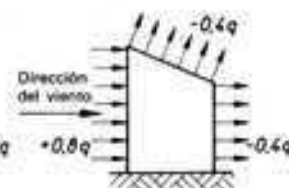


Figura 5

el cálculo de cada uno de los elementos, por ejemplo cables, correas, pies derechos de fachada, los valores para presión se elevarán en 1/4.

10. Independientemente del estudio con los coeficientes de la tabla 2, siempre que no se calcule según el párrafo 9 se tendrá en cuenta el efecto de succión del viento, asegurándose de que las paredes, techos y demás elementos resisten los esfuerzos calculados mediante los coeficientes c dados en la tabla 3.

Disposiciones adicionales al complemento de 9 y 10 de marzo de 1969

En las intersecciones de dos paredes o de pared y cubierta, en la parte de la pared y en una zona de 1 m. de ancho a cada lado de la arista, además de las fuerzas de succión los párrafos 9 y 10 se tomarán unas fuerzas de succión adicionales calculadas con el coeficiente $c = 2$. En la zona de la cubierta, para cubiertas poco inclinadas, con $\alpha < 35^\circ$, a las fuerzas de succión según los párrafos 9 y 10 se les añadirán otras fuerzas de succión actuando en una franja de $b/8 \geq 1 \dots 2$ m, en el sentido de tender a levantar la cubierta, calculadas según la tabla e y la figura 4. En los aleros se contará además con una presión del viento actuando desde abajo con $c = 0,8$.

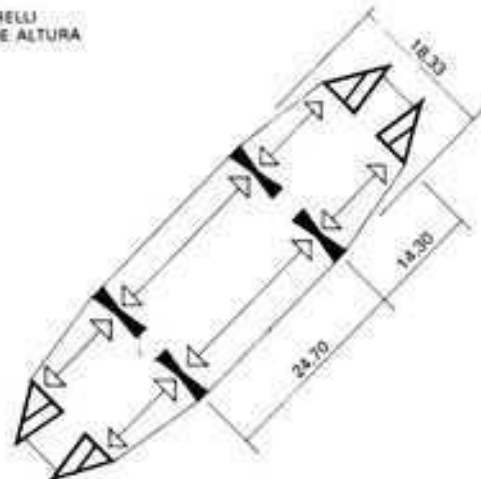
Estabilidad a las fuerzas del viento

La mayor estabilidad respecto a las fuerzas horizontales y de torsión la alcanzan las estructuras a base de paredes de carga, con paredes que se unen unas a otras según intersecciones lineales regulares. Hasta una cierta altura el propio peso de un edificio así compuesto proporciona suficiente seguridad contra el vuelco al actuar la fuerza del viento.

La resultante de las fuerzas verticales y horizontales aplicada al centro de gravedad del edificio debe cortar a la base del mismo a una distancia máxima del eje igual a $1/3$ de la anchura. En algunos casos esto puede conseguirse por los siguientes procedimientos:

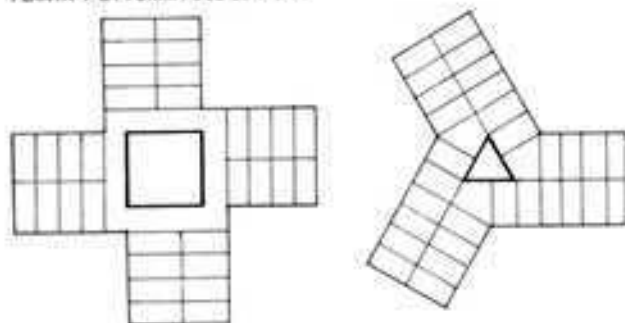
- Aumentar el peso y conseguir que el centro de gravedad se desplace hacia abajo incrementando la masa en la parte baja hasta los cimientos.
- Aumentar la superficie en planta de la cimentación ensanchando el sótano y los cimientos de modo que sobresalgan de la anchura del edificio.
- Dar a la planta una forma en T o en Y. Estribación mutua de unos cuerpos de edificación esbeltos contra otros, orientados en sentido distinto.

CASA PIRELLI
125 M DE ALTURA



Estabilización mediante forjados longitudinales
Pares de pilares dispuestos transversalmente, cargado y pretensados

ESTABILIZACIÓN MEDIANTE LA ORGANIZACIÓN DE LA
PLANTA Y LA FORMA DEL EDIFICIO



Mientras las construcciones a base de paredes de carga alcanzan fácilmente la necesaria estabilidad frente a los momentos de flexión ocasionados por las fuerzas del viento, en las construcciones usuales a base de entramado sólo se encargan de proporcionar esta estabilidad unas ciertas losas verticales en forma de pared.

El número de estas paredes, sus dimensiones y su disposición dependen de la altura del edificio, de la forma de construcción, de la disposición de la planta y de los materiales elegidos.

Paredes de arriostramiento y núcleos de rigidez

Una pared de arriostramiento aislada, desde una cierta esbeltez en adelante ya no puede construirse como pared que actúa por gravedad. En la construcción en hormigón armado estas paredes se construyen en forma de losas verticales armadas y a veces pretensadas, en la construcción con estructura metálica en forma de entramados resistentes verticales. A fin de que contrarresten las tensiones de flexión y de lograr que la resultante de las fuerzas verticales y horizontales corte a la superficie de cimentación con el menor descentramiento posible, las citadas losas verticales conviene que reciban también cargas verticales (pretensado natural). En construcciones extremadamente esbeltas es preciso en ciertos casos ensanchar el bloque de cimentación de modo que resulte mucho más ancho que el propio edificio.

Los elementos verticales de arriostramiento, en forma de paredes macizas, de entramados o de estructuras porticadas deben estar dispuestos en dos planos no paralelos entre sí y quedar unidos por unos terceros planos. Lo mejor es reunirlos formando unos núcleos de rigidez que se empotran en los cimientos como si fueran elementos sustentantes tubulares. Pueden ser aprovechados para escaleras, ascensores y canalizaciones verticales, o para locales auxiliares entre los cuales, de todos modos, ya serían necesarias divisiones permanentes.

La forma más conveniente de un núcleo en posición central depende de la estructuración de la planta del edificio. Por ejemplo, en una casa en forma de torre de planta cuadrada, lo más oportuno es un núcleo también cuadrado, la longitud de cuyos lados depende de la altura del edificio. En edificaciones de planta alargada (los límites entre planta cuadrada y planta alargada son vagos) se da al núcleo una forma rectangular de dimensiones adecuadas, si no se quiere completarlo con paredes adicionales.

En edificios de longitud mayor de 40 a 45 m, se requieren juntas de separación, y, según la disposición de éstas, se colocan las paredes o pórticos de arriostramiento adicionales, o bien se disponen varios núcleos de rigidización.

Contrariamente a esto, los núcleos de rigidez situados junto a las paredes exteriores no son convenientes, ni en lo referente a la circulación de la gente por el edificio, ni en lo que atañe al arriostramiento. Los núcleos situados fuera del edificio no colaboran prácticamente en la rigidización del mismo. Es cierto que con ello se logra la máxima libertad en el aprovechamiento de la planta, pero esto se paga con unas estructuras en pórtico rígido que resultan caras. Los grandes momentos flectores que se presentan en los nudos rígidos de los entramados de las casas altas obligan a unas secciones de pilares y vigas notablemente mayores que en el caso de utilizarse pilares pendulares y paredes de arriostramiento.

Los pilares pendulares pueden seguir los movimientos del edificio, sin recibir daños, a partir de un punto fijo hacia todos los lados.

Cuando el núcleo de rigidez está en el centro las superficies en planta sólo quedan limitadas, en principio, por la longitud de los caminos de evacuación. En la práctica se limitan las superficies de las plantas (sin junta de dilatación) de modo que aquellos caminos sean de longitud < 50 m. Si las plantas son mayores son indispensables las juntas de dilatación. Entonces cada una de las partes separadas por estas juntas requiere un arriostramiento propio. En general, cuando en la superficie de un piso hay varios núcleos de rigidez resistentes a la flexión y a la torsión, hay que poner juntas de movimiento entre ellos, para evitar las fuerzas de coacción que entonces se producirían.

Los problemas que presentaban las mayores alturas de los edi-

cios y la preocupación por obtener la máxima flexibilidad de compartimentación, junto con las menores escuadrías de los elementos estructurales, han llevado finalmente, en la construcción metálica, al intento de colocar los elementos de arriostramiento en forma de entramado espacial que envuelve todo el edificio. La disposición periférica, por dentro o por fuera de las paredes de fachada, permite la máxima esbeltez de los elementos de arriostramiento y con ello la máxima economía de material, y no perjudica la flexibilidad en la distribución de la superficie de las plantas.

Casas altas a base de paredes de carga

Para las casas normales destinadas a viviendas una estructura formada por espacios lo más iguales posible y de forma casi cuadrada, con paredes de carga exteriores e interiores, longitudinales y transversales, es la mejor solución desde el punto de vista estático. Las paredes que se arriostran mutuamente y los forjados con armaduras cruzadas son la solución que da menores gruesos para paredes y techos, con la mayor rigidez espacial de la construcción. Junto a un más uniforme reparto de las cargas entre las paredes longitudinales y transversales se consiguen así las dimensiones más económicas para la losa de cimentación. También es apropiado para la construcción de casas altas el sistema de paredes de carga longitudinales y transversales sin paredes sustentantes en las fachadas. La fachada va entonces de forjado a forjado y no desempeña funciones estáticas, sino que solamente sirve como protección contra la intemperie y para compensar las tensiones térmicas.

La construcción a base de paredes solamente longitudinales no es recomendable en casas elevadas a causa de la necesidad de arriostramiento transversal y de los problemas que presentan entonces las fachadas. La magnitud de la carga estática sobre las paredes exteriores sustentantes se suma a las complicaciones de origen físico y limita en alto grado la libertad para disponer las ventanas.

En todos los sistemas de construcción a base de paredes de carga se procura aprovecharse de las distintas resistencias a la compresión que ofrecen las diferentes clases de materiales y con ello de sus distintas posibilidades de carga con iguales gruesos de pared. Aumentando la distancia entre paredes sustentantes hasta de 6 a 7 m. se puede alcanzar mayor flexibilidad de compartimentación, y obtener locales de distintos tamaños y con distintas posibilidades de subdivisión. Finalmente, los mayores gruesos de paredes y forjados que resultan a consecuencia de estas mayores distancias entre paredes contribuyen también al mayor aislamiento acústico.

Los hoteles y los bloques de camas de los hospitales tienen casi siempre los mismos anchos de las habitaciones y unas luces de envigados moderadas, semejantes a las de las casas para viviendas corrientes.

Frente a esto casi no tiene sentido aprovechar en las casas para viviendas la flexibilidad de compartimentación que permiten las construcciones a base de entramado sustentante, a causa de las limitaciones que les imponen los recintos con instalaciones, aun prescindiendo del mayor coste ocasionado por el arriostramiento y por la necesaria protección acústica.

Obras de fábrica

El hecho de que en estos últimos diez años la construcción a base de obras de fábrica de ladrillo cerámico y de ladrillo de cal y arena haya podido aún sostenerse en el campo de las casas de gran altura, hasta 16 pisos, constituye un éxito impresionante del aumento de la calidad de los materiales, de lo afinado de los métodos de cálculo, y de una planificación del proyecto y de la ejecución realizada a partir de las propiedades de este sistema constructivo. Las investigaciones y ensayos decisivos proceden de Suiza. Allí se levantaron las primeras casas elevadas destinadas a viviendas, construidas en fábrica de ladrillo.

Fábrica de ladrillo

En numerosos ensayos en pilares y paredes de altura igual a la de un piso se ha estudiado el comportamiento de la fábrica de ladrillo en las condiciones más severas. Los resultados esenciales de estos estudios, realizados en Suiza, han sido los siguientes: Cuando están sometidos a compresión centrada, los ladrillos y el mortero se dilatan en sentido perpendicular a la acción de la fuerza. A causa de la adherencia y el rozamiento la dilatación transversal de los ladrillos y del mortero tiene que ser la misma. Pero como la extensibilidad transversal del mortero fresco es mayor que la de los ladrillos, se producen en éstos unas tensiones de tracción perpendiculares a la acción de las fuerzas, que finalmente hienden los ladrillos que traban la pared en el plano de las juntas verticales. Los ladrillos no se destruyen por lo tanto a causa de las fuerzas de compresión, sino que se hienden antes a causa de las tensiones de tracción que en ellos se producen. La pared se descompone así en varios pilares. Se observó que cuando las juntas horizontales y verticales son demasiado gruesas las tensiones de tracción transversales aumentan.

Pero si al ejecutar la fábrica de ladrillo se pone demasiado poco mortero en las juntas, según que las caras de asiento de los ladrillos tengan las superficies más o menos desiguales, la carga total se transmite sólo por un número mayor o menor de puntos. Las tensiones de tracción producidas de este modo hacen hender los ladrillos más rápidamente que cuando las juntas de mortero tienen espesor suficiente.

Si las caras de asiento de los ladrillos quedan reducidas por perforaciones, se desgarran éstos proporcionalmente más rápidamente. También son perjudiciales para la resistencia las formas de sección irregulares y las torsiones, que producen grandes flexiones, excentricidades locales o concentraciones de tensión. En paredes altas y delgadas (de media asta) la parte superior oscila hacia delante y detrás durante la ejecución. Cuando los ladrillos son muy absorbentes el mortero pierde rápidamente plasticidad y se apelmaza hacia los bordes. Así, con carga centrada se produce concentración de tensiones en el centro, y con carga descentrada hay que contar con una cierta flexión de la pared o pilar y la correspondiente mengua de resistencia.

La absorción de agua no puede compensarse mojando los ladrillos, sin inconvenientes para la resistencia a la compresión de la obra de fábrica. Los ladrillos sólo deben absorber una pequeña cantidad de agua. Un mortero más duro y más resistente a la compresión se comprimirá menos bajo la acción de las cargas y su dilatación transversal será menor, de tal modo que se producirán menores tensiones de tracción en los ladrillos que dan trabazón a la pared.

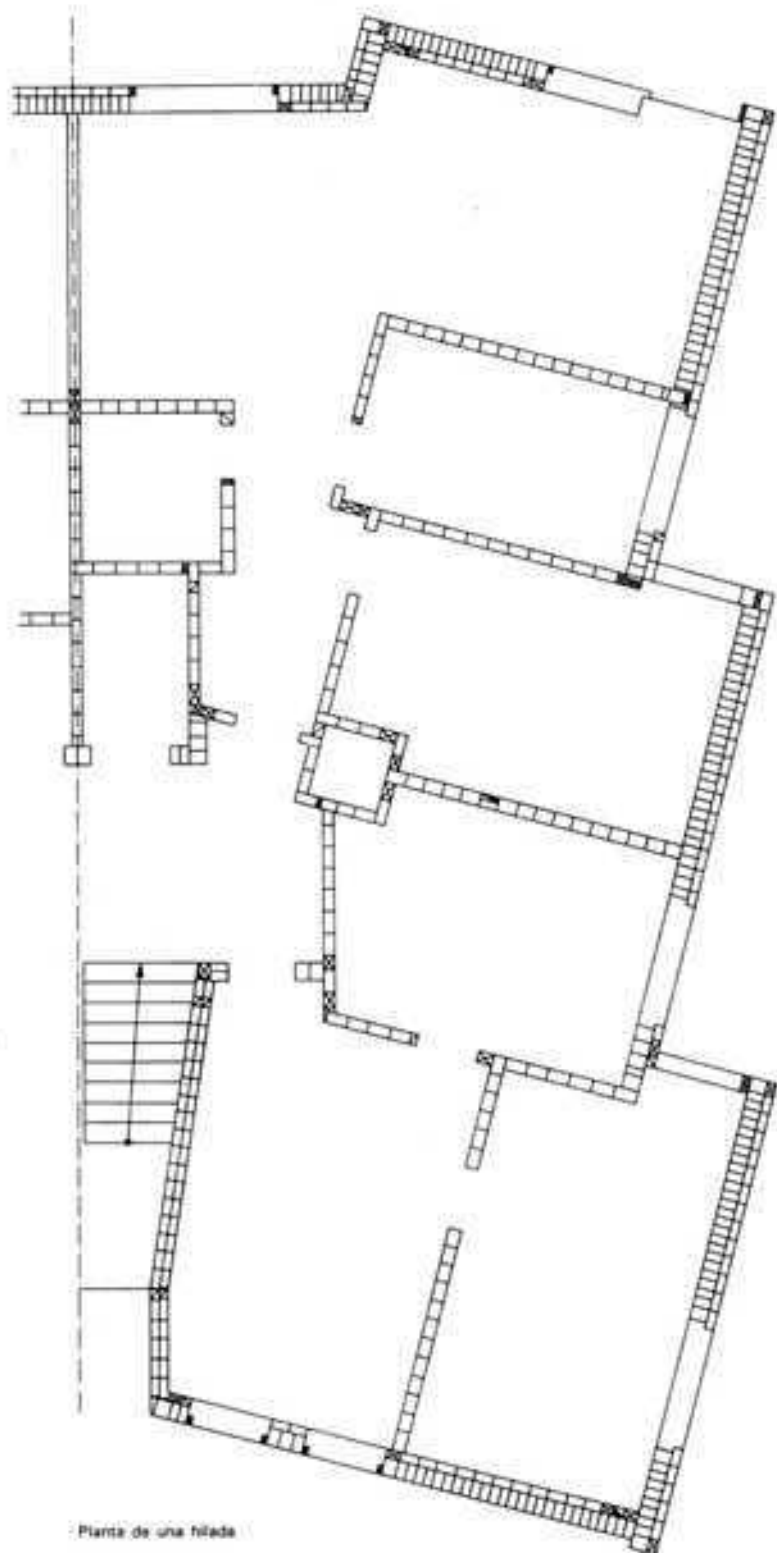
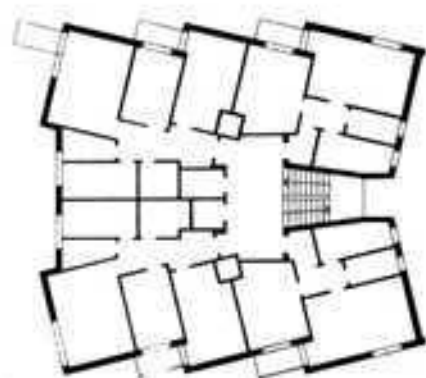
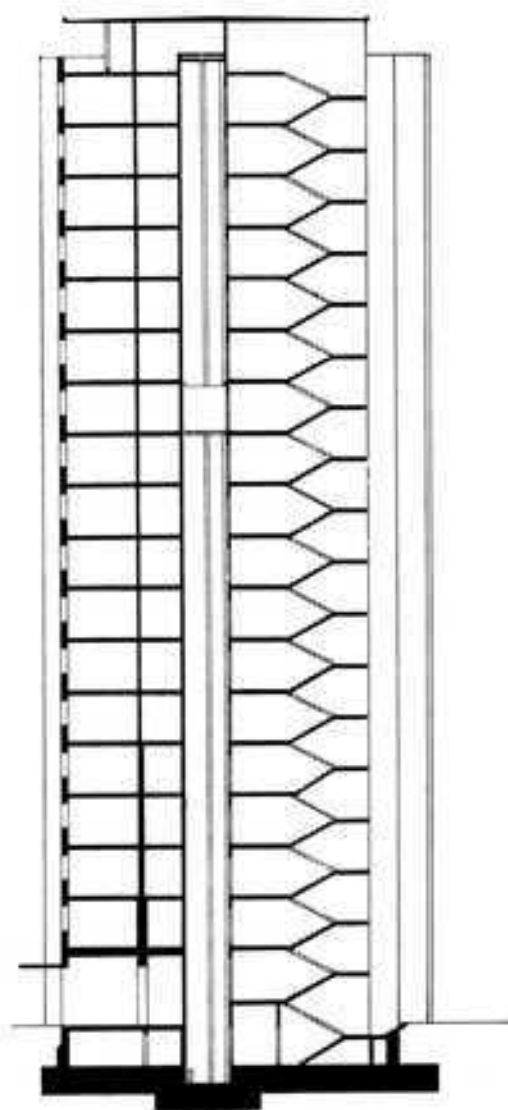
Según la obra de Hart "Der Mauerziegel" al proyectar edificios elevados a base exclusivamente de fábrica de ladrillo de más de 6 plantas hay que tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Las plantas de todos los pisos deben ser iguales y deben corresponderse verticalmente.
- La planta debe distribuirse de tal forma que las paredes de carga y las de arriostramiento delimiten, a ser posible, espacios cuadrados o casi cuadrados a fin de que los pesos de los forjados y las fuerzas del viento se repartan lo más uniformemente posible en la estructura de las paredes.
- Las dimensiones de las habitaciones, así como las alturas de los techos, deben elegirse de acuerdo con la ordenación de dimensiones y con las dimensiones de los ladrillos. El aparejo debería indicarse mediante dibujos en planta de las hileras.
- Todos los huecos y rozas necesarios para las instalaciones deben estar previstos en los planos y debe estudiarse su influencia en la estabilidad del edificio. Es inadmisibles abrir huecos y rozas una vez ejecutadas las paredes.
- En todos los casos es necesaria una verificación de las condiciones estáticas.

En la ejecución de las obras hay que tener en cuenta lo siguiente:

- La resistencia a la compresión de los ladrillos y del mortero debe comprobarse reiteradamente.
- Las paredes transversales de arriostramiento deben levantarse simultáneamente con las de carga. Los aligeramientos

CASA DE PISOS CON DESTINO A VIVIENDAS EN
ZÜRICH-SCHAMMENDINGEN
18 PLANTAS
GRUESO DE LAS PAREDES EN TODAS LAS PLANTAS: 38 CM



Planta de una hilada

Casa de pisos con destino a viviendas.
de fábrica de ladrillo
Reproducido de la obra *Der Mauerziegel* de

F. Hart y F. Bogenberger R. Oldenburg-Verlag, Munich

previstos en la DIN 1053/2.21 no deben ser tomados en consideración.

- Hay que tener las máximas exigencias en la calidad de la mano de obra y sobre todo en la exactitud de las medidas.

Fábrica de ladrillos de cal y arena

Como ejemplo de fábrica de ladrillos de cal y arena tomaremos una casa para viviendas de ladrillo sin revocar con estructura de paredes longitudinales y transversales, con 16 plantas destinadas a viviendas y 2 de sótano. Los ladrillos de cal y arena tienen la ventaja, respecto a los ladrillos cocidos, de que sus dimensiones se mantienen más exactas, lo que hace que incluso una pared de media asta pueda quedar perfectamente lisa por ambas caras. A esto, además del buen precio a que resulte, se debe la aceptación que ha tenido esta clase de fábrica. Sus inconvenientes residen en su menor aislamiento térmico, que a su vez es consecuencia de su elevado peso. A causa del pequeño aislamiento térmico los gruesos de las paredes exteriores deben ser mayores que en las paredes de ladrillo cerámico hueco, lo que aumenta todavía más la cantidad de material y mano de obra, así como el volumen total de la construcción. Pero la mayor cantidad de material en los edificios para viviendas es todavía una ventaja pues el mayor peso y la mayor masa de las paredes exteriores e interiores ofrecen una mayor protección contra el ruido y una mayor capacidad de acumulación térmica. A pesar de toda la racionalización en la construcción, esto requiere un retorno a las construcciones con gruesos muros de los tiempos antiguos que —supuesto que las ventanas fuesen de tamaño adecuado— se distinguían por el agradable frescor de sus habitaciones en verano.

A continuación damos datos del edificio antes citado como modelo.

- Grueso de las paredes exteriores:
Pisos 1-16, 50 cm. de fábrica de ladrillo visto, con juntas llenas.
- Grueso de las paredes interiores:
Pisos 1-16, 24 cm. de fábrica de ladrillo; en las plantas inferiores, parte en hormigón. Clases de fábrica empleadas:
en las plantas 1-14, VKSV 350
y en las plantas 15-16, VKSV 250.
- Composición del mortero:
Aglomerante Cal puzolámica de alta hidraulicidad
Arena Granulometría, 0-3 mm.
- Proporciones de la mezcla:
Morteros del grupo II 1:3
Morteros del grupo II 1:2,5

El grueso de las paredes exteriores se ha aumentado en 1 cm para asegurar las juntas longitudinales verticales contra la penetración de la lluvia.

Las juntas verticales se rellenan vertiendo mortero entre las peltadas de mortero de los extremos, en cada hilada, y hurgoneándolo después, a fin de conseguir un total relleno de las juntas de la obra de fábrica.

Se ha aplicado a las paredes exteriores una pintura de impregnación "Kiesol F" en dos veces.

Al construir las paredes se ha cumplido con todas las medidas constructivas que se aplican en Suiza.

Como forjados se han empleado —como es conveniente en esta clase de edificaciones— losas armadas en ambas direcciones. En la construcción de este edificio los trabajos de ejecución de la obra gruesa duraron 13 meses, de los cuales los de levantar paredes duraron 8 meses y medio. Con un equipo de 32 hombres, eran 3 los albañiles experimentados que se encargaron de la obra principal. Como inconvenientes de la construcción de edificios altos con obra de fábrica tenemos la mayor duración de las obras en relación con otros procedimientos constructivos, el mayor tiempo que se necesita para el secado, y la absoluta invariabilidad de la planta en todos los pisos.

Paredes de fábrica de hormigón

Hay que distinguir entre paredes de hormigón en masa y de hormigón armado. Con los mismos gruesos puede contrarrestarse

una carga cada vez mayor variando la calidad del hormigón. Después de la guerra se han construido casas de 12 y 13 plantas con hormigón de ladrillo triturado, sin armar, con un grueso único de paredes de 37,5 cm.

Mayor número de plantas, con un grueso de paredes de apenas la mitad, ha sido posible conseguir mediante una graduación de las calidades del hormigón, en las construcciones de hormigón armado. Por otra parte los sistemas de encofrado racionalizado, de madera o de acero, han sustituido casi totalmente los sistemas a base de hormigón revestido, con encofrado perdido. Los encofrados deslizantes y el empleo de mesas encofradoras han simplificado los trabajos a ejecutar en la obra, hasta tal punto que especialmente en la construcción de casas que no formen un grupo de casas iguales entre sí, la construcción in situ ha aventajado económicamente, en la mayoría de los casos, a la prefabricación a base de grandes paneles. Las paredes y forjados de hormigón in situ dan lugar a una unión de los distintos elementos de la construcción entre sí capaz de transmitir totalmente las fuerzas.

Muchas veces los sistemas mixtos de prefabricación y hormigonado in situ ofrecen ventajas económicas. En el sistema "Alibeton" (Suecia), por ejemplo, todas las paredes transversales sustentantes y arriostrantes y todos los forjados se vierten en encofrados prefabricados, mientras que las paredes exteriores, no sustentantes, están formadas por paneles prefabricados mixtos suspendidos planta por planta. En otros sistemas es sólo el núcleo de rigidez lo que se construye in situ, mientras que todas las demás paredes y forjados se construyen con piezas prefabricadas que se colocan en el lugar debido y se unen unas a otras mediante juntas armadas.

Los sistemas de prefabricación con elementos de pared y de forjado de tamaño de las habitaciones constituyen el sistema de construcción con menos flexibilidad de adaptación. Las condiciones del transporte ya limitan el tamaño de las piezas. La anchura máxima de los paneles de forjado que permite el transporte (unos 4 m) determina el máximo ancho posible de las habitaciones. La descomposición de las paredes y techos en elementos no es admisible para la construcción de casas elevadas, pues aquí las uniones de los elementos deben estar siempre en las esquinas de los locales.

Con la construcción a base de grandes paneles se alcanzan: el mínimo número de elementos, un peso casi igual para todos ellos (hasta unas 7 toneladas), gran rigidez de las uniones en todas las direcciones, el mínimo tiempo de ejecución y una realización de los trabajos no dependientes casi en absoluto del estado atmosférico.

Casas altas a base de entramado sustentante

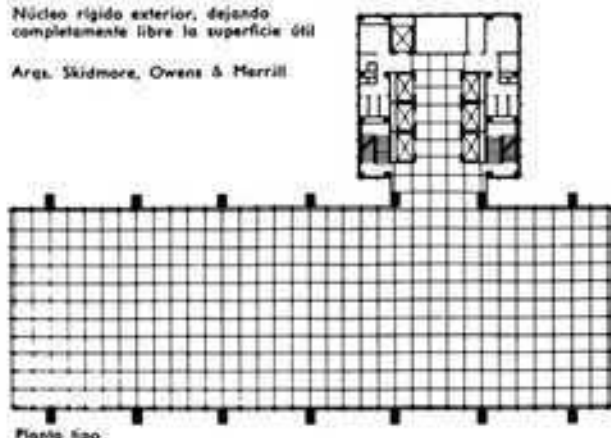
En la construcción de edificios para oficinas y despachos se ha impuesto en general la exigencia de que las superficies de los pisos puedan compartimentarse con toda libertad. Las distancias entre pilares deben dar lugar, dentro de las superficies utilizables, a unos forjados cuya luz resulte económica. Los forjados y las jácenas influyen más en el precio de un edificio que el número y la sección de los pilares, a igualdad de cargas y de alturas de techo. En los edificios con estructura de hormigón las distancias entre pilares más favorables económicamente son de unos 5 m; en los edificios con estructura metálica, de unos 7 m. En la práctica, muchas veces se llega en hormigón armado hasta de 6 a 7,5 m; y en acero, hasta 8 y 10 m y más.

Supresión de pilares en la planta baja

Las cargas verticales se transmiten al terreno mediante elementos verticales, a través de las cimentaciones o de las paredes de los sótanos, que actúan como repartidores de las cargas. La disposición de los pilares de fachada a pequeñas distancias unos de otros va bien en los pisos, pues facilita allí la sujeción de los elementos de fachada, pero puede ser un estorbo en la planta baja. La supresión de algunos pilares sustentantes se hace más difícil cuando es mayor el número de pisos en la planta baja, llevando sus cargas mediante jácenas a los pilares próximos y la distancia

Núcleo rígido exterior, dejando completamente libre la superficie útil

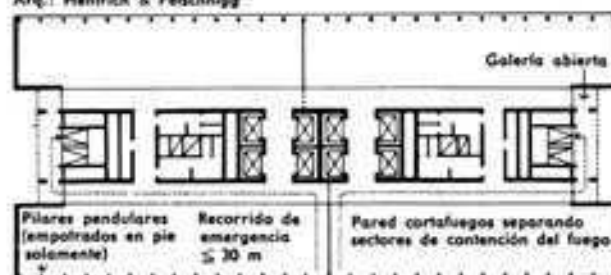
Arq.: Skidmore, Owens & Merrill



Planta tipo

Distribución en tres bandas
La superficie útil queda dividida por una zona central que actúa como núcleo rígido

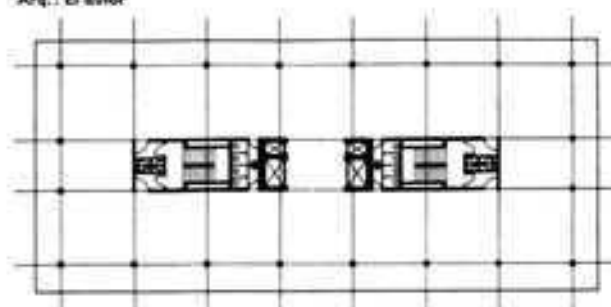
Arq.: Henrich & Fetschnigg



Planta tipo

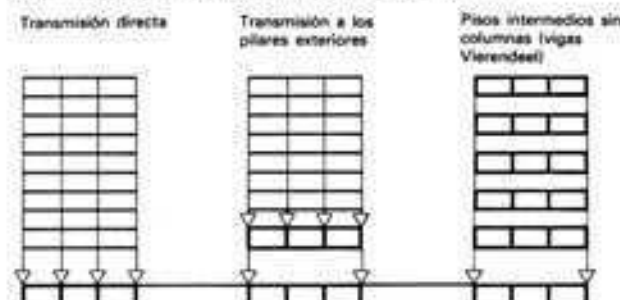
Núcleos rígidos englobados en el interior de la superficie útil

Arq.: El autor



Planta tipo

CASAS DE PISOS CON ENTAMADO SUSTENTANTE
Formas fundamentales de la transmisión de las cargas verticales



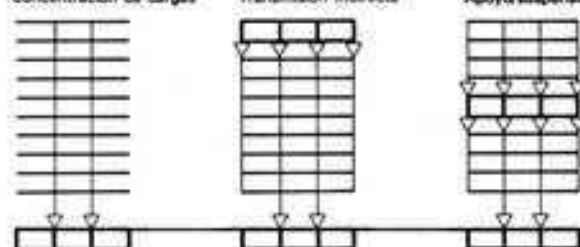
entre pilares, y sólo se puede conseguir con el aumento del coste debido a las grandes jácenas que transmiten los esfuerzos. Por esto en las fachadas de los edificios elevados es mejor llevar las cargas al terreno mediante unos pilares a gran distancia, que atraviesen la planta baja, y poner en los pisos unos montantes intermedios no sustentantes, que faciliten la sujeción de los paneles de fachada y el paso de las instalaciones. La transmisión directa de las cargas mediante sólo elementos verticales requiere la menor cantidad de material y mano de obra y representa con ello el sistema de construcción más económico.

Muchas veces otras formas de construcción presentan ventajas en el coste o en el tiempo empleado, que pueden compensar una mayor cantidad de materiales, por ejemplo, las estructuras suspendidas.

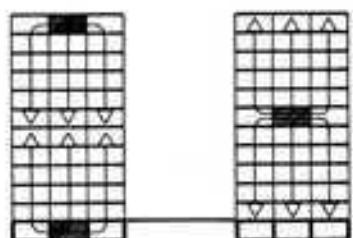
Estructuras con voladizos

Construir los forjados de modo que se extiendan en voladizo desde el núcleo de la edificación y cubran toda la extensión de la planta, ciertamente es posible estática y técnicamente. Pero este tipo de estructura tiene los siguientes inconvenientes: Los brazos en voladizo tienen en su arranque un canto bastante considerable. En los extremos del voladizo, o sea en las paredes exteriores, hay que contar con una cierta movilidad a causa de la posibilidad de que varíe la posición de las cargas; esto da lugar a dificultades en la fachada. El gasto suplementario que produce la mayor robustez del forjado, que se repite en cada planta, hace que la construcción con forjados en voladizo sea el sistema de estructura más caro.

Estructura con voladizos Concentración de cargas Suspensión Transmisión indirecta Combinación Apoyo/suspensión

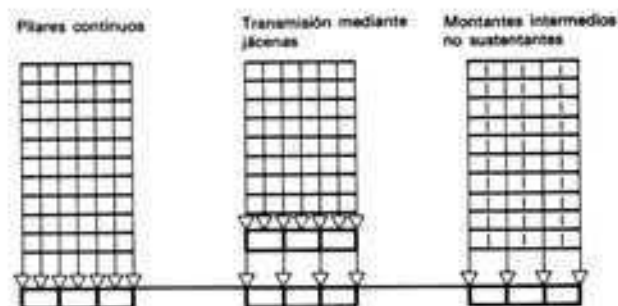


Situación de las centrales de las instalaciones en la estructura del edificio



Alcanzo máximo: unas 10 plantas

Disposición de los pilares en la planta baja



Estructuras suspendidas

Las estructuras suspendidas no permiten prescindir de elementos sustentantes en las fachadas, pero liberan de aquéllos las plantas bajas. Precisamente en las casas altas, la sustitución de los pilares que actúan a pandeo por montantes que actúan a tracción da lugar a una notable reducción de las secciones. Ya en 1929 se publicaron proyectos de casas con estructuras suspendidas. Sus ventajas constructivas y la reducción de coste que con ellas se conseguía sólo se hicieron patentes con la posibilidad de construir también desde arriba hacia abajo. Se construye primero un núcleo sustentante, por el procedimiento de los encofrados deslizantes (avance: 1 planta por día aproximadamente). Los elementos que actúan a tracción se anclan en unas vigas en voladizo o en unos pisos en voladizo que actúan como vigas. Para el proceso constructivo se presentan las siguientes posibilidades, según el sistema que se emplee para la ejecución de los forjados:

1. Suspensión planta por planta (descenso de la plataforma de encofrado).
Los forjados se construyen desde arriba hacia abajo, en su posición definitiva; la plataforma de encofrado, después del fraguado de cada forjado, se suspende una planta más abajo.
2. Elevación planta por planta de los forjados construidos previamente al nivel del terreno.
Los forjados se construyen directamente sobre el nivel del terreno. Con la elevación en la altura de una planta de cada uno de los forjados previamente construido y la suspensión del inmediato inferior puede procederse paralelamente, sin grandes recorridos de transporte vertical, al cerramiento de la fachada y a los trabajos de acabado. Antes de que todos los pisos estén en su posición definitiva los trabajos de acabado pueden estar terminados faltando solamente conectar las instalaciones con los conductos de suministro que suben por el núcleo central.

Como ventajas de la construcción desde arriba hacia abajo, que muchas veces resulta económica, en la construcción de casas elevadas, tenemos:

- Pequeño gasto en encofrados, por la utilización repetida de una misma plataforma de encofrado rígida y desplazable.
- Los lugares de trabajo quedan protegidos por los forjados ya construidos de los pisos superiores.
- No son necesarios andamiajes de protección, que siempre son caros.
- Los lugares de trabajo se cierran fácilmente cuando es preciso protegerlos contra el viento. Es posible no tener que interrumpir los trabajos en invierno. Las fachadas se montan pronto y los procesos para aplomarmas son sencillos.
- Los trabajos de acabado de los pisos desde arriba hacia abajo se realizan sin perturbaciones por la ejecución paralela en el piso inferior.
- La suma de los recorridos de transporte de materiales se reduce notablemente, pues los pisos no van elevándose a su posición definitiva hasta que tienen todos los trabajos de acabado realizados.

Sistemas especiales

Mientras para la previa construcción del núcleo se ha impuesto generalmente el procedimiento de los encofrados deslizantes y trepadores, para la obra en general expondremos brevemente todavía dos procedimientos especiales, que en ocasiones se emplean en la construcción de edificios elevados: los sistemas Lift-slab y Jack-Block.

El sistema Lift-slab se desarrolló en los Estados Unidos y en Suecia. Sólo se trata en el fondo de una manera especial de construcción de los forjados. Mientras el núcleo y los pilares, de hormigón o de acero, se van hormigonando o montando por los procedimientos convencionales, los forjados de hormigón se construyen unos sobre otros encima del forjado inferior. Excepto un encofrado perimetral, no hace falta aquí ningún otro encofra-

EDIFICIOS ELEVADOS A BASE DE ENTRAMADO-SUSTENTANTE Distintas posibilidades de ejecución

Proceso natural, de
abajo hacia arriba



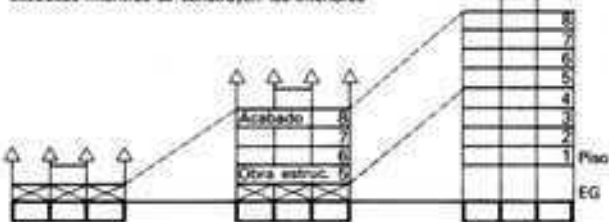
Sistema Lift-Slab

Los forjados se construyen sin encofrado

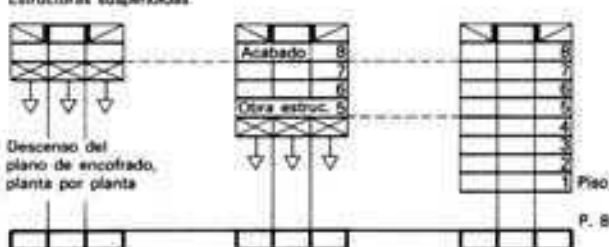


Sistema Jack-Block

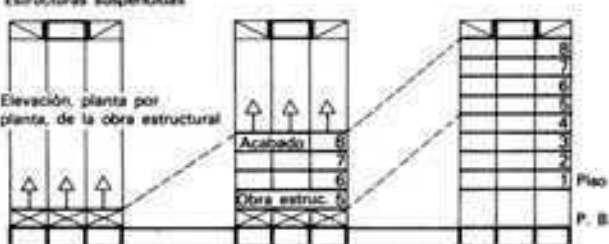
Elevación de las plantas superiores ya
acabadas mientras se construyen las inferiores



Estructuras suspendidas



Estructuras suspendidas



do; unas capas de separación dejan que los distintos forjados se separen unos de otros al colocarlos en su posición.

Con unos elevadores hidráulicos fijados al núcleo y a los pilares se llevan estos forjados a su posición definitiva levantando toda la pila de forjados y anclando cada vez el forjado que queda debajo en unas cartelas de acero y continuando la elevación del resto del montón. El montaje de los pilares y el desplazamiento del necesario elevador pueden realizarse con suficiente antelación paralelamente a la elevación.

Las ventajas son:

- Ejecución de todos los forjados a nivel del terreno.
- Ahorro de tiempo al no ser necesarios encofrados.
- Economía, que depende de la diferencia en los precios del encofrado y los costes de la elevación.
- Las superficies de los forjados pueden resultar tan planas y pueden quedar tan lisas, al no existir juntas entre las tablas del encofrado, que no sea preciso ni un revoque en la cara inferior ni un lecho de mortero en la superior.

Los forjados se calcularán, según sus condiciones de apoyo, como estructuras fungiformes planas. El procedimiento es igualmente apropiado para estructuras apoyadas y para estructuras suspendidas y permite una posterior racionalización del proceso constructivo haciendo que cada vez sólo se eleven pisos totalmente acabados.

El sistema Jack-Block se funda en el principio de limitar el transporte de materiales a no más de 3 plantas. En esta zona se construyen los pisos, empezando por el desván, desde la obra estructural hasta el acabado; luego se elevan hidráulicamente mientras se sigue el proceso en los pisos inferiores y se completa por debajo cada vez la estructura sustentante.

A pesar de estas ventajas estos procedimientos de construcción se emplean pocas veces, pues el coste resulta siempre más elevado que con los sistemas corrientes. Pero en casos especiales, por ejemplo cuando el espacio de que se dispone en la obra es limitado, el mayor coste puede quedar compensado.

Fachadas de casas altas

Por aumentar la presión dinámica del viento con la altura, las fachadas de las casas altas están expuestas a presiones relativamente grandes a causa del viento, la lluvia y el granizo. El choque y el empuje del viento rompen la cohesión del agua y la impulsa también hacia arriba. Los sistemas empleados para conseguir la estanquidad deben tener también en cuenta estos factores. La simple disposición en voladizo de las partes superiores

sobre las inferiores requieren que las vigas de fachada sean mayores.

En el estudio de las fachadas de las casas altas hay que tener también en cuenta los trabajos de conservación de las fachadas y los de limpieza de los cristales. Los balcones continuos en toda la periferia del edificio cumplen a este respecto una nueva misión, ya que ahorran la colocación de pasarelas exteriores o de elevados andamios.

En edificios de gran altura y de muchos pisos la seguridad de las obras, sobre todo, puede influir en la planificación y ejecución de las fachadas.

Los antepechos de hormigón macizos, con la superficie debidamente resistente (pintura, hormigón lavado o revestimiento cerámico) pueden ejecutarse ya al construir la obra estructural y permiten colocar las ventanas desde dentro, sin andamios exteriores. Cuando se emplean paneles de fachada de altura igual a la de los pisos (paneles de 3 gruesos) las ventanas ya pueden ser colocadas en ellos en taller. Las fachadas cuya superficie debe revestirse posteriormente requieren por lo menos un andamiaje suspendido o un andamiaje trepador y a veces un sistema de circulación alrededor del edificio, para facilitar los posteriores trabajos de conservación.

Pero son más típicas de las casas elevadas las fachadas formadas por paredes y ventanas ligeras, que se tienden de un piso a otro (muros cortina).

Como la distancia entre ejes de las ventanas en general apenas llega a la mitad de la altura de los pisos, los montantes se destacan respecto a los travesaños. La estructura vertical caracteriza el muro cortina. Puede estar formado por paneles de varias capas, o puede llevar cámara de aire. Este caso es el mejor desde el punto de vista físico (protección contra el sol) y permite también mejor aislamiento acústico entre dos pisos inmediatos que una construcción suplementaria (antepecho macizo). En todo caso, en las fachadas de metal ligero hay que estar seguro de que tengan una suficiente movilidad y una suficiente estanquidad en las uniones y en las juntas entre sus elementos, a fin de reducir al mínimo las tensiones térmicas y los ruidos que las acompañan.

Cubiertas

Las cubiertas tienen por misión proteger las construcciones de la lluvia, el viento, la nieve, el calor y el frío. Según su forma y su inclinación (pendiente) ejercen una influencia esencial sobre el aspecto de conjunto de un edificio. Su forma y disposición tienen aún más importancia cuando se trata de varios edificios juntos, de un sector de una localidad o de poblaciones enteras. En la Antigüedad, las circunstancias del clima y la uniformidad de los materiales empleados para techar daban un aspecto de homogeneidad a los edificios de una población. Así nos encontramos que, en la parte norte de los Alpes, los tejados de gran pendiente estaban primitivamente cubiertos con paja y más tarde con teja vana, mientras que en los Alpes y el territorio cercano a ellos se veían tejados de poca pendiente con cubierta de madera (chillas). Con la progresiva desaparición de la antigua artesanía de la construcción en el siglo XIX fue perdiéndose también el aspecto homogéneo de los tejados y cubiertas. Nuevas posibilidades técnicas y nuevos materiales se han añadido a los recibidos de la tradición artesana y han traído todavía a la actual multiplicidad de los más diversos cuerpos de edificación, la confusión producida por las formas, pendientes y materiales. Desde el punto de vista constructivo es común a todos los sistemas de cubierta el hecho de que el material de cubrición debe estar soportado por una estructura resistente cuya disposición depende en primer lugar de las condiciones constructivas (distancias entre apoyos, profundidades de edificación) y de las posibilidades del material de cubrición (pendiente). Por esto nosotros distinguiremos desde el principio, por la disposición del sistema resistente y la distancia entre sus apoyos, las estructuras de cubierta para casas corrientes y las estructuras de cubierta para edificios en forma de nave de una sola planta.

Estructuras sustentantes para las casas corrientes

Las cubiertas que todavía predominan, de mayor o menor pendiente, sobre plantas de pequeñas dimensiones, con o sin apoyos interiores, se basan en las reglas transmitidas por la tradición de los oficios de la carpintería de armar y la colocación del material de cubrición. Mediante una armadura, generalmente de madera, se dan las pendientes de cubierta que convienen por motivos constructivos o formales, a no ser que ya el forjado del último piso constituya, con la pendiente debida, la sustentación de la cubierta.

En el artículo sobre estructuras sustentantes de grandes naves se estudiarán las estructuras de cubierta de mayores dimensiones y las bases para las construcciones de ingeniería en madera, exponiéndose allí además de las estructuras de cubierta de madera las estructuras de acero y de hormigón. Allí se encuentran también algunas observaciones fundamentales sobre las propiedades y el empleo del material madera, que son de más importancia a causa del dimensionamiento más estricto de las piezas de madera empleadas en las obras de ingeniería que en las obras de carpintería de armar a base de maderas macizas.

Formas de cubierta

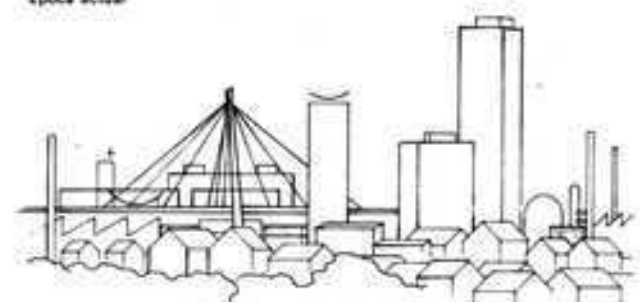
Entre todas las formas de cubierta representadas la cubierta a dos aguas, la cubierta a una sola vertiente, la cubierta plegada (en diente de sierra, "shed"), así como la cubierta plana, son las formas fundamentales, mientras que las cubiertas en faldones actualmente sólo tienen importancia histórica, urbanística o paisajística.

Para buhardillas y sotabancos en las casas de tipo corriente todavía no existe en la actualidad mejor clase de construcción para la cubierta que la de las antiguas estructuras de madera. Sus primeros modelos se encuentran en los primeros tiempos de la Edad de Piedra y fueron perfeccionándose durante la Edad Antigua. En la Edad Media mejoró su construcción a base de nuevos tipos y modelos y se fue desarrollando hasta la desaparición del barroco. En la época del clasicismo se produjo una parada y tras ella vino una decadencia de las obras de carpintería. Todas las armaduras de cubiertas se hacían antiguamente mediante el trabajo a mano de las maderas y sus dimensiones se fijaban por datos de experiencia, usándose escuadrías muy fuertes, pues la abundancia de los bosques lo permitía y el trabajo de los troncos con el hacha lo exigía. Cuando, a principios del siglo XIX, en muchos sitios empezó a escasear la madera se reflexionó acerca de la conveniencia de economizarla en las estructuras; así, p. ej., Weinbrenner, muy experto en carpintería, propuso ya varias soluciones. La introducción de las serrerías mecánicas en la segunda mitad del siglo XIX y la unificación de las escuadrías facilitaron las primeras economías de importancia en el consumo de la madera. Pero hasta las últimas décadas del siglo pasado no se llegó a emprender un serio estudio estático de las estructuras de carpintería, bajo la presión cada día más dura de la carestía de la madera, y con el fin de reducir al mínimo estrictamente indispensable la sección de las piezas. Gracias a pequeños recursos de tipo constructivo y a los modernos materiales

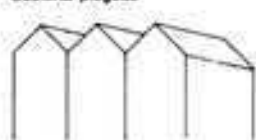
Edad Media



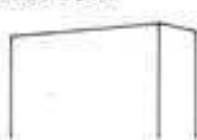
Epoca actual



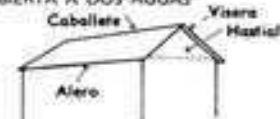
Cubierta plegada



Cubierta plana



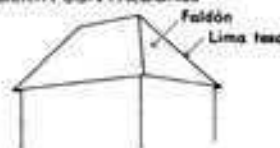
CUBIERTA A DOS AGUAS



COBERTIZO



CUBIERTA CON FALDONES



CUBIERTA CON MEDIOS FALDONES O DE FALDÓN CORTADO



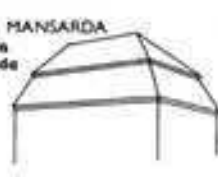
CUBIERTA DE PABELLÓN

Caso especial de la cubierta con faldones



CUBIERTA MANSARDA

Cubierta quebrada



para la unión y enlace de las maderas se han podido sustituir muchos procedimientos de ensambladura que siempre resultaban en detrimento de la sección resistente y, por consiguiente, obligaban con frecuencia al empleo de secciones más fuertes y dimensiones o escuadras más importantes. Así se lograron las últimas economías posibles en la madera, que también condujeron a economías de mano de obra y simplificaciones del trabajo. La época en que se fijaban por experiencia y a sentimiento las dimensiones de las estructuras de carpintería de las cubiertas, puede considerarse como ya caducada definitivamente. Dado que la técnica nunca vuelve atrás, mencionaremos principalmente esas construcciones económicamente perfeccionadas y añadiremos algunas ensambladuras ya anticuadas de la vieja artesanía, sólo como aclaración y base para el mejor conocimiento de las nuevas.

Inclinación de las cubiertas

Las diferentes pendientes o inclinaciones de las cubiertas dependen de los materiales usados para techar, de las circunstancias del clima y de la finalidad a que se destine el local cubierto. Ordinariamente tales pendientes se clasifican en tres grupos o categorías:

1. Cubiertas de poca pendiente: Se designan con tal denominación aquellas cubiertas cuya pendiente no pasa de 5°.
2. Cubiertas de pendiente media: En esta categoría se clasifican las que pasando de 5° no llegan a 40°.
3. Cubiertas de pendiente fuerte: Son las de más de 40° de inclinación.

Sólo se emplean cubiertas de 25 a 30° con estructura de carpintería en la mayoría de aquellos casos en que se construyen sobre una buhardilla o desván transitable. En los locales que requieren cubiertas sin apoyos intermedios, como p. ej. en cobertizos o naves de fábricas y talleres, se emplean actualmente las moder-

nas estructuras económicas de madera y casi siempre con pequeñas pendientes.

Antiguas cubiertas de madera y revestimientos de las mismas

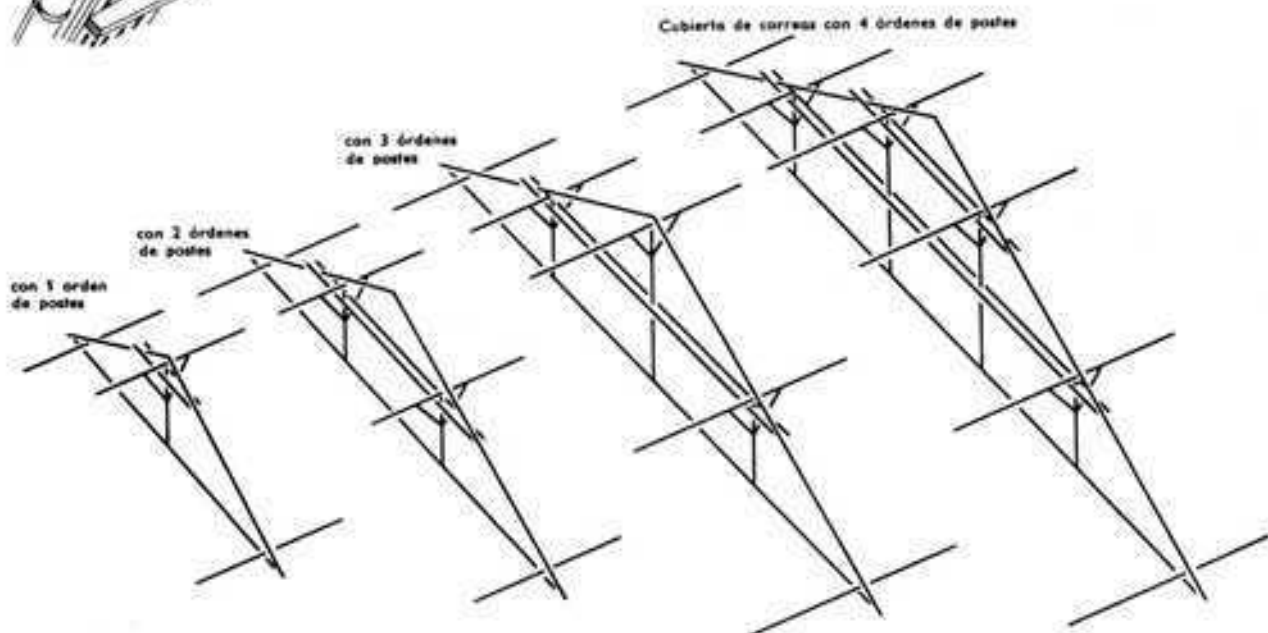
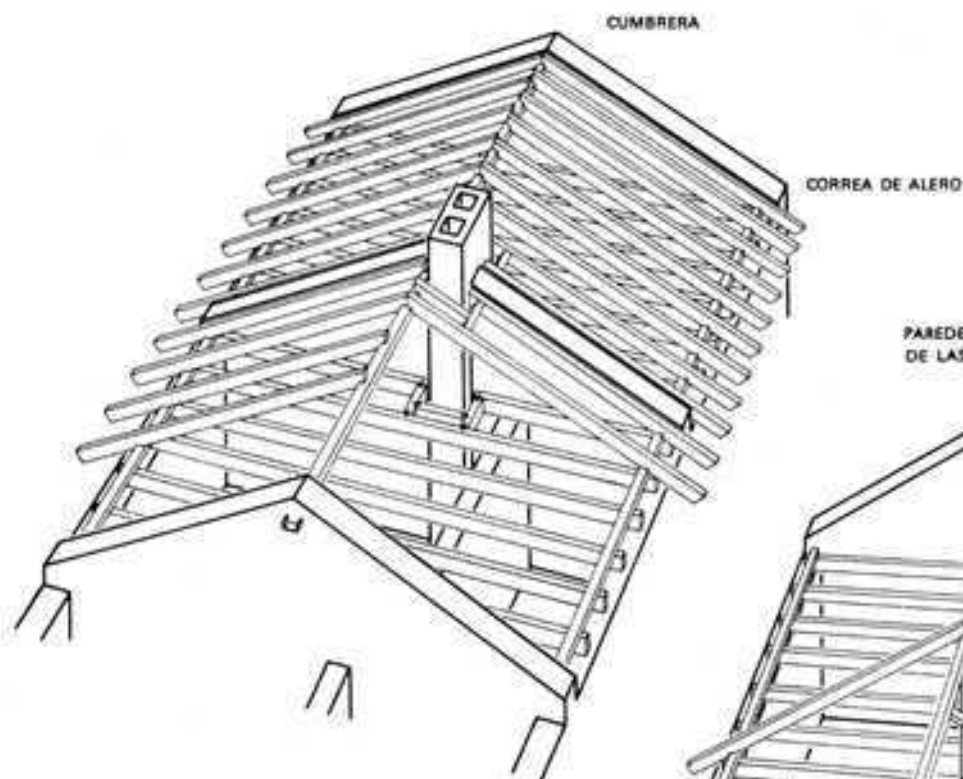
El concepto básico de las cubiertas de madera tiene su origen en los antiguos materiales de techar a base de paja, de chillas o de tejas. Todos esos recubrimientos antiguos parten del principio de la imbricación o solape sucesivo de los elementos y requieren soportes horizontales en forma de tablas o de listones para cada hilada de elementos cubrientes. Ordinariamente el grueso que suele darse a esas latas o correas de techumbre suele ser suficiente para que resistan el peso de un hombre, a cuyo fin se las apoya a distancias ≤ 80 cm; esto se logra colocando cabios que van, naturalmente, colocados según la pendiente desde el alero a la cumbrera. Los cabios, según su longitud, tienen que estar apoyados en uno o más puntos. Según la naturaleza de estos apoyos, las cubiertas pueden ser de dos clases:

1. Cubiertas con correas.
2. Cubiertas de cabios y puentes.

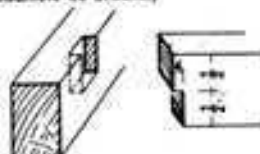
Cubiertas con correas

El caso más sencillo de una estructura de carpintería para cubierta es el que suele presentarse en las viviendas de escasa anchura para una sola familia; para poder fijar y colocar los cabios, se disponen sobre los muros longitudinales unas "correas de alero" y luego, como apoyo superior de los cabios, otra correa "hilera o cumbrera", que va desde una de las paredes transversales a la opuesta. En la práctica de estas construcciones, ni las correas de cumbrera ni las de alero deben atravesar las medianerías que sirvan de muros cortafuegos. Las correas de alero quedarán interrumpidas y los extremos de las correas de cumbrera se apoyarán sobre ménsulas o soportes de acero, que son los que atravesarán dichos muros cortafuegos. Gracias a esas sencillas medidas se logra una construcción que posee todas las características de una estructura de cubierta sobre correas: los cabios se apoyan, a la manera de vigas inclinadas, sobre las correas que les sirven de jácenas. Por lo que se refiere a la rigidez o afianzamiento transversal de la armazón de cubierta se utilizan las paredes que sirven de apoyo a las correas. Los cabios no tienen importancia estática para esa clase de estabilidad de la cubierta. Las posiciones de los cabios en ambas vertientes de la cubierta son independientes unas de otras. Aun disponiendo la correa de alero sobre el envigado del desván, la distribución o repartición de los cabios sigue siendo independiente de la disposición de dicho envigado. Para mayores distancias entre las paredes transversales (hastiales) que soportan las correas, las que están libremente apoyadas (en este caso particular, la hilera) deben recibir, a ciertas distancias, apoyos suplementarios mediante puntales o postes.

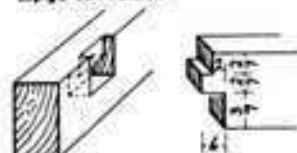
La distancia más ventajosa, desde el punto de vista económico, entre los apoyos de las correas viene a ser de 3,5 a 4,5 m. También esta luz entre apoyos resulta ser la más conveniente para el apoyo de los cabios. Cuando se sobrepasa esta dimensión aumenta rápidamente el consumo de madera, porque los momentos de flexión crecen con el cuadrado de la luz entre los apoyos. La separación o distancia entre los cabios suele hacerse de 70 a 80 cm. El aumento de esta separación no sólo tiene como consecuencia el aumento de la escuadría de los cabios sino que al mismo tiempo se incrementa la sección de las latas o listones, con el consiguiente aumento del consumo de madera. Así, pues, para que la carpintería de una cubierta resulte económica es preciso mantenerse dentro de los citados límites. Según el número de los postes sustentantes de la cubierta que existan en cada sección transversal y según la forma en que actúan, cosas que dependen de la profundidad del edificio y de la longitud más económica de las correas, se habla de cubiertas de correas con uno, dos o tres órdenes de postes verticales, apuntalados o tumbados.



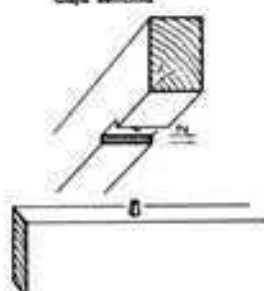
Encaje a media madera
(ensamblado de brochal)



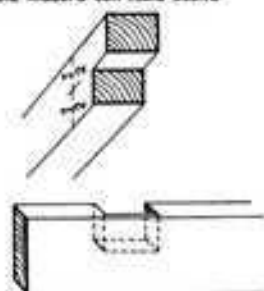
Esposa con retalón



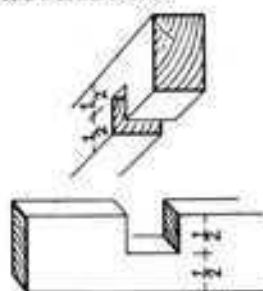
Caja sencilla



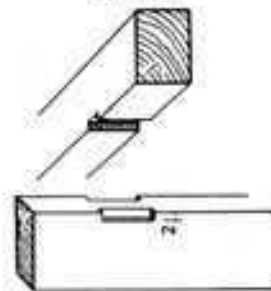
Media madera con testa oculta



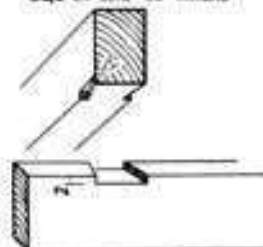
Media madera cruzada



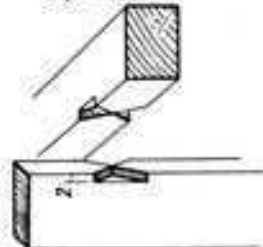
Caja doble



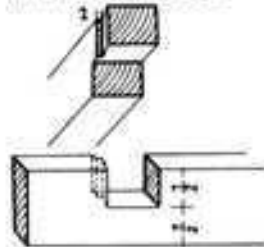
Caja en cola de milano



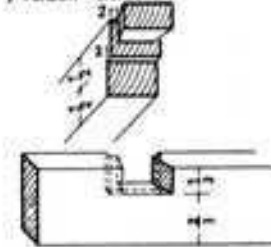
Caja en cruz



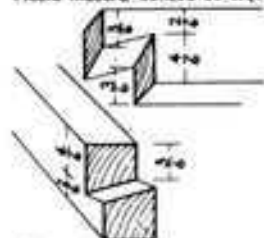
Media madera con retalón



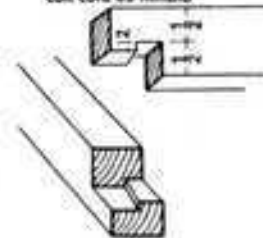
Media madera con cola de milano
y retalón reforzado



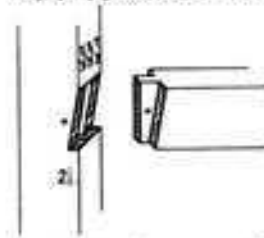
Media madera oblicua de esquina



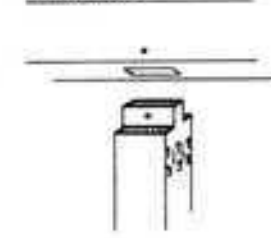
Media madera de esquina
con cola de milano



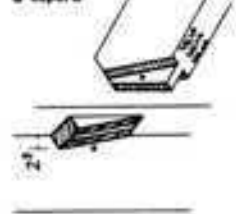
Caja y espiga con corte a espera



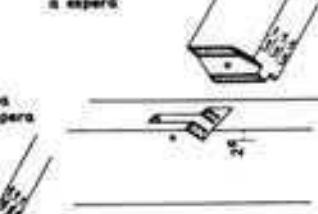
Caja y espiga



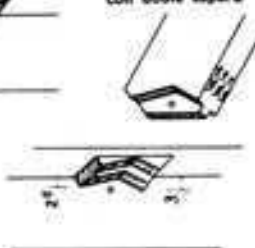
Caja y espiga
con corte delantero
a espera



Caja y espiga
con corte posterior
a espera



Caja y espiga
con doble espera



Unión de cabios con ensambladura
a inglete



Esposa con horquilla;
ensambladura de tenaza



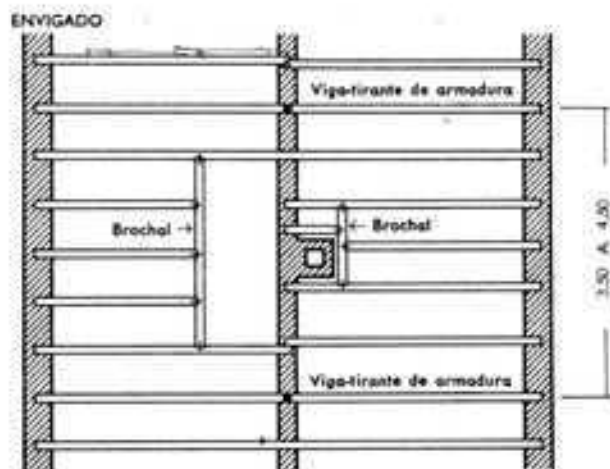
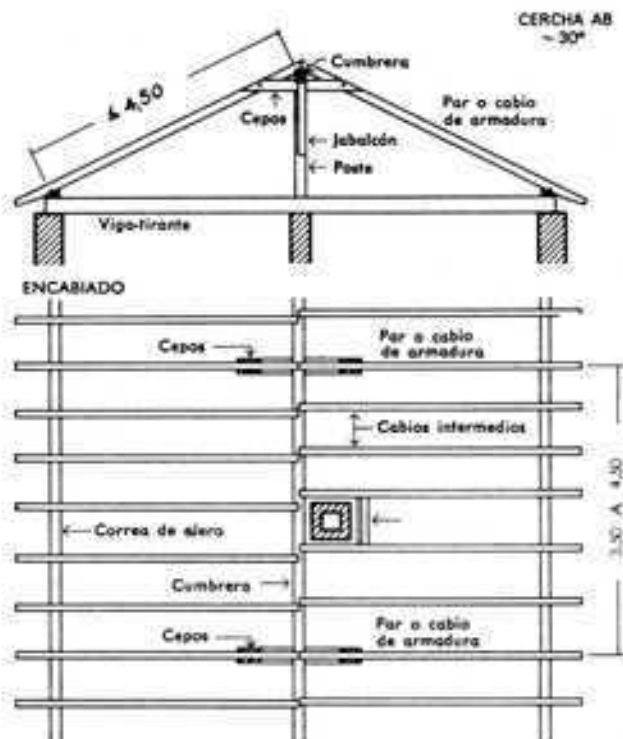
Solicitación de la armazón de cubierta y cálculo de las dimensiones de sus elementos

La armazón resistente de una cubierta de correas considerada estáticamente consiste en unas cerchas o armaduras en posición transversal sobre el cuerpo de edificio, y en unas correas colocadas encima longitudinalmente para soportar los cables. Esta armazón está destinada a transmitir a las paredes exteriores e interiores, para que éstas las transmitan a su vez al terreno firme, todas las presiones y cargas: pesos propios, nieve, presión del viento, etc. El curso de las fuerzas para cada uno de los casos de carga es el siguiente:

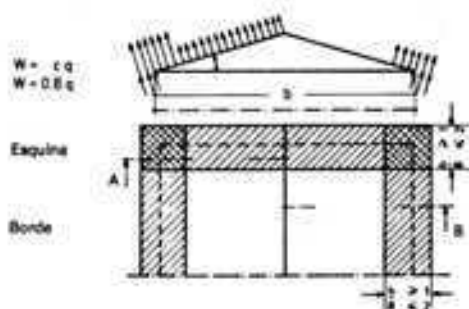
En el caso de cargas verticales uniformemente repartidas, los cables están únicamente solicitados por flexión. Sus presiones verticales sobre los apoyos, por una parte son transmitidas a las correas de alero sobre las vigas del desván, y por otra a la correa de cumbrera, y luego de ésta, por los postes y vigas de desván a una pared intermedia o a unas paredes transversales que las llevan a los cimientos. La correa de cumbrera, como consecuencia de las cargas que le transmiten los cables, es solicitada por flexión. Los cepos no intervienen ni tienen función alguna en esa clase de carga. Cuando hay carga de nieve en una sola de las vertientes, el cuadro varía, pues sólo una de las correas durmientes y la correa de cumbrera deben soportar esa nueva carga. Si, en cambio, la cubierta está sometida a los esfuerzos del viento, las circunstancias cambian. Empecemos por explicar aquí su forma de actuar, a base de la hipótesis de carga que da la norma DIN 1055 hoja 4 y hoja anexa, aunque haciéndolo en forma resumida. La corriente del viento suele ser de dirección horizontal y como tal se la supone. Las fuerzas del viento actúan perpendicularmente sobre las superficies con que tropiezan. A base de la máxima velocidad del viento y del peso específico del aire ha sido determinada la denominada "presión del viento". Esta varía según la altura de los edificios sobre el terreno que los rodea. Los cuerpos de edificio mantenidos en el seno de una corriente de aire son diferentemente solicitados según sea su forma de conjunto. Las superficies de pared que dan su cara al viento y los tejados o cubiertas con más de 40° de pendiente soportan presión. Las superficies de pared opuestas a la parte por donde llega el viento y aquellas que se hallan situadas paralelamente a la dirección del mismo, así como las superficies de cubierta que tienen pendientes menores de 40°, están expuestas parcialmente a fuerzas de succión que pueden llegar a ser importantes. Sin embargo, en las superficies de cubiertas expuestas al viento no suele tenerse en cuenta tal efecto de succión en los cálculos más que cuando la pendiente es inferior a 20°, porque la dirección del viento puede diferir de la horizontal y, en caso de tormenta, combinarse con fuertes ráfagas verticales.

Las fuerzas de succión sobre todas las paredes de la parte contraria al viento, o sea la resguardada de éste, si los cuerpos de edificio están cerrados, se considerarán constantes en los cálculos, cualesquiera que sean las pendientes de las cubiertas. Por ejemplo, para edificios de 20 m de altura sobre el terreno exterior se considerarán de -32 kg por metro cuadrado de superficie de cubierta. Este valor es únicamente un valor medio para toda la superficie, que no suministra dato alguno especial acerca de las irregularidades locales que puede ofrecer ese efecto de succión. Efectivamente, cuando el viento llega oblicuamente a un cuerpo de edificio, en las aristas del mismo y de su cubierta y en sitios expuestos, como guardillas o aleros, pueden producirse esfuerzos de succión que sobrepasen, en determinados puntos, notablemente el promedio calculado. No suelen ponerse de manifiesto cuando la cubierta es de tejas, porque el peso de éstas es suficiente para contrarrestarlos. Pero los revestimientos de planchas metálicas, cartón asfáltico y vidrio tienen un peso propio más bien reducido y a veces inferior al valor de la succión de -32 kg/m² de superficie de cubierta. 1 m² de cubierta de una sola capa de cartón alquitranado o asfaltado, p. ej., pesa (sin la madera) solamente 10 kg y si es de dos capas 15 kg. Por esta razón es preciso que las cubiertas de poca pendiente estén aseguradas para no ser arrancadas por el viento y conviene que sus armazones de madera o hierro estén bien ancladas a la obra de fábrica.

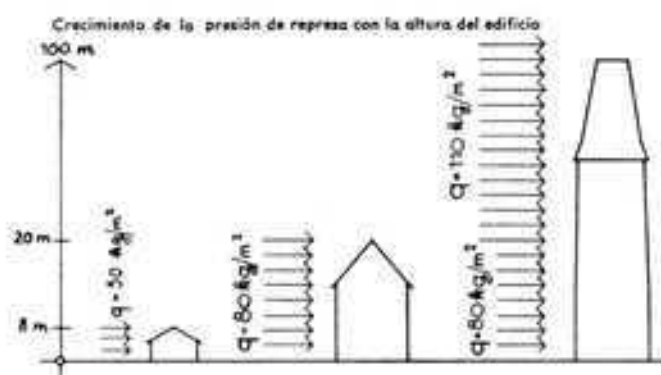
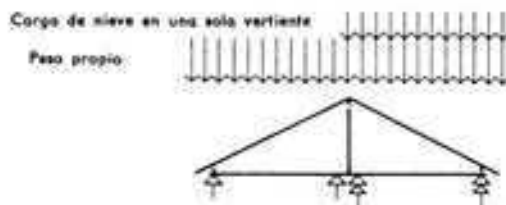
Esto lo tiene en cuenta la DIN 1055 nuevamente redactada, en la hoja complementaria n.º 4. Allí se prescriben las fuerzas de



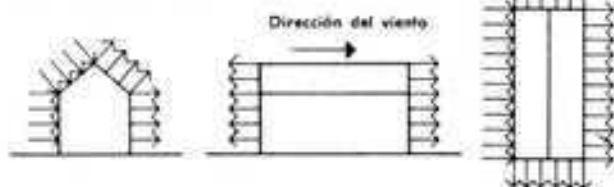
CARGAS DE LEVANTAMIENTO A TENER EN CUENTA EN CUBIERTAS PLANAS, SEGUN DIN 1055 HOJA N.º 4.



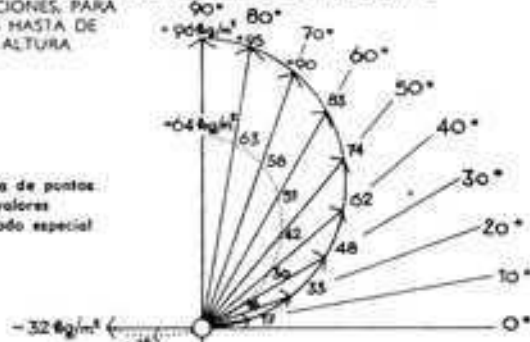
succión adicionales para cubiertas planas o poco inclinadas, esto es, de pendiente inferior a 35° y para la parte en saliente de los aleros. Allí se dan indicaciones detalladas sobre la fijación y anclaje de tales estructuras de cubierta. Dio motivo a la redacción de estas prescripciones una gran cantidad de casos en que se producían daños en las cubiertas de poca inclinación.



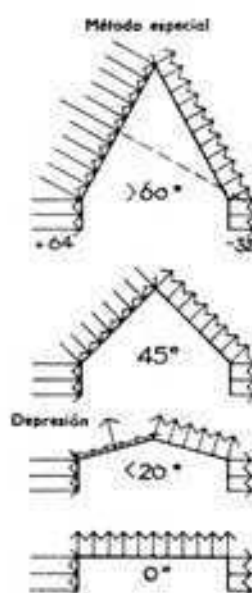
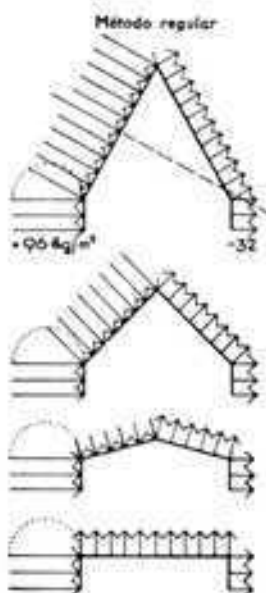
Diferentes solicitaciones en un edificio



PRESIÓN DEL VIENTO SOBRE CUBIERTAS CON DIFERENTES INCLINACIONES, PARA EDIFICIOS HASTA DE 20 M DE ALTURA



La curva de puntos da los valores del método especial



En los cálculos se determinan las cargas del viento multiplicando la presión del mismo por el correspondiente coeficiente de forma. Generalmente se hacen los cálculos por el método regular. Para algunas formas sencillas que figuran en la hoja de normas puede aplicarse el método especial. Ambos métodos dan resultados cuya comparación se hace aquí para distintas pendientes de las cubiertas. Por el método regular, en la cara vuelta al viento, sólo se obtienen presiones, mientras que según el método especial, cuando la cubierta tiene pendientes de menos de 20°, se obtienen succiones. Las fuerzas de succión deben ser tenidas siempre en cuenta en ambos casos para las superficies del lado contrario al viento.

El efecto de las fuerzas del viento sobre cada elemento de la armazón de una cubierta de correas con una fila de postes es el siguiente: las cargas debidas a la presión del viento actúan perpendicularmente a las superficies inclinadas de la cubierta y hacen trabajar a flexión los cabios de la vertiente que da cara al viento.

Las fuerzas también oblicuas que transmitirían los cabios a los apoyos se contrarrestan en aquéllos mediante la disposición que se da a los mismos (entalladuras, garras), tanto sobre la correa durmiente o de alero como sobre la cumbrera. En ésta, las presiones se reparten entre los postes o pies derechos y parte entre los cabios de la vertiente contraria al viento, de manera que estos últimos, además de la flexión producida por el peso propio y la carga de nieve, se ven solicitados axialmente a compresión. (En los cabios del lado del viento para pendientes muy fuertes pueden también producirse esfuerzos de tracción.) De un modo especial, los cabios de armadura o pares de todas las armazones de cubiertas de correas no reforzados con jabalcones se hallan solicitados fuertemente por fuerzas axiales, como consecuencia del inmediato enlace producido por los cepos, por lo cual sus dimensiones se deben calcular siempre con más holgura que en los cabios ordinarios.

La fracción de la fuerza del viento dirigida sobre los apoyos, desde las correas durmientes, se descompone en dos partes: una horizontal que pasa a los pisos y paredes transversales y otra vertical que va a la pared exterior. Las fuerzas horizontales solicitan las correas de alero en sentido de su torsión o de su vuelco. Así pues, es preciso e indispensable, para la rigidez transversal de las cubiertas de correas, el buen enlace de las correas de alero con las vigas del techo o con el techo macizo que cubre la última planta.

La interpretación estática de la marcha efectiva de todas esas fuerzas requeriría cálculos muy laboriosos. Para la comprobación de la estabilidad se admite, por consiguiente, que la correa de cumbrera (o en su caso las correas intermedias) de las cubiertas sin refuerzos de jabalcones no absorbe ningún esfuerzo horizontal debido al viento ni lo transmite a los cabios de la parte contraria al viento, sino que actúa sólo como las fuerzas verticales que recaen sobre una cubierta sencilla de una sola vertiente y son transmitidas al montante, que hace las veces de apoyo pendular. Los cabios son considerados como vigas apoyadas en dos puntos, con un apoyo fijo y el otro desplazable horizontalmente. Se considera fijo el apoyo sobre la correa de alero. Esta hipótesis supone, en todo caso, un enlace firme de esta correa con el piso o techo.

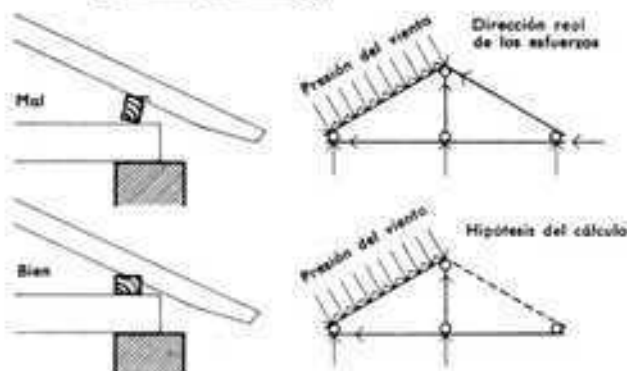
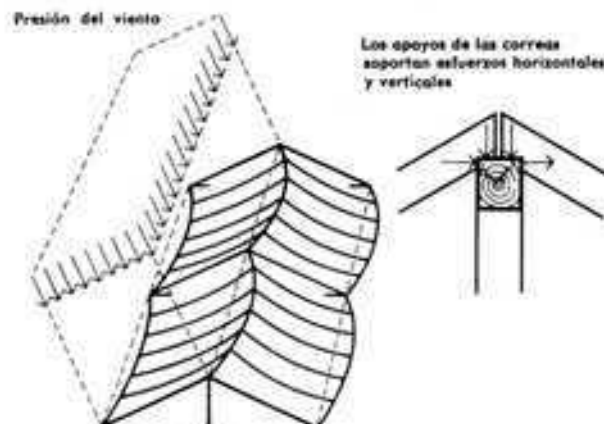
Las fuerzas de succión debidas al viento exigen medidas de precaución únicamente en las cubiertas de tipo ligero, a fin de que éstas no puedan ser arrancadas por el viento. En la mayor parte de los casos basta el peso propio del revestimiento de la cubierta para contrarrestar aquellas fuerzas.

La presión del viento sobre los frontones de los muros hastiales comprime éstos sobre el arriostramiento longitudinal de la armazón de la cubierta. Dicho arriostramiento está formado por las correas sencillamente apoyadas (que en el caso de cubierta con una sola fila de postes será únicamente la correa de cumbrera), los pies derechos o postes de apoyo de las armaduras y los jabalcones de afianzamiento longitudinal, y viene a representar una estructura porticada. La carga del viento, que actúa sobre las correas como una fuerza exterior, se transmite por los jabalcones y los pies derechos al piso que hay debajo de la cubierta. Las correas y los postes son solicitados por fuerzas normales y además por flexión. Para carga uniformemente repartida, las correas apoyadas sobre los postes, como consecuencia de los

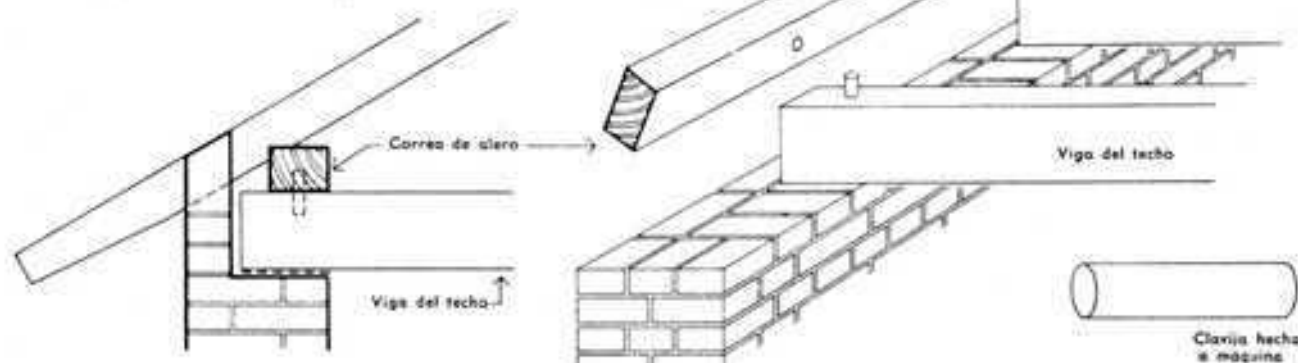
momentos que se producen en dichos puntos, son solicitadas por tracción en la mitad superior de su sección y además tienen que transmitir esfuerzos de compresión cuando el viento ejerce presión sobre uno de los frontones; así, pues, todas las juntas y empalmes de las correas deben poder resistir tracciones y compresiones.

Los postes extremos del último tramo de armaduras trabajarán a flexión por la acción de los jabalones que en ellos se apoyan y, por consiguiente, deben tener mayor escuadría que los demás. En muchos casos se sustituye el último jabalón por un apuntalamiento sobre el piso. Si el último tramo de armaduras que se halla junto al muro hastial, como frecuentemente ocurre, está destinado a habitación, resulta que estorban no sólo los jabalones y puntales sino incluso los postes o pies derechos extremos. En este caso se apoya el extremo de las correas sobre la pared del frontón. Como falta el último jabalón, la luz entre apoyos de las correas queda aumentada y esta parte de las mismas ha de ser más reforzada. Este refuerzo puede hacerse clavando por debajo una sopanda de tablón cuyo grueso y número de clavos necesarios deben determinarse siempre mediante el cálculo. Si no puede hacerse este refuerzo de las correas habrá que acortar proporcionalmente la longitud del último tramo.

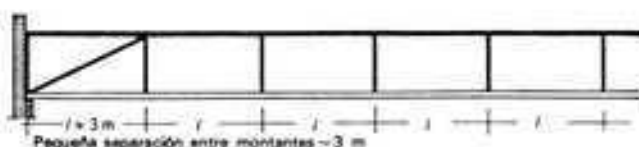
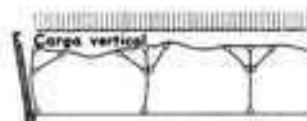
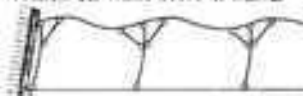
Presión del viento



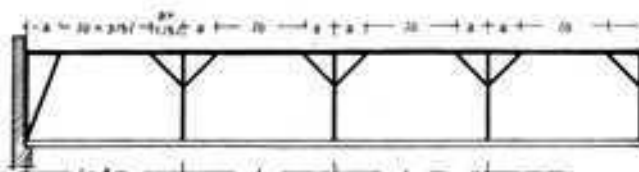
El cálculo de las dimensiones de los elementos resistentes de una armazón de cubierta se basa en las fuerzas interiores que se presentan y las fatigas admisibles para la madera y también en datos prácticos. Por esto, a continuación sólo podremos dar los límites aproximados dentro de los que oscilan, en la mayoría de los casos, las escuadrías de las piezas.



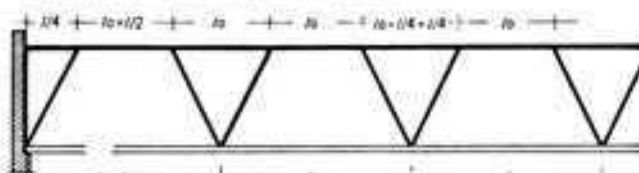
Presión del viento sobre el hastial



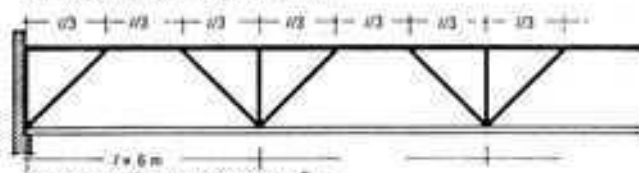
Pequeña separación entre montantes ~ 3 m



Separación normal, tradicional, entre montantes ~ 4 m



Gran separación entre montantes ~ 5 m

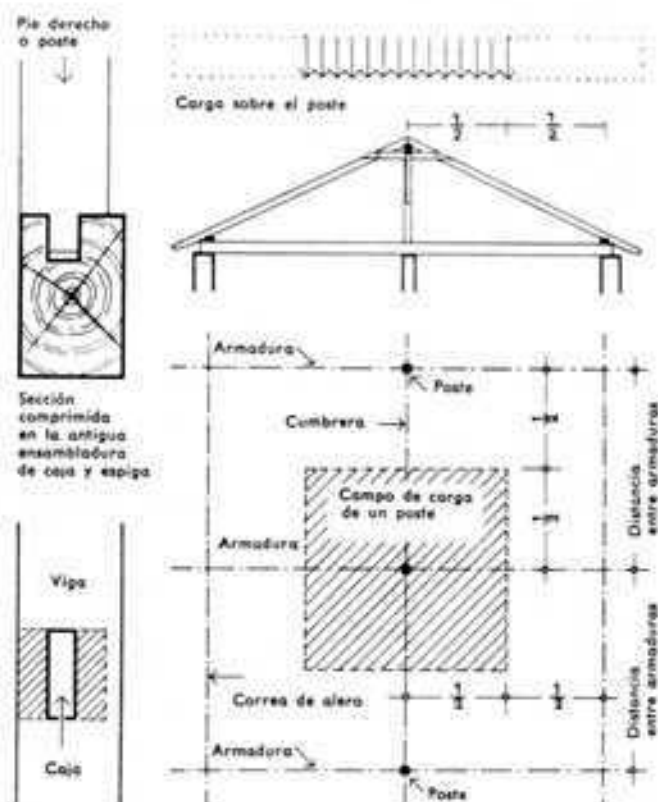
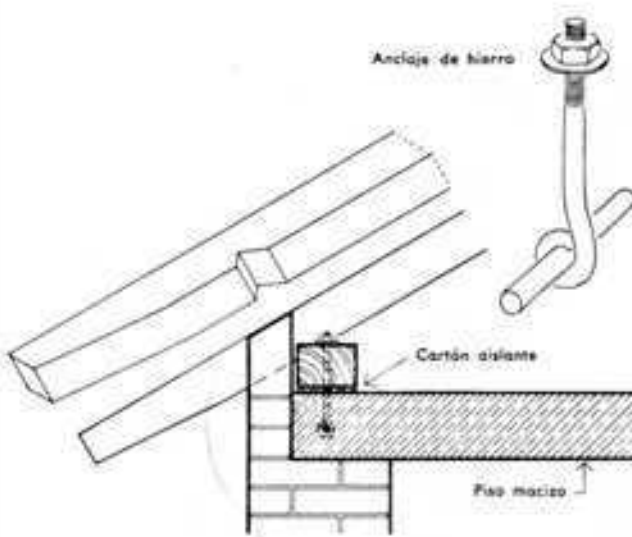


Gran separación entre montantes ~ 6 m

Correas durmientes o de alero

Las correas durmientes, que tienen entre apoyos pequeñas luces del orden de los 0,80 m en correspondencia con la separación de las vigas del desván, o bien se apoyan a todo lo largo sobre un techo macizo, deben tener, en atención a la sollicitación a ser volcadas, una sección más bien apaisada, que suele ser en la mayoría de los casos de 12 x 10 cm o de 14 x 12 cm. Para asegurarlas más contra el vuelco suelen enclavarse sobre las vigas del desván. Las clavijas se tornean mecánicamente. Sólo conviene emplear para tales clavijas madera dura. Cuando se trata de pisos de obra de fábrica se fijan las correas de alero a distancias no superiores a 2 m mediante grapas o anclajes de acero; para la

protección contra la humedad, además del pintado de la madera se disponen unas fajas de cartón asfáltico como aislante en los puntos o zonas de apoyo.



Postes o pies derechos

Un pie derecho de armadura ha de soportar, en el sistema de cubiertas de correas con una sola fila de postes, la correa cumbrera que recoge la carga de dicha cubierta correspondiente a la mitad de un tramo entre armaduras y se la transmite. A su vez, este pie derecho es comprimido por dicha carga en el sentido de sus fibras y sus dimensiones deben calcularse, teniendo en cuenta el pandeo, con arreglo a la norma DIN 1052. Empleando, como suele hacerse, madera de pino de calidad II la solicitación por compresión admisible puede llegar a 85 kg/cm^2 . Para el cálculo de las dimensiones del poste, en la mayoría de los casos, es menos influyente el efecto del pandeo que la compresión que actúa en las ensambladuras de sus extremos superior e inferior, perpendicularmente al sentido de la fibra de la madera y que no debe pasar de 20 kg/cm^2 .

El pie derecho se ensamblaba antiguamente a caja y espiga con la correa de cumbrera y en la mayor parte de los casos también con la viga del piso en que se apoya. La espiga reduce, sin embargo, la sección transversal de la madera que soporta la compresión y además exige mayor longitud de madera en esos pies derechos o postes. Las cajas abiertas para alojar las espigas debilitan la sección de las correas y de las vigas. Un enlace por medio de clavijas sería mejor. No obstante, es más adecuado aún alojar el pie del poste cortado según una sección recta en una caja de $1,5$ a 2 cm de profundidad, abierta en la cara superior de la viga, y asegurar su posición mediante pequeños cartabones o tablillas clavadas, tal como se procede actualmente en las construcciones de madera propias de la ingeniería; con ello trabaja eficazmente toda su sección. Sobre pisos macizos, después de pintarlo para protegerlo, el pie del madero se apoya según una sección recta sobre un trozo de cartón asfáltico y se sujeta con escuadras de hierro, empotradas en el hormigón. Las secciones de los postes basta que sean de $12 \times 12 \text{ cm}$ en todos los casos en que se trate de cubiertas pequeñas, aumentándolas progresivamente para las mayores hasta $16 \times 16 \text{ cm}$. Por razones constructivas es conveniente escoger escuadras iguales para los postes y para las cumbreras.

Cuando los postes están situados inmediatamente encima de una pared de carga, transmiten la que soportan por el camino más corto a los cimientos del edificio. Si vienen a caer en las cercanías de la pared de carga originan en las vigas del desván o en las correspondientes fajas del piso macizo en que se apoyan una solicitación a la flexión más o menos grande. Consecuencia de ello ha de ser un refuerzo de la viga correspondiente o una faja maciza fuertemente armada en el piso de apoyo. En ambos casos se traduce en un mayor gasto de materiales o de trabajo. El sistema de repartir la carga sobre varias vigas vecinas en los pisos de vigas de madera poniendo un madero durmiente o zapata atravesado sobre ellas, no es conveniente cuando cada viga está calculada únicamente para soportar sus propias cargas. Lo que se hace en tal caso es dar mayor escuadría a las vigas de las armaduras, cosa que deberá lograrse únicamente dándoles mayor anchura si, como suele ocurrir, la necesidad de que el techo aparezca plano por debajo impide darle mayor altura, que sería lo más favorable desde el punto de vista estático. Si la sección que para las vigas resulta del cálculo es demasiado ancha o no es corriente en el mercado, pueden colocarse dos o tres vigas, una al lado de otra, y repartir la carga sobre ellas mediante una zapata transversal, colocada encima. También puede emplearse una viga de acero.

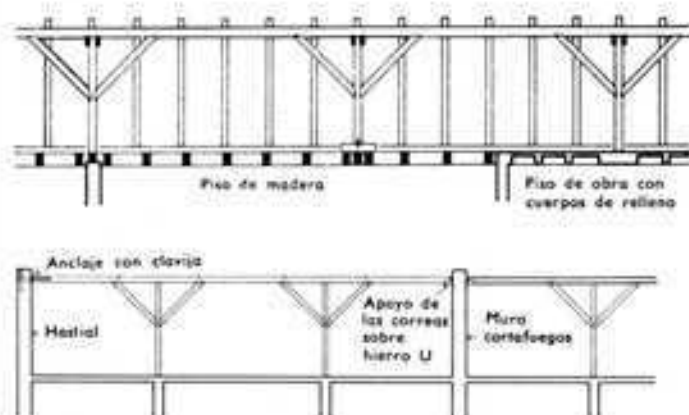
Correa de cumbrera

Tendida de armadura a armadura, en el caso de cubierta con un solo orden de apoyos o postes verticales, tiene que soportar la mitad de la carga del tramo de cubierta. Como se halla principalmente solicitada por flexión en un plano vertical se le da una sección más alta que ancha y que según los casos suele ser de $12 \times 16 \text{ cm}$ y puede llegar a $14 \times 22 \text{ cm}$.

Para conseguir un buen arriostramiento longitudinal se apoyan libremente las correas abarcando cuando menos 2 y mejor aún 3 tramos de armaduras en forma continua sin juntas ni empalmes, uniendo correas y pies derechos rigidamente por medio de jabalcones o tornapuntas. La correa se calcula así como viga armada y también según prescribe DIN 1052 § 15 (cuando es continua) como viga sobre dos apoyos de libre giro teniendo en cuenta que para la luz entre apoyos hay que tomar la distancia entre armaduras disminuida por el voladizo o saliente de los jabalcones. Los empalmes de las correas deben poder resistir a la compresión y a la tracción. Tales empalmes se suelen hacer a media madera con corte recto u oblicuo y se sitúan inmediatamente junto al apoyo vertical, con lo cual los montantes de armadura y las correas pueden enlazarse favorablemente y se facilita el montaje de la cubierta. Cuando el empalme a media madera es de corte recto parece conveniente añadir un fuerte cubrejuntas fijado con 4 pernos, que evitan que se rajen o astillen las piezas empalmadas. Si la media madera es de corte oblicuo no existe dicho peligro; en tal caso bastan 3 pernos.

Jabalcones

Los jabalcones arriostran la armazón de la cubierta en sentido longitudinal y en su plano acortan tanto las luces entre apoyos de la correa de cumbrera como la longitud de pandeo de los postes o pies derechos. Para tales jabalcones suele bastar con una sección de 10×10 o de 10×12 cm. Su enlace con las correas y los postes se conseguía en los antiguos tipos de carpintería por medio de espigas y clavijas de madera. Esta ensambladura ocasiona una considerable debilitación de la sección del poste, al que ya no puede darse la reducida pero aún suficiente sección de 12×12 cm. Unas pequeñas cajas o barbillas rectas de 2.5 cm de profundidad en el poste y en la correa son suficientes cuando las uniones se sujetan con tornillos de rosca de madera. Si se produce un desplazamiento longitudinal de las correas, uno de los jabalcones es solicitado por compresión y el opuesto por



tracción. En tanto que las antiguas clavijas de madera que aseguraban las espigas de los jabalcones carecían de resistencia importante contra el esfuerzo cortante, por lo cual la ensambladura no era capaz de resistir esfuerzos de tracción, la disposición de pernos y tornillos proporciona cuando menos un enlace mucho menos precario a la tracción. Si como en las construcciones clavadas de ingeniería se forma el jabalcón con dos tablas que se clavan a uno y otro lado del poste y de la correa con el número de clavos necesario y se da rigidez a estas dos tablas con otra tabla que sirve de alma (jabalcón en doble T), se obtiene una ensambladura resistente tanto a la tracción como a la compresión y que tiene además la ventaja de no debilitar nada las secciones de los postes y las correas.

Cepos

Para los cepos de corta longitud colocados debajo de la correa de cumbrera bastan unas piezas de tablón de 4×12 cm. Para su enlace con los cables de armadura y con la cabeza del poste o pie derecho se emplean pernos de $1/2$ " de grueso como mínimo. Antes de que fueran de uso corriente esos pernos, se usaban únicamente las clavijas de madera como medios de seguridad de los enlaces, lo mismo que se hacía para asegurar las ensambladuras de caja y espiga. Por su escasa resistencia al esfuerzo cortante se completaron por unas ensambladuras a media madera y en forma de cola de milano entre los cepos y los cables, que aliviaban el esfuerzo de tracción sobre las clavijas. Para compensar esa debilitación de los cables-pares o cables de armadura, se les daba una sección más fuerte. Hoy día se emplean siempre pernos suficientemente resistentes al esfuerzo cortante, que hacen innecesaria la ensambladura a media madera y evitan la debilitación de los cables de armadura.

Cabios

Quando se trata de tejados sencillos o dobles con un peso propio de 70 a 100 kg/m^2 , a los que hay que agregar todavía las cargas de la nieve y del viento, se empleaban al principio secciones de 10×12 cm para los cabios intermedios. Solamente para grandes

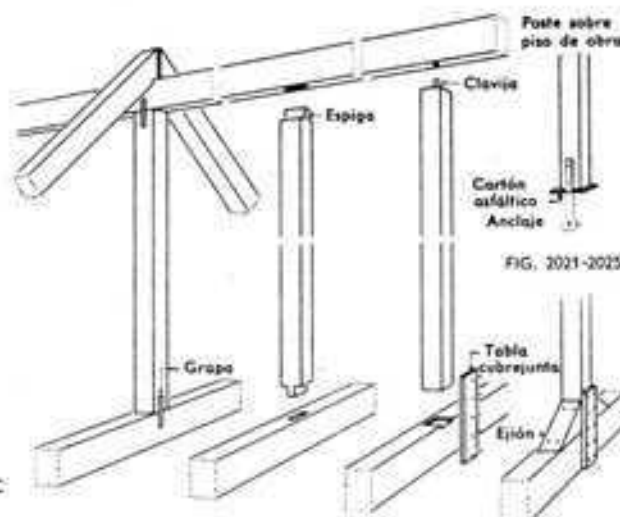
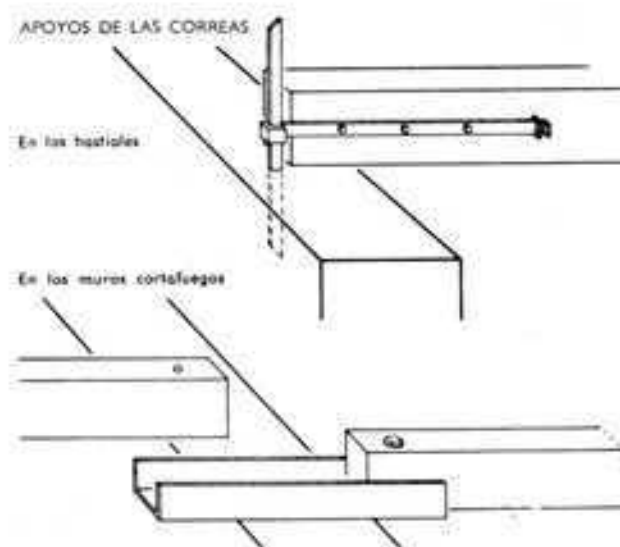
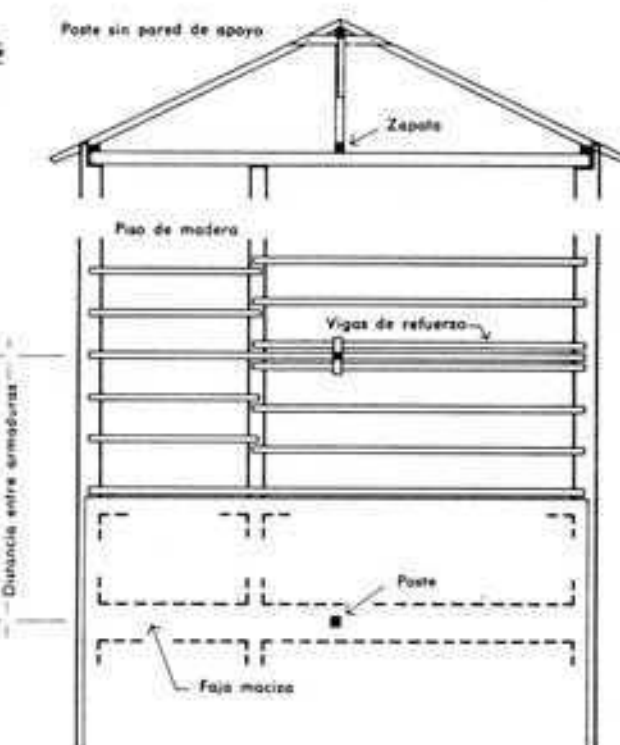
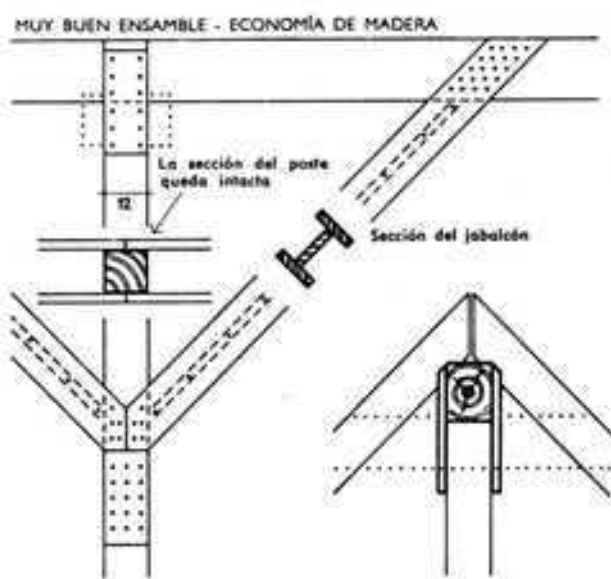
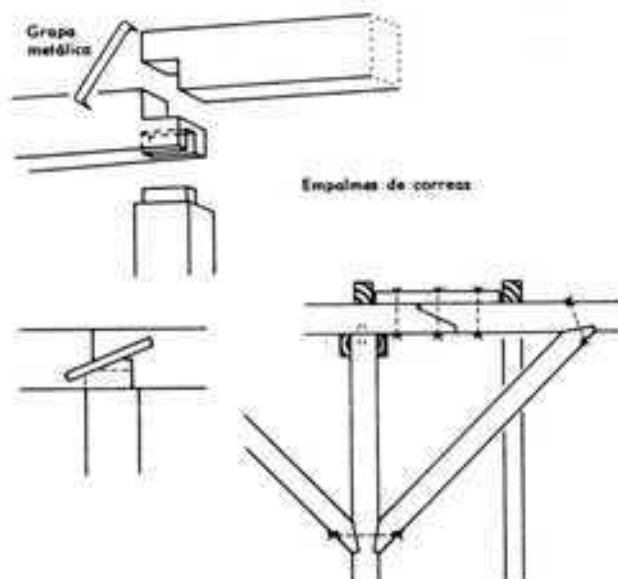
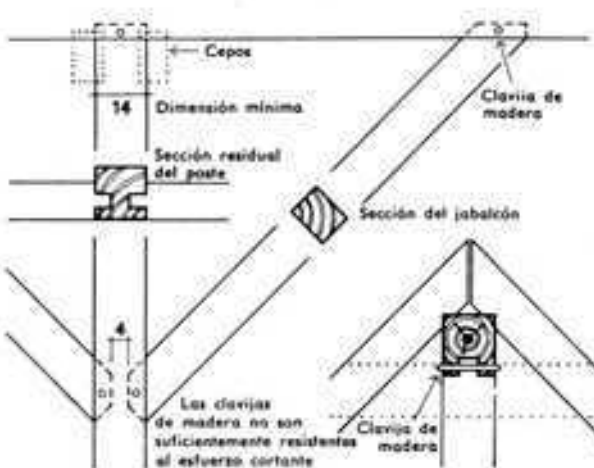


FIG. 2021-2025

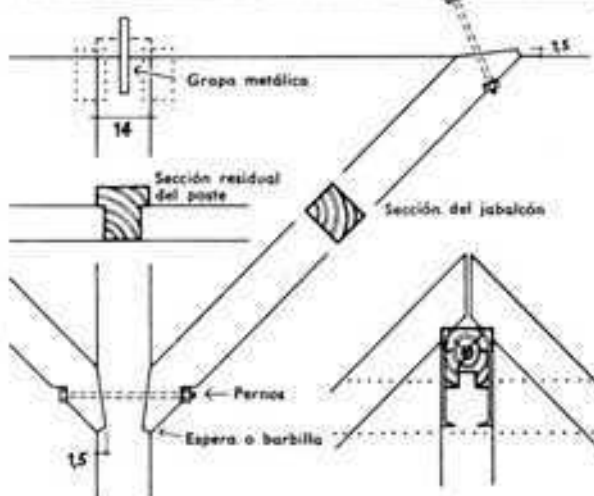




ANTIGUO ENSAMBLE DE LOS JABALONES



BUEN ENSAMBLE - NO SE ECONOMIZA MADERA



lucos o grandes armaduras se recurría a 10x14 cm de escuadría. Así, pues, en ambas secciones la anchura era la misma. Se escogió esta dimensión no sólo para poder clavar bien sobre los cabios, los listones o la tabazón de la cubierta, sino también para que, en el caso de emplear limitadas longitudes de listones o tablas, se pudiesen hacer bien sus empalmes y juntas sobre el lomo de los cabios. Esto es conveniente porque no es raro que

los cabios presenten algunas aristas toscas o con restos del costero o del rollizo de origen, de manera que no siempre puede disponerse de la anchura completa como superficie de apoyo. Si se trata de cabios bien cortados y de aristas vivas, una anchura de 6 cm es perfectamente suficiente, si los listones se empalman según corte oblicuo. Se da por supuesto, desde luego, que esa pequeña anchura es también suficiente desde el punto de vista estático. En la práctica se tropieza con el inconveniente de que maderos tan delgados fácilmente se curvan y deforman, por lo que no debería nunca bajarse de la anchura de 8 cm. Cabios de más de 8 cm solamente en casos excepcionales son empleados. El cálculo de la altura de la sección de los cabios se hace en función del peso del tejado, de las cargas de la nieve y del viento, de su luz horizontal entre apoyos y de la distancia entre cabios. La pendiente de la cubierta influye, pues con ella varían también las cargas; para igual longitud de los cabios, los que están menos inclinados tienen mayor luz horizontal entre apoyos que los colocados con mayor pendiente y, por consiguiente, requieren también una sección de mayor altura. Del mismo modo, los listones de tejado, a igualdad de sección pueden soportar menor carga en las cubiertas de poca pendiente que en las de mucha. Con las anchuras o profundidades de edificio usuales en las casas de vivienda, que son de 8 a 11 m, y con inclinaciones de tejados hasta 40° la sección de los cabios se halla siempre comprendida entre 8x12 cm y 8x16 cm. La altura de la sección viene a ser de 1/30 de la luz de apoyo.

En sus puntos de apoyo sobre las correas, los cabios descansan mediante unas entalladuras y se aseguran con fuertes clavos. La profundidad de las entalladuras practicadas en los cabios debe ser, como máximo, la cuarta parte de la altura de su sección. La medida de estas entalladuras debe dejarse a mano del carpintero, a fin de que dejándole este margen pueda compensar las pequeñas irregularidades en las escuadrías de las piezas y lograr así una superficie de cubierta bien plana.

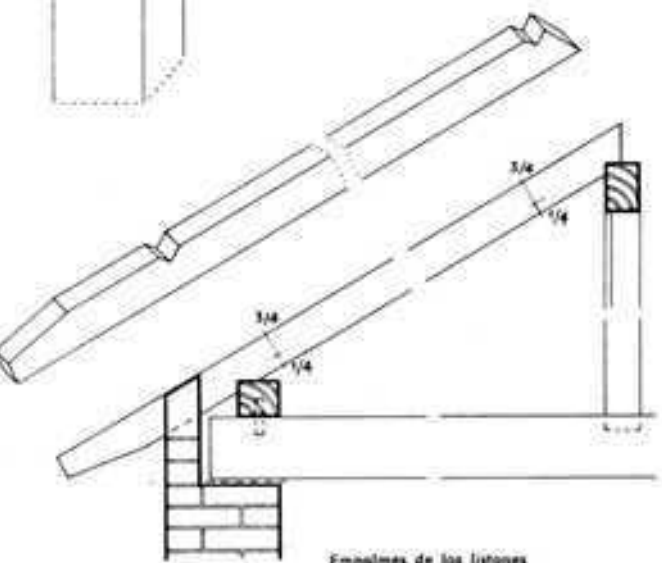
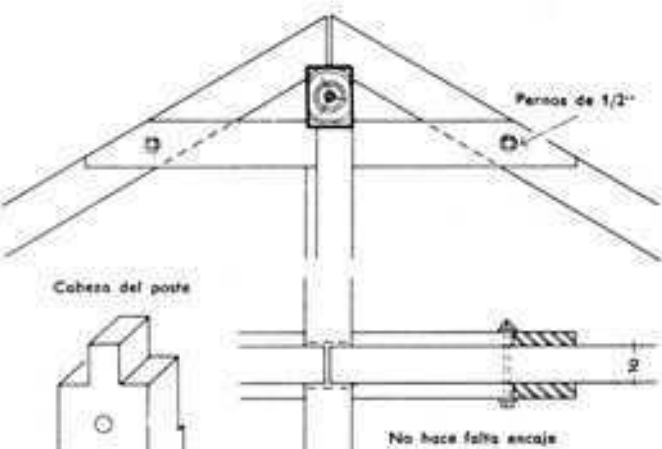
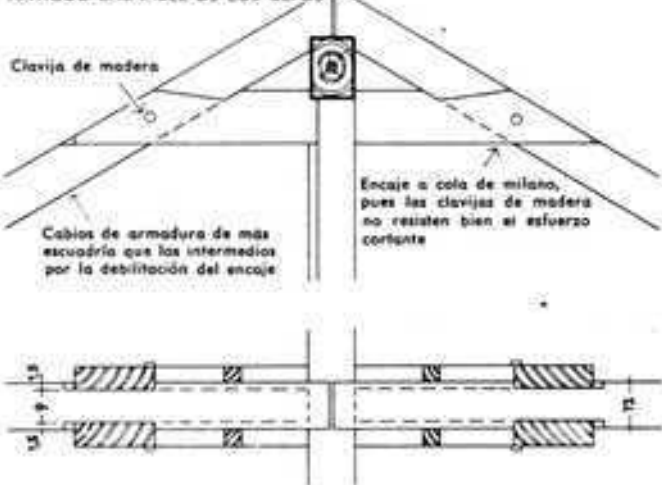
Cubiertas de correas con postes

Manteniendo la longitud de las correas dentro de los límites económicos, conviene colocar unas barras verticales, que llamaremos postes o pies derechos, con los cuales la carga de la cubierta se transmita a las paredes, y en casos excepcionales a los forjados que están debajo. Si la longitud de las correas es muy grande, en lugar de postes pueden ponerse apoyos en V. Véase página 407.

Cubierta de correas con una fila de postes

Cuando la longitud de los cabios $\geq 5,00$ m, es suficiente una correa cumbre como apoyo superior de aquéllos. Si en la sección de la cubierta no hay más que un solo poste o pie derecho se dice que su armazón "tiene una fila de postes"

ANTIGUO ENSAMBLE DE LOS CEPOS



Estos van unidos tanto con la cumbrera como con las vigas del desván. Si se apoya sobre pisos macizos, el apoyo es a tope y se asegura con escuadras de chapa.

Con objeto de dar a la estructura de la cubierta una buena resistencia transversal contra el viento, en todas las cubiertas cuya pendiente sea de 30° o más se disponen en el plano de cada poste dos cables que se unen, por debajo de la cumbrera, con un cepo formado por dos tablas que también encajan el poste. Se obtiene así una "armadura" que forma con las correspondientes vigas del desván, con el poste y con el par de cables (cables-pares de la armadura) dos triángulos indeformables. La libertad que se tiene para repartir los cables entre esas armaduras resulta muy conveniente para evitar, en muchos casos, complicaciones constructivas. Se puede, p. ej., distribuir las vigas del desván teniendo en cuenta los tabiques y paredes transversales del último piso y también puede hacerse que las chimeneas pasen entre las vigas y cables sin necesidad de embrochados. Sin embargo, no son de ejecución difícil los embrochados en las vigas del desván, ya que de estas vigas, sólo tienen que ser continuas, como tirantes de armadura, las que sirven de apoyo a un poste. Para poder establecer las escaleras de acceso al desván, por ej., son necesarios, en muchas ocasiones, tales embrochados de grandes dimensiones.

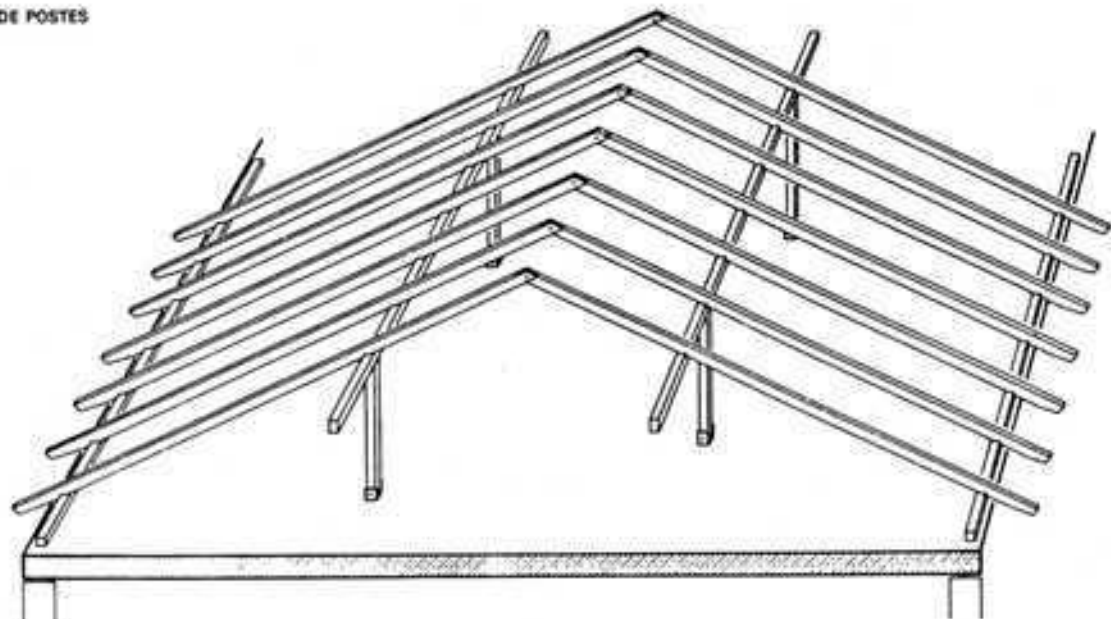
Las cubiertas con una sola fila de postes sólo resultan económicas para cubiertas de poca inclinación y para edificios de poca profundidad, de ~ 7.0 a 8.0 m, y por ello se emplean muy pocas veces.

Cubierta de correas con dos filas de postes

Cuando aumenta la luz entre apoyos de los cables bastante por encima de los 4.50 m, las secciones o escuadrías de estas piezas van resultando antieconómicas hasta el punto de que es mejor sustituir la correa cumbrera por dos correas intermedias. Se obtiene entonces una armazón con dos filas de postes. La parte alta de los cables trabaja en voladizo. Esta parte volada suele limitarse a $< 1/4$ de la longitud total del cable, pues de lo contrario el caballete de la cubierta, al carecer de correa en que apoyarse, fácilmente cedería, defecto del que suele adolecer ese tipo de construcción. Si se ensamblan los cables, por sus extremos, a media madera, deja de haber libertad para distribuir los cables de una vertiente independientemente de los de la otra. Por esta razón resulta conveniente colocar una pieza de cumbrera apoyada en unos pequeños cepos que se fijan en los cables de armadura. Esta cumbrera tiene por misión evitar que el caballete de la cubierta ceda de manera desigual en sus diversos puntos y cooperar al arriostramiento longitudinal de la cubierta. Como los trozos de cables volados se sostienen por sí mismos no cargan peso sobre la cumbrera, que, por lo tanto, no necesita apoyos. Gracias a esta disposición, los cables de ambas vertientes de la cubierta recobran su independencia de distribución. Para mejorar la rigidez transversal, sobre todo en cubiertas de inclinación mayor de 30°, se disponen armaduras, a distancias de unos 4.00 m. En cada armadura se colocan unos puentes, inmediatamente debajo de las correas intermedias, que mediante pernos encajan las cabezas de los postes y los cables. Estos puentes deben estar a altura suficiente para que un hombre pueda pasar por debajo sin agacharse. La escuadría de los dos tablerones que forman el puente oscila entre 4 x 14 y 6 x 16 cm. Si sobre los puentes hay que colocar un envigado paralelamente a las correas, aquéllos han de ser más reforzados y encajar cuando menos 2 cm en los postes.

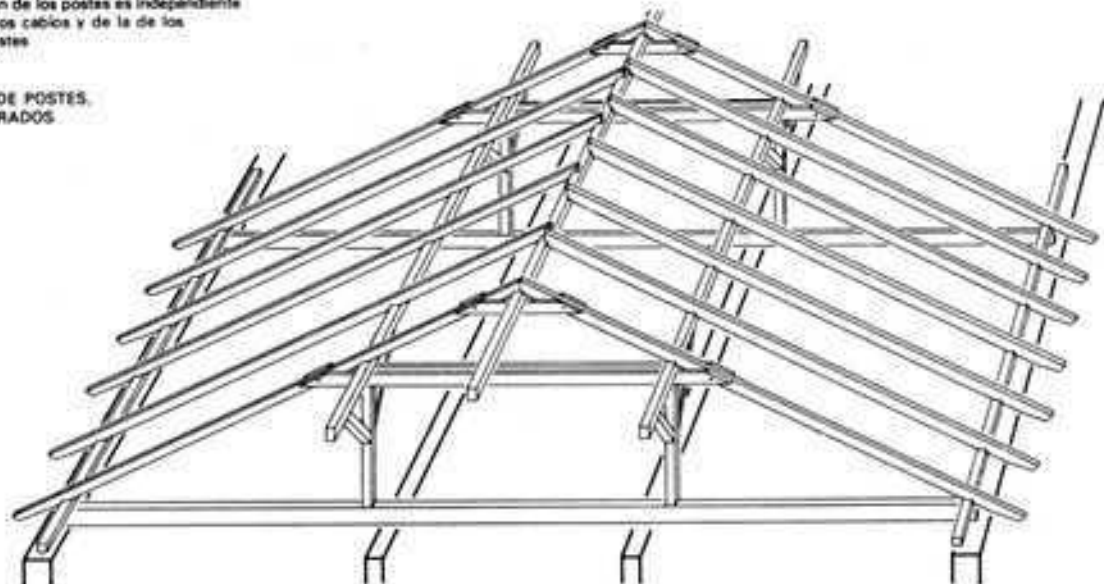
En el caso de existir un envigado situado a la misma altura que las correas, y que se arregle el desván para hacerlo habitable, se tiene la ventaja de que en la línea de paso de los techos inclinados de los costados al techo horizontal no sobresalen las correas en forma de feos cajones, como ocurre en el caso en que el envigado se haga transversal, pues entonces se apoya sobre las correas y éstas quedan visibles o salientes. Además, el envigado longitudinal contribuye al arriostramiento de los frontones de los muros hastiales.

Si las paredes intermedias de carga no coinciden exactamente debajo de los postes, o se da el caso de existir una sola pared de carga, la forma como actúan las cargas de los postes sobre el piso es muy desfavorable. Si existen dos paredes de carga simétricamente colocadas en la sección transversal, pero que no



Cubierta de correas de poca inclinación. La posición de los postes es independiente de la de los cables y de la de los demás postes.

2 FILAS DE POSTES, ARRIOSTRADOS



coinciden con la vertical de las correas, es posible transmitirles las cargas de la cubierta mediante puntales oblicuos que sustituyen a los pies derechos verticales. Cuando sólo existe una pared de carga, centrada, también puede procederse en forma parecida, pero la habitabilidad del desván queda bastante perjudicada por tal disposición.

Cubierta de correas con tres filas de postes

Cuando, por la mayor profundidad o anchura del edificio, resulta ya insuficiente el sistema de dos órdenes de apoyos verticales puede aplicarse la disposición de tres órdenes. Sólo suele ser aplicable a aquellas construcciones en que la transmisión de las cargas de los pies derechos a los cimientos pueda hacerse por paredes transversales de carga. En edificios con paredes longitudinales de carga, por lo menos dos de los pies derechos, cuando no los tres, vienen a caer dentro de la luz de los tramos del piso, por lo que éste ha de calcularse de forma que pueda soportar adicionalmente las cargas procedentes de la cubierta. Los postes, además, estorban para la utilización del desván. Por esto suele preferirse, en tales casos, la cubierta de armaduras con puente.

Cubierta apuntalada de correas

La cubierta de correas de 40° o más de inclinación se generalizó principalmente en el siglo XIX, al aumentar la costumbre de

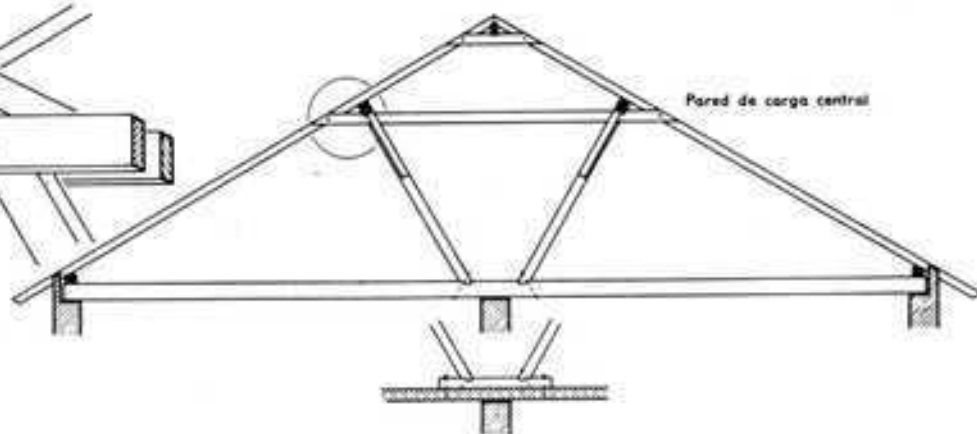
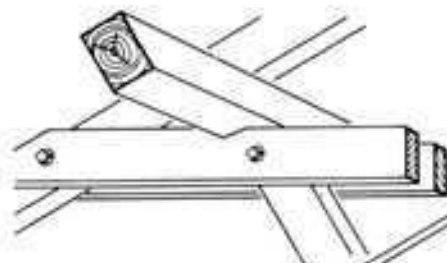
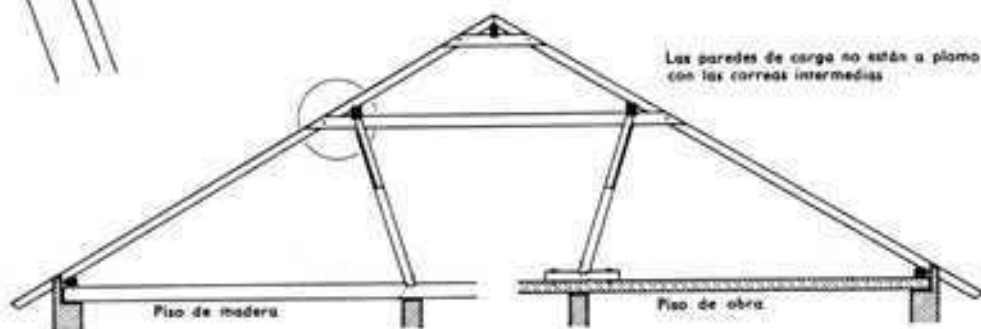
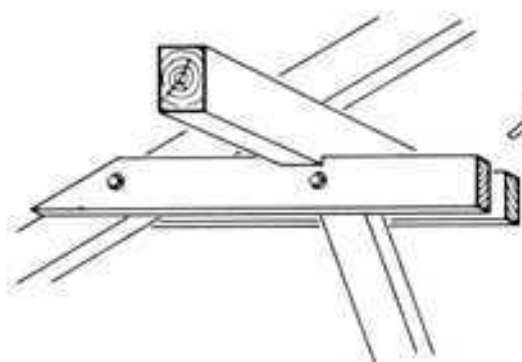
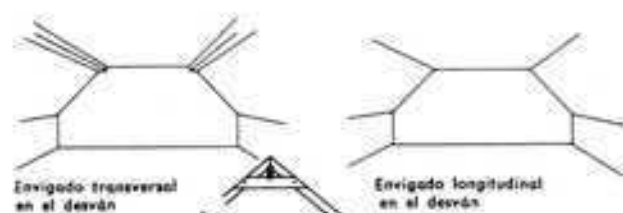
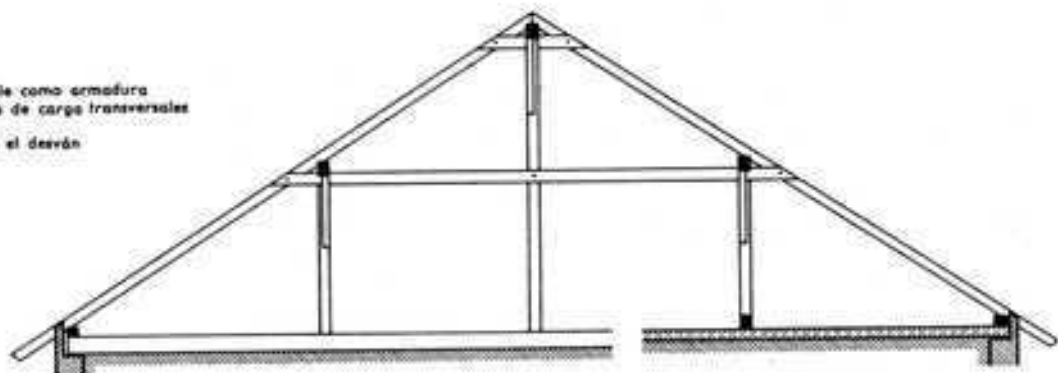
habilitar los desvanes para vivienda. No producía tantas dificultades en la disposición de las correas a causa de la amplia independencia entre las posiciones de los postes y de los puentes, y entre las de los postes entre sí, con los brochales frecuentemente necesarios, y era más adaptable que las cubiertas de cables y de puentes. Al disminuir o desaparecer la costumbre de utilizar los desvanes se hicieron también menos frecuentes las cubiertas de correas, y aun de toda clase, de gran inclinación.

Las cubiertas de correas de más de 40° de inclinación, con armaduras con tornapuntas, o con puentes pertenecen prácticamente al pasado. Las tornapuntas servían muchas veces tanto para mayor facilidad y seguridad en la construcción de la cubierta como para mejorar la rigidez transversal de la misma. Como orientación presentaremos a continuación algunos ejemplos históricos.

Cubierta apuntalada de correas con una fila de postes

Si el poste no cae precisamente sobre una pared de carga, pueden descargarse las vigas del desván, haciendo que el pie del poste lleve sólo una espiga flotante, o movable, que sirve únicamente para asegurar la posición del poste, pero sin transmitir presión alguna a la viga del desván. La espiga movable debe quedar con un juego, por lo menos, de 2 cm por encima de la viga y del fondo de la caja cubierta en ella. Las tornapuntas, en este

Generalmente sólo es posible como armadura
de frontón o sobre paredes de carga transversales
El poste central estorba en el desván

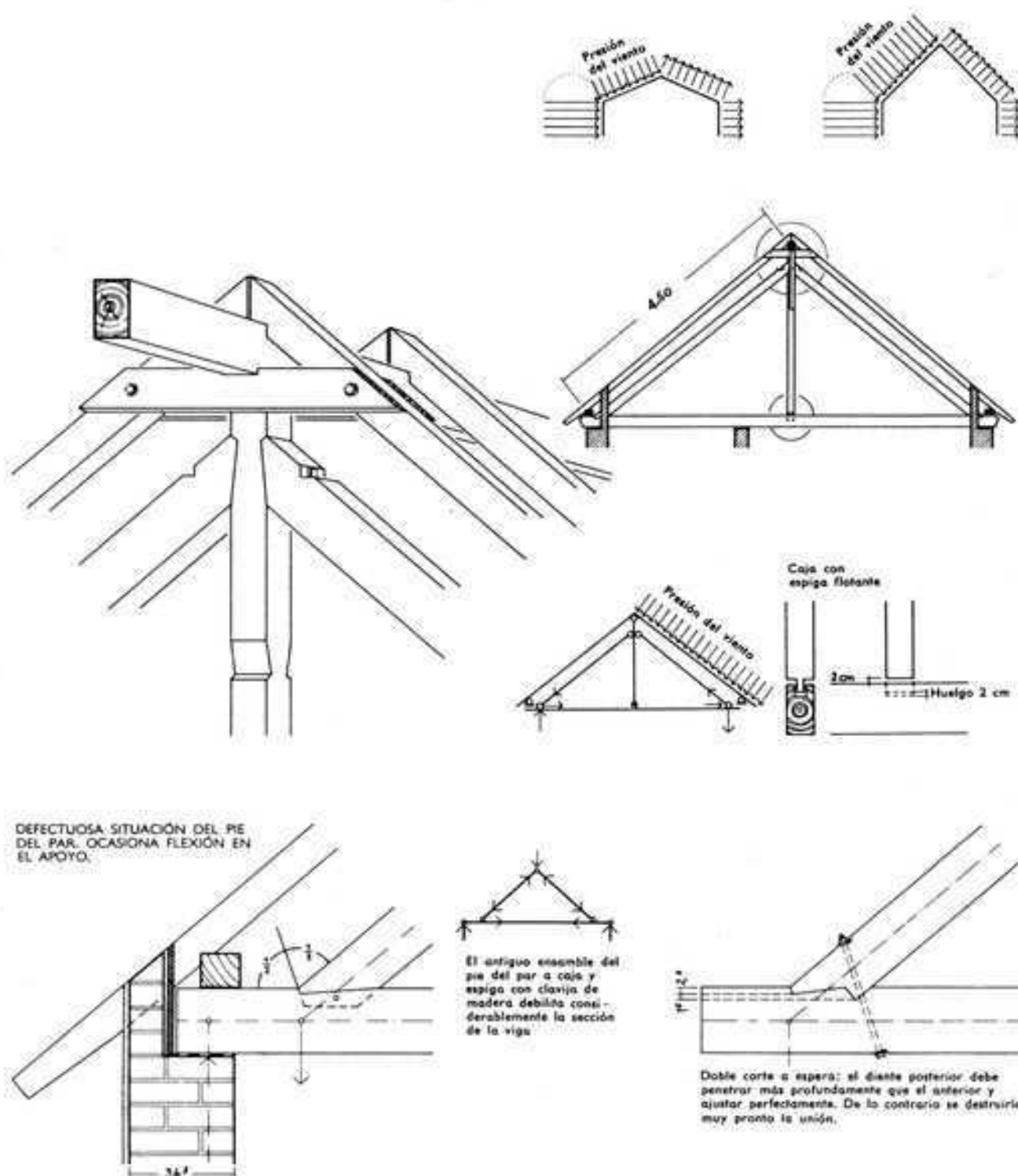


caso, además de soportar los esfuerzos horizontales de la correa de cumbrera tienen que encargarse, como verdaderos pares, de la transmisión de las cargas verticales.

Dichas tornapuntas o pares transmiten entonces a los muros exteriores las componentes verticales de sus fuerzas axiales, y las componentes horizontales a las vigas del desván o al techo macizo.

El apoyo de la cubierta debe hacerse de manera que el punto de intersección de los ejes de las tornapuntas y de las vigas correspondientes del desván caiga encima de las paredes, con objeto de evitar tensiones adicionales por flexión. Con las vigas del desván se enlazan las tornapuntas mediante una ensambladura a

espera asegurando la unión con pernos y teniendo la precaución de que en el extremo de la viga quede aún suficiente longitud de madera para que no pueda producirse su desgarramiento longitudinal. Cuanto menor es la pendiente de las tornapuntas tanto más fuerte es la componente horizontal de su compresión axial y, por consiguiente, tanto mayor ha de ser la cantidad de madera de seguridad. Por esta razón no deben emplearse en el caso de ángulos inferiores a 30° . La longitud necesaria de madera debe calcularse bien en cada caso. Se suele hacer que sea de ocho veces la profundidad del corte a espera, pero en ningún caso debe bajar de 20 a 25 cm, porque la superficie que resiste al desgarramiento puede quedar debilitada considerablemente si

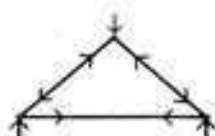


se produce alguna grieta. Si no se dispone de la medida necesaria puede remediarse el caso haciendo en la ensambladura una segunda barbilla o espera posterior. La profundidad del corte a espera dependerá de la presión que se tenga que ejercer sobre su superficie y para una inclinación de 50° debe ser a lo más de $1/4$ de la altura de la viga, y si la pendiente sobrepasa los 60° no pasará de $1/6$ de dicha altura. Cuando el desván lleva techo macizo se ensamblarán los pares a espera sobre zapatas o dur-

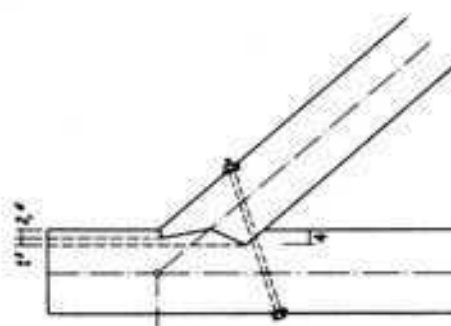
mientes, que se fijarán en el piso mediante anclajes de hierro empotrados en el hormigón.

Las tornapuntas también se ensamblan a espera con los postes, asegurándolas luego en su posición con un perno. Para poder transmitir la presión de los pares o tornapuntas a los postes en toda su superficie se da al par y al poste igual anchura de sección. La altura de la sección de las tornapuntas oscila entre 16 y 22 cm.

SITUACIÓN CORRECTA DEL PIE DEL PAR

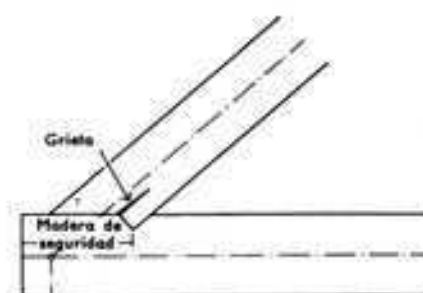


Ensamble a espera delantera sin espigo. El perno mantiene apretada la unión pero no contribuye a la transmisión de esfuerzos. La formación de la cornisa resulta de una construcción cuidadosa.

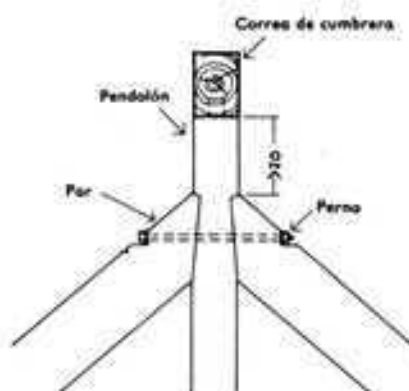
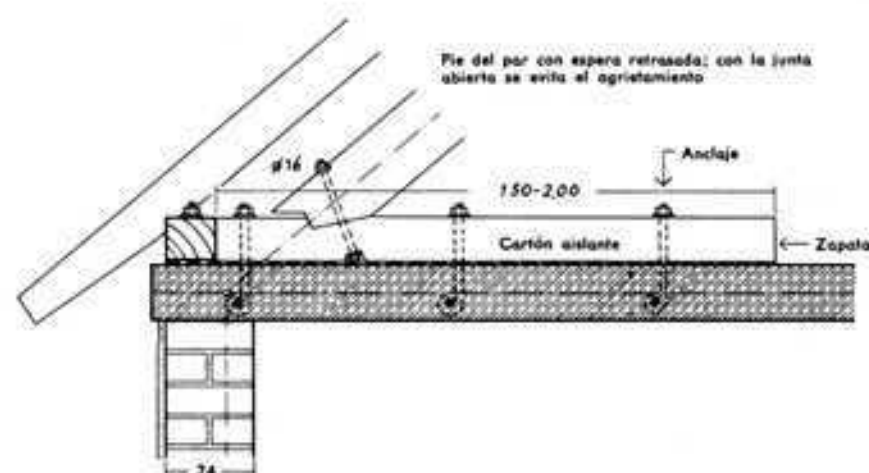


Otro tipo de espera doble, más fácil de ajustar; mejor distribución de los esfuerzos

ENSAMBLE DEL PIE DEL PAR CON APOYO ESTRECHO



Antigua barbilla de talón; suele formarse una grieta en el vértice



ENSAMBLE DE LAS CABEZAS DE LOS PARES

Cubierta apuntalada de correas con puentes y dos filas de postes

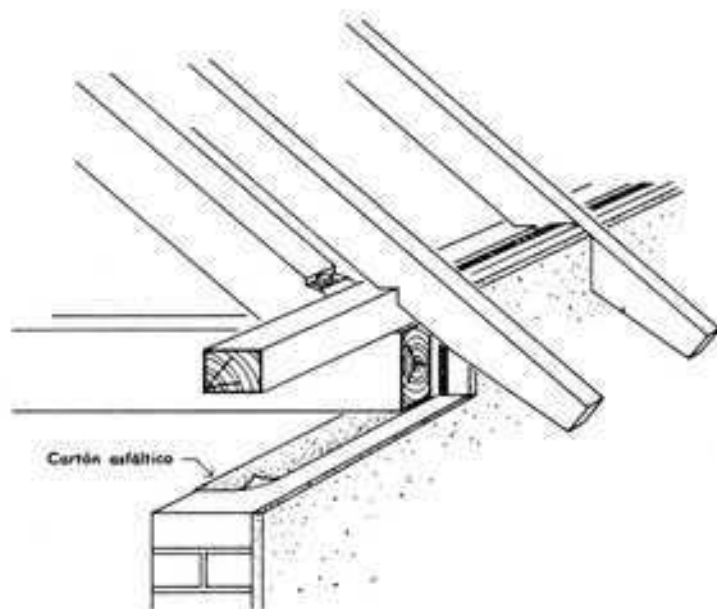
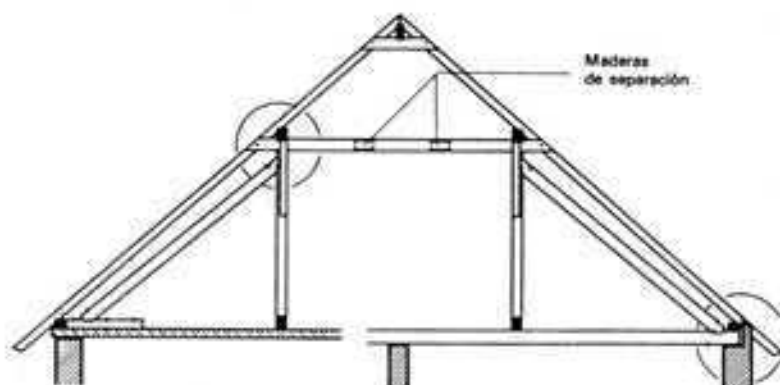
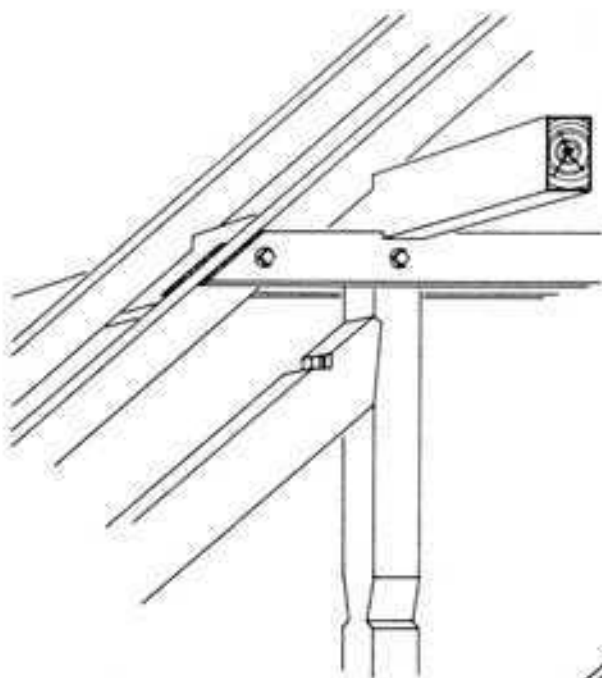
Al contrario que en el sistema que acabamos de explicar, en éste, con dos filas de postes, tanto las tornapuntas como los postes contribuyen a la transmisión de las fuerzas horizontales del viento. Para este caso de carga, la estructura portante, desde el punto de vista estático es simplemente indeterminada (es decir, tiene un solo grado de indeterminación). Las cargas verticales de las correas intermedias son transmitidas por los postes, lo mismo que anteriormente.

Este sistema de cubierta antiguamente usado ya no se emplea hoy. Las tornapuntas se consideran innecesarias. Pero eran útiles, por lo menos, al carpintero al efectuar el montaje.

Cubierta apuntalada de correas con dos filas de postes, puentes y pendolones

La cubierta con tres filas de postes tiene el inconveniente de inutilizar prácticamente el desván como vivienda, que con el apuntalamiento quedaría aún más inservible. Por ello, en esta cubierta apuntalada se substituye el poste central por un pendolón que enlaza la correa de cumbrera con el puente-cepo.

En el caso de dos paredes de carga longitudinales, lo más apropiado es apuntalar el pendolón con tornapuntas desde la cabeza de aquél a dichas paredes, pero si este sistema dificulta la utilización del desván, puede realizarse el apuntalamiento con pares, obteniéndose así un local espacioso en el centro del desván. Esta armazón de cubierta forma en su parte superior una estruc-

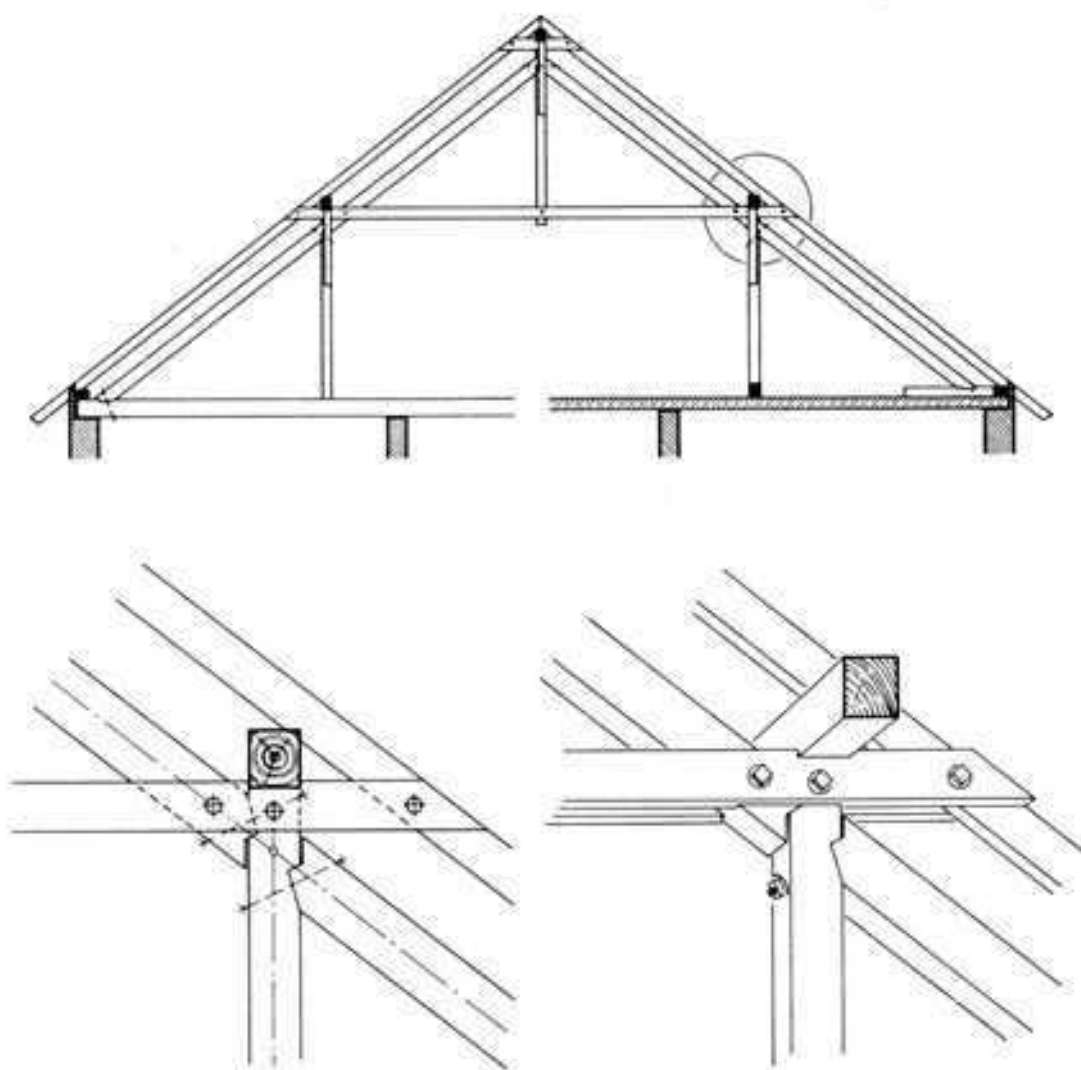


tura resistente con tres articulaciones (una verdadera cercha o armadura) que transmite sus fuerzas verticales y horizontales a los apoyos por medio de postes, tornapuntas o pares y tirantes que forman triángulos. El puente-cepo actúa como tirante de la estructura superior de tres articulaciones y lo mejor es unirlos con llaves o clavijas con los pares y con los cables. Al transmitir los esfuerzos horizontales del viento a los triángulos inferiores (formados por el par, el poste y la viga o el suelo del desván) tienen los puentes que soportar compresiones, por lo que deben calcularse contra el pandeo; para esto, además de cerrar a distancias

dición de que la pendiente de las vertientes supere los 30°. La conducción de las cargas únicamente por los pares de armadura supone, sin embargo, un mayor consumo de madera. Además, estas cubiertas son más difíciles de montar que las apoyadas en postes.

En la época de los forjados de hormigón armado, con contrafuertes de fácil ejecución, en lugar de este tipo de cubiertas se emplean las cubiertas de cables y puentes.

Los ejemplos que se exponen a continuación muestran la alta calidad de los trabajos de los antiguos carpinteros de armar.



convenientes, por medio de tacos clavados, el hueco entre los dos tabloncillos del cepo, deben enlazarse los distintos puentes con viguetas, que pueden utilizarse, además, para formar un segundo piso de desván, construcción facilitada por los pendolones al dividir en dos tramos la longitud de los puentes. Con objeto de no ejercer sobre las cabezas de los postes solicitaciones adicionales por flexión se disponen los tornapuntas superiores e inferiores según un mismo eje y se forman los nudos lo más cerca posible de la correa intermedia correspondiente.

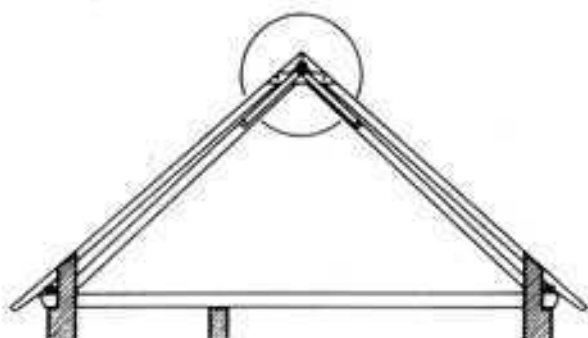
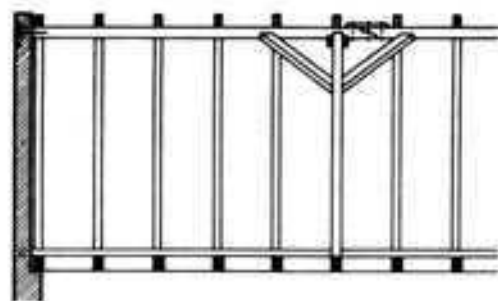
Cubierta parhilara

Si las paredes de carga intermedias se hallan situadas en la sección del edificio de modo tan desfavorable que no es posible conseguir una conducción fácil de las cargas por medio de pies derechos, o bien éstos estorban para la utilización del desván, puede recurrirse a las cubiertas con armaduras o cerchas, a con-

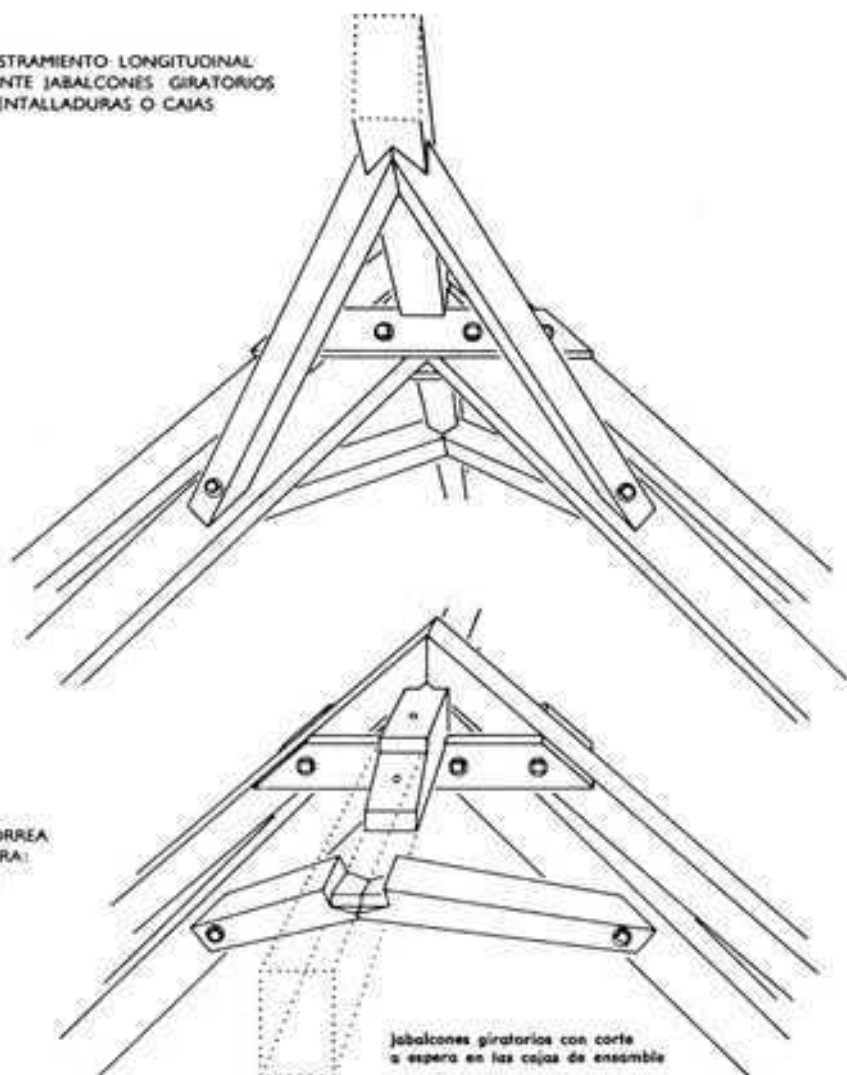
Cubierta parhilara simple

En la cubierta parhilara simple la correa de cumbrera descansa en unas cajas o entalladuras practicadas en las cabezas de los pares. Las cargas que recaen sobre la correa de cumbrera son transmitidas por los pares a la viga o tirante correspondiente mediante ensambladuras a espera, pasando luego a las paredes exteriores. En esta forma se obtiene una estructura resistente con tres articulaciones. La referida viga, además de desempeñar su cometido como viga del desván, hace las veces de tirante. Contra lo que ocurre con las armaduras apoyadas en postes y apuntaladas, aquí los pares han de transmitir esfuerzos tanto horizontales como verticales. En el cálculo estático se considera la correa de cumbrera como fija y las correas de base o de alero como apoyos móviles de los cables. El mejor arriostramiento longitudinal se consigue por la triangulación de las vertientes de la cubierta mediante diagonales. El arriostramiento con jabalco-

nes giratorios, que antiguamente se usaban con frecuencia, equivalía además a una seguridad de las piezas expuestas a pandeo, pero únicamente cuando estaban bien ensambladas a espera y con pernos. Su ejecución casi nunca era suficientemente precisa a causa de las dificultades de las ensambladuras.



ARRIOSTRAMIENTO LONGITUDINAL
MEDIANTE JABALCONES GIRATORIOS
CON ENTALLADURAS O CAJAS



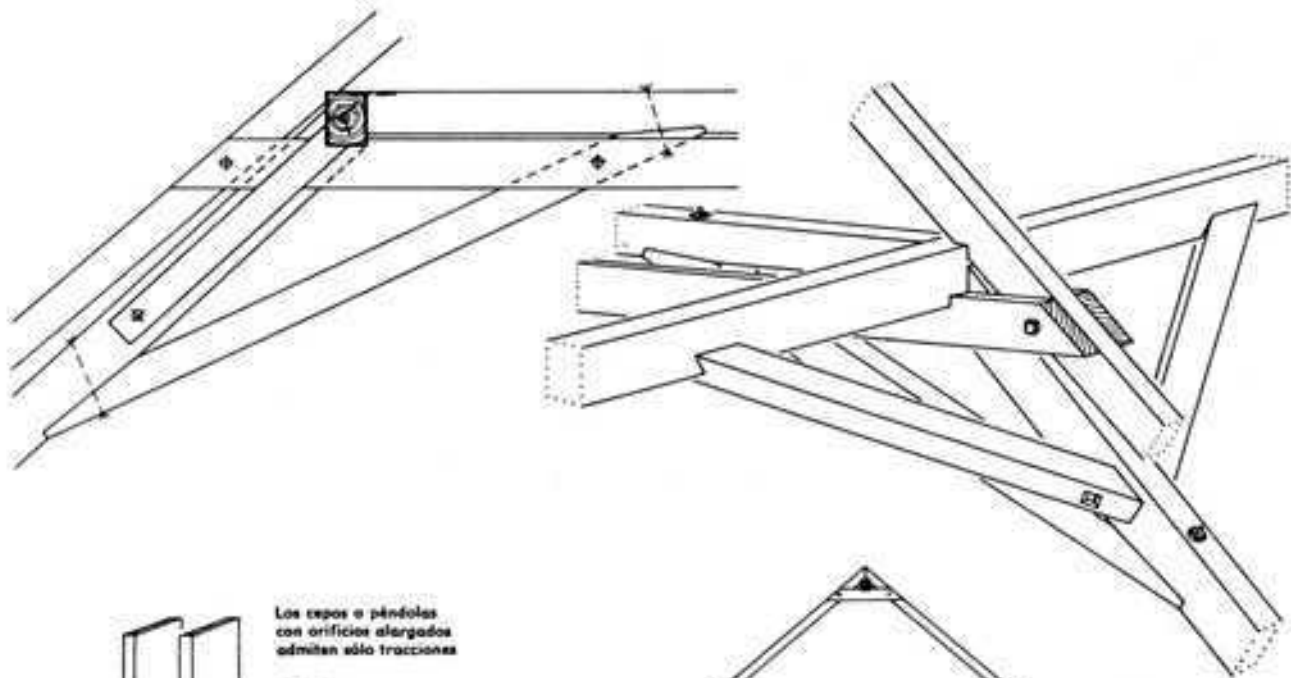
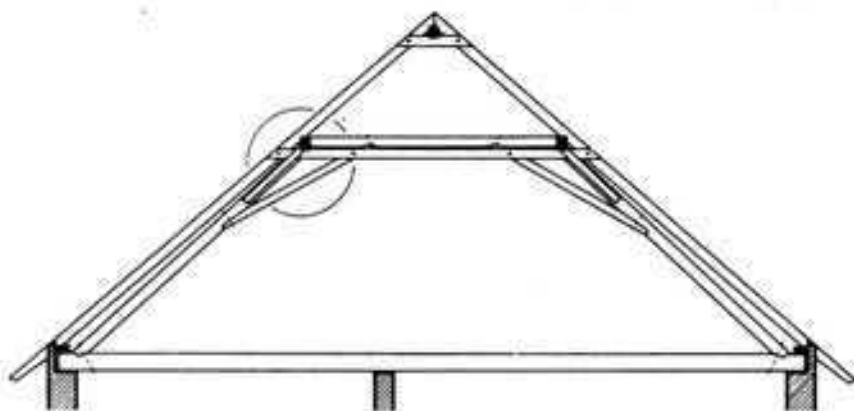
EL EMPALME DE LA CORREA
JUNTO A LA ARMADURA
FACILITA EL MONTAJE

Jabalcones giratorios con corte
a espera en las cajas de ensamble

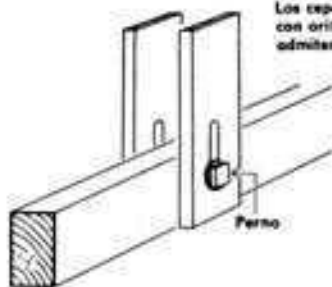
Cubierta con armadura de pares y puente

Las armaduras son estructuras jabalconadas o pórticos trapeziales que, con 4 articulaciones, sólo pueden hallarse en equilibrio bajo la acción de cargas simétricas. Para su mayor rigidez se triangularan con unos jabalcones las uniones de los pares con el puente. Si en lugar del puente de una pieza se coloca un cepo de dos tabloncillos, habrá que asegurarlo contra el pandeo, por tratarse de un elemento que tiene que soportar compresiones en todos los casos de carga que se presentan. A este fin ofrece ven-

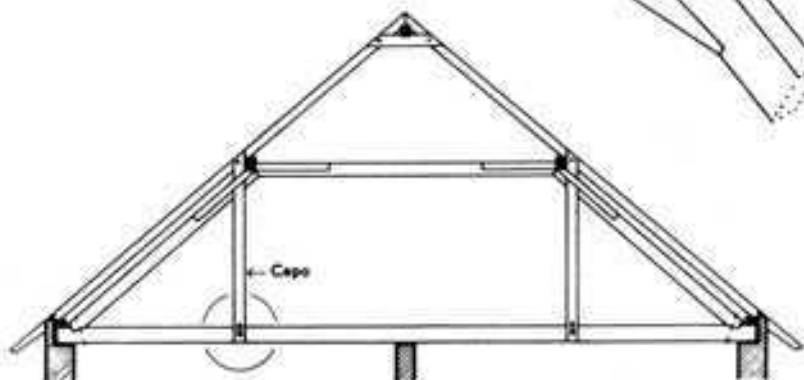
tajas enlazar los cepos y las correas intermedias por medio de jabalcones horizontales, con lo cual las luces entre apoyos de las correas intermedias, en sentido horizontal también quedan reducidas. Todavía es mejor, sobre todo cuando de construcciones ligeras se trata, donde las escuadrías dependen mucho de las cargas debidas al viento, formar con las correas intermedias y unas diagonales una viga de celosía de arriostramiento horizontal. Esta viga debe poder descargar sus esfuerzos horizontales en paredes transversales suficientemente rígidas, como, p. ej., pare-



Los cepos o péndolos con orificios alargados admiten sólo tracciones



Perno



Cubierta con armaduras de pares, puente y pendolón

Por su arriostramiento transversal, este tipo de armazón forma una estructura resistente con tres articulaciones, con un puente horizontal que le da rigidez. Las cargas de las correas gravitan sobre los pares.

La forma constructiva más sencilla de la armazón de esta cubierta es la de pares ensamblados a espera con las vigas del desván, que hacen de tirantes, y con la cabeza del pendolón debajo de la correa de cumbrera. El puente-cepo trabaja en todos los casos de carga por compresión, y por su longitud de pandeo relativamente grande se refuerza y afianza mediante jabalones horizontales y tacos de relleno y se suspende en su punto medio por el pendolón. Las correas intermedias descansan sobre los pares y sobre las prolongaciones del puente. Los jabalones giratorios dispuestos debajo de las correas intermedias y los jabalones situados bajo la correa cumbrera forman el arriostramiento lon-

des de cajas de escalera, muros hastiales, etc., porque esta armazón de cubierta ofrece siempre una rigidez relativamente escasa contra la acción de los esfuerzos horizontales. Como arriostramiento longitudinal da aquí mejor resultado que los poco eficaces jabalones giratorios una triangulación de las vertientes de la cubierta por medio de diagonales.

La escasa rigidez transversal de la armazón de cubierta que acabamos de describir puede mejorarse con unas péndolas de cepo, siempre que no estorben en el desván.

En esta forma quedan mantenidas las características típicas de las armazones de cubiertas sin postes, que son las de que las cargas verticales sólo son conducidas al suelo por sus paredes exteriores. Las péndolas no cargan en absoluto las vigas del desván, sino que incluso contribuyen a sostenerlas. Esta armazón de cubierta ofrece la ventaja práctica de que su montaje puede hacerse con igual sencillez que el de una armazón apoyada en postes.

gitudinal corriente y reducen las luces entre apoyos para las correas.

La presente armazón de cubierta sólo se presta para desvanes libres. En cambio, si se desea aprovechar el desván o, por cualquier otra razón, hay que montar un techo o cielo raso sobre los puentes, será preciso que las mitades inferiores de los pares puedan soportar cargas mucho mayores que las mitades superiores, por lo que deben reforzarse con unos sopares. Cada sopar se ensambla a espera con la viga-tirante y con el puente y luego se acopla al par mediante llaves y pernos, para lograr que formen un solo cuerpo resistente. El techo o local utilizable del desván puede entramarse mediante diagonales, que con los puentes y las correas intermedias forman una viga de celosía de arriostamiento horizontal, apoyada en las paredes transversales y en los hastiales.

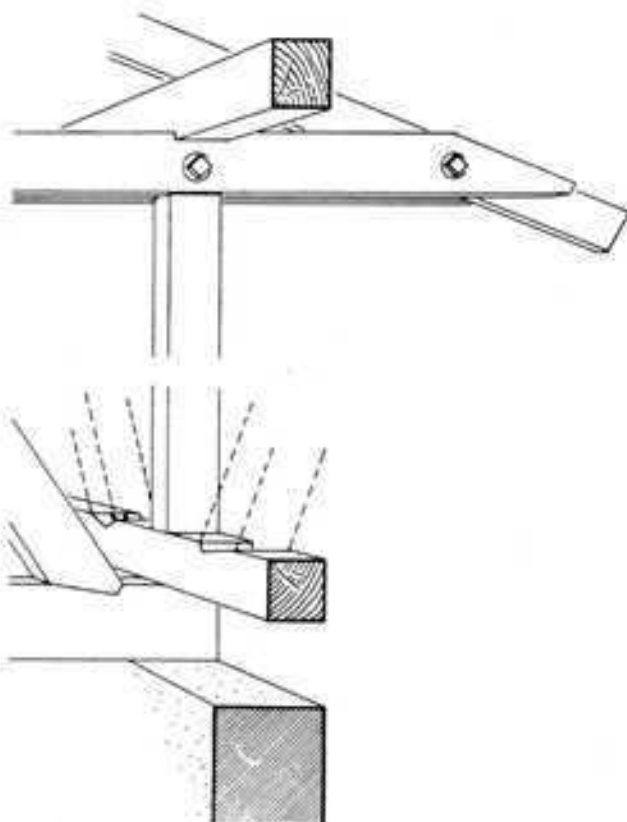
Cubierta de correas, con sotabanco

El desván, en el caso de cubiertas con escasa pendiente, resulta muy poco utilizable, porque en los costados el ángulo muy agudo de la cubierta apenas si permite aprovecharlos. Cuando ya no da satisfacción a las necesidades económicas del edificio se dispone su elevación en forma de sotabanco (rincones de la altura de un hombre). El sotabanco, siempre que es posible, se hace de una altura tal que un hombre situado junto a las paredes exteriores pueda todavía permanecer de pie.

La existencia del sotabanco debe manifestarse al exterior porque influye de manera decisiva en las proporciones del edificio, especialmente en las relativas a la altura. Esto puede lograrse cambiando de materiales, como, p. ej., haciendo el sotabanco de madera sobre otros pisos de obra de fábrica, como se hace en las casas de la región alpina, o bien disponiendo pequeñas ventanas como las que, p. ej., se ven en construcciones clasicistas. Las casas en que no se manifiesta exteriormente la existencia del sotabanco dan una impresión confusa de la organización constructiva del edificio, porque la altura de pared sobre el dintel de las ventanas del último piso resulta exagerada.

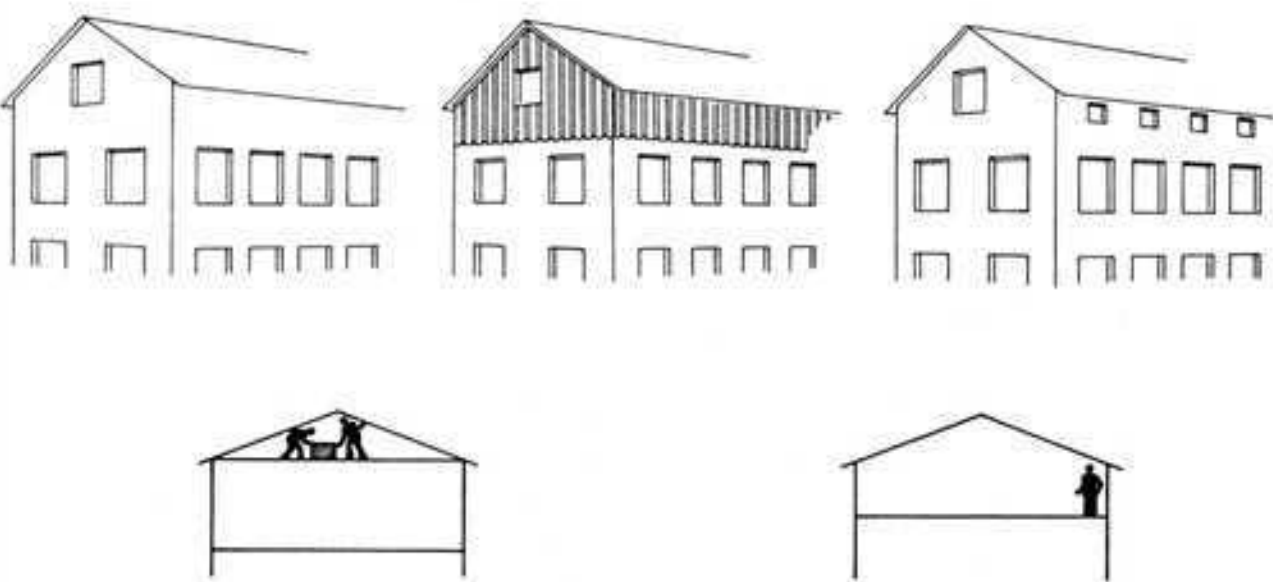
En las cubiertas con sotabanco, las vigas de techo del último piso, los postes o pies derechos y los cabios ya no forman triángulos indeformables que proporcionen rigidez. La pared del sotabanco, que suele siempre construirse con un espesor no superior a 24 cm, no puede utilizarse para el afianzamiento de la armazón de la cubierta. Como arriostamiento longitudinal se disponen, como en ejemplos anteriores, jabaicones que enlazan el poste con la correa cunbrera.

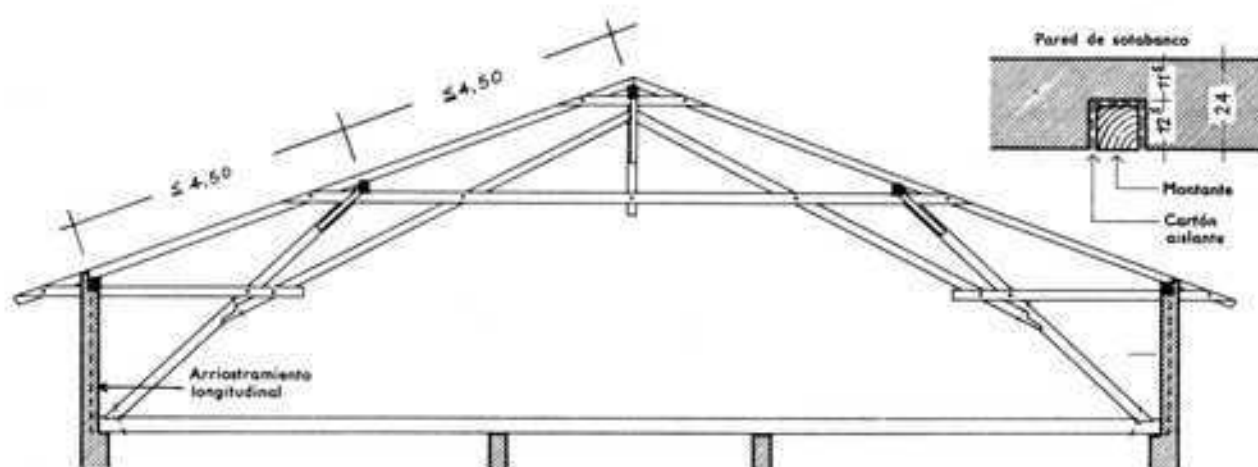
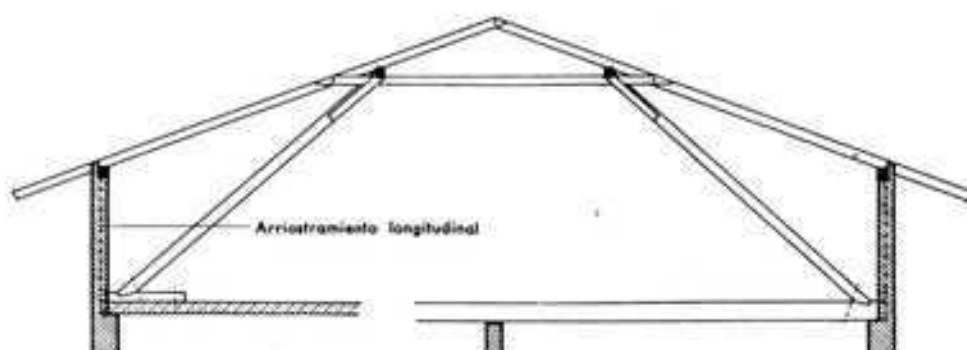
Cuando la pared de carga longitudinal está descentrada, la carga de la correa cunbrera, como en el caso de las cubiertas sin postes, se transmite a las paredes exteriores por medio de pares o tornapuntas. Unos cepos que sujetan tornapuntas y cabios aseguran también la posición de la cunbrera.



Las paredes exteriores del sotabanco pueden estructurarse como paredes de entramado o como paredes macizas que soportan las correas laterales o de alero. El afianzamiento transversal de las paredes del sotabanco se efectúa por medio de los pares o de los postes, por debajo de las correas de alero.

Las tornapuntas o pares de las cubiertas con sotabanco difieren de las correspondientes a las armazones de cubierta normal (análogamente al caso de las cubiertas para tinglados y cobertizos), en que han de dar además rigidez y afianzamiento a las paredes exteriores (paredes del sotabanco). Los postes que van debajo de las correas de alero, si han de ir empotrados en la obra, tienen que ser envueltos en cartón asfáltico, con objeto de protegerlos de la humedad que una pared de media asta no basta a impedir.





Cubierta con armadura de pares y puentes, con sobabancos

Cubiertas de correas de una sola vertiente

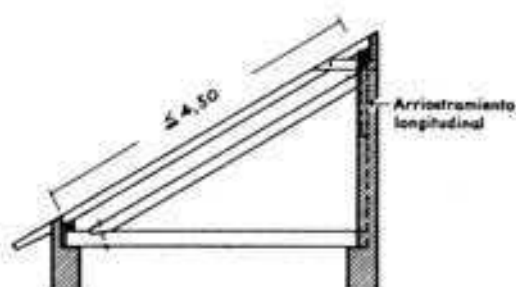
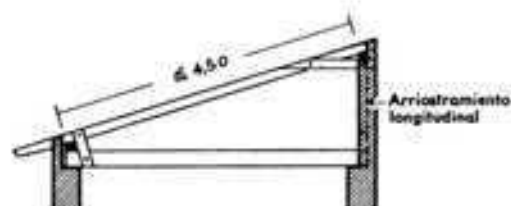
Para igual profundidad de la obra, la altura de la cumbrera de las cubiertas con una sola vertiente es doble que la de las cubiertas a dos aguas de igual pendiente. En el caso en que la parte del lado de la cumbrera no esté cubierta con tablas, sino que esté hecha de obra, se da lugar a un cuerpo de pared que por su espesor usual y su indispensable altura no puede dejarse aislada, como no sea que a determinadas distancias esté afianzada por paredes transversales, de modo suficiente. En la mayoría de los casos, estas paredes faltan y la pared correspondiente a la cumbrera, cuando el viento actúa sobre ella, puede resultar indebidamente apoyada contra la armazón de cubierta. Y viceversa: la armazón de la cubierta no debe, tampoco, ejercer fuerza horizontal alguna sobre la pared aislada. El establecer un afianzamiento transversal capaz de dar una rigidez suficiente es, en esta clase de cubiertas, aún más necesario que en las cubiertas de dos vertientes de igual inclinación. Así, pues, sólo convienen, en esta

clase de construcciones, las cubiertas apuntaladas y mejor aún las de armadura triangular.

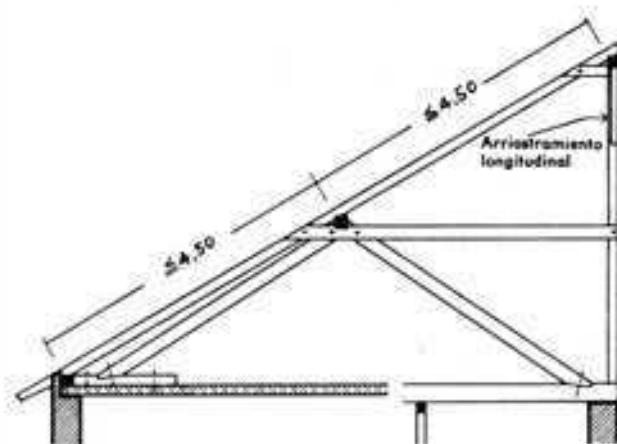
Por estas razones, en todos los casos en que haya que disponer cubiertas pesadas de una sola vertiente, conviene limitar la profundidad de la obra y adoptar la menor pendiente posible. Para longitudes de cabios hasta 4,50 m y una inclinación de unos 20° basta construir una armazón de cubierta de correas sencillamente apoyada, en la que en cada poste o pilar se forma una armadura con el cabio colocado y los cepos para el enlace. La pared trasera, por debajo de la correa de cumbrera, se fija en los montantes con anclajes adecuados. Con pendiente > 30° se arriostra el montante.

Si la longitud de los cabios sobrepasa la luz corriente se hace necesario colocar, además de las correas de alero y de cumbrera, una correa intermedia que se apoya con un par o tornapunta. Este va a su vez enlazado con el montante de la cumbrera por unos cepos.

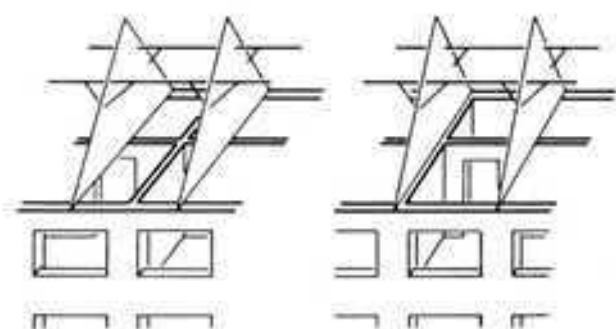
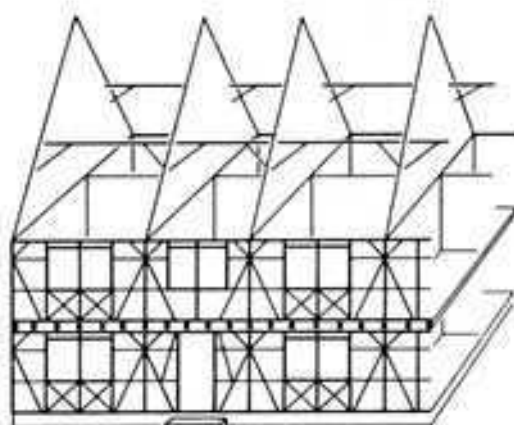
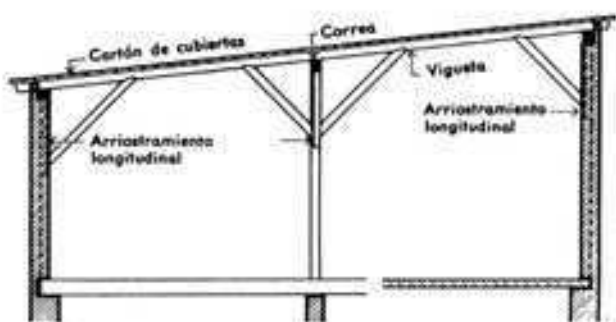
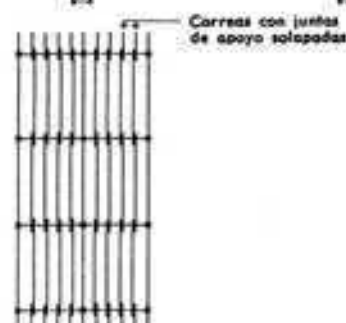
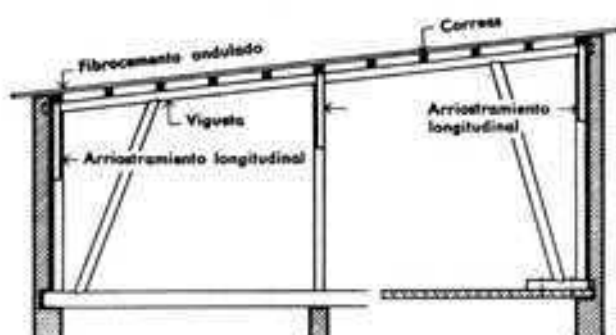
Si la longitud de los cables llega al doble de la luz corriente, que es de 4,00 a 4,50 m, se apoyará la correa intermedia por medio de una armadura sencilla. El pendolón, que queda debajo de la correa cumbre, se liga con cepos que pasan por debajo de la correa intermedia, y la pared de cumbre queda anclada a todos los cepos y tirantes. Como con esta armazón suele rebasarse la luz económica de la cruja, se hace preciso para el techo macizo el apoyo en jácena o pared interior. Los techos de vigas de madera, en cambio, mediante la formación de armaduras pueden cubrir todo el local en forma de estructuras trianguladas. El arriostramiento longitudinal de las armazones de cubierta de una sola vertiente se realiza, como en las de doble vertiente, mediante jabalcones entre los montantes y las correas y diagonales en el entramado de la vertiente.



En el caso de cubiertas de una sola vertiente, dispuestas sobre sobabancos y cuyas paredes exteriores longitudinales se hallen afianzadas suficientemente por muros hastiales, muros cortafuegos, paredes de cajas de escalera y paredes medianeras, pueden disponerse los cables en forma de envigado de poca pendiente.



Para asegurar la cubierta contra la succión producida por el viento, que podría arrancarla, es necesario anclar sus correas de alero, por lo menos cada 2 m, fuertemente en las paredes. Lo mejor es coronar las paredes del cobertizo con un zuncho de hormigón armado. Además, de cada dos o tres cables uno debe ir atornillado a las correas. Según el tipo de cubierta que sea, los cables podrán ser colocados en dirección transversal o, en forma de correas-cables, longitudinalmente. En cobertizos abiertos donde no hay paredes interiores de afianzamiento es necesario que la estructura resistente de la cubierta (como en los grandes tinglados o naves) sirva de arriostramiento para las paredes exteriores. A este fin, es necesario que los cables, mediante la colocación de riostras diagonales, formen estructuras planas suficientemen-



Mal

Bien

te rígidas para resistir las fuerzas del viento y transferirlas a paredes o entramados transversales.

En las cubiertas con correas-cabios pueden éstas disponerse como enlustrado en forma continua sobre varios tramos y conseguir de este modo economías en el consumo de madera.

La organización de la cubierta y la estructura del edificio

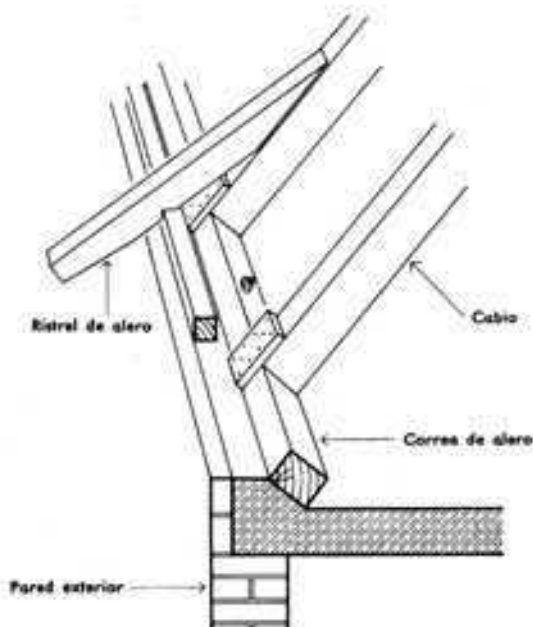
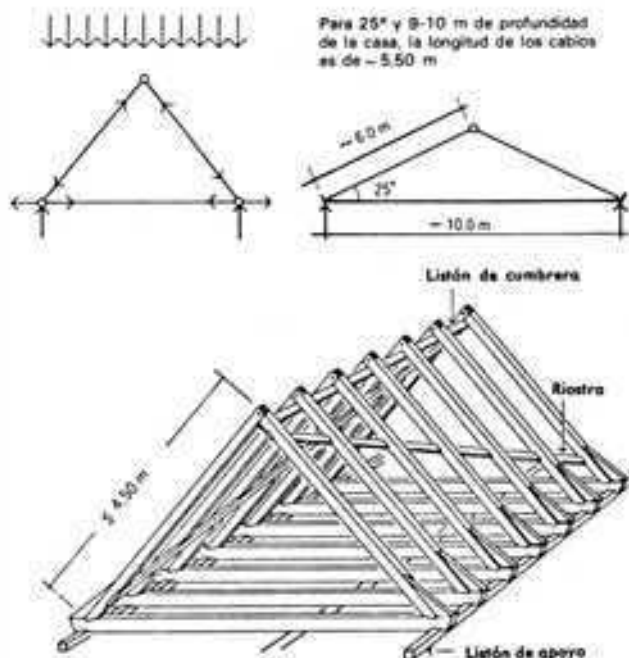
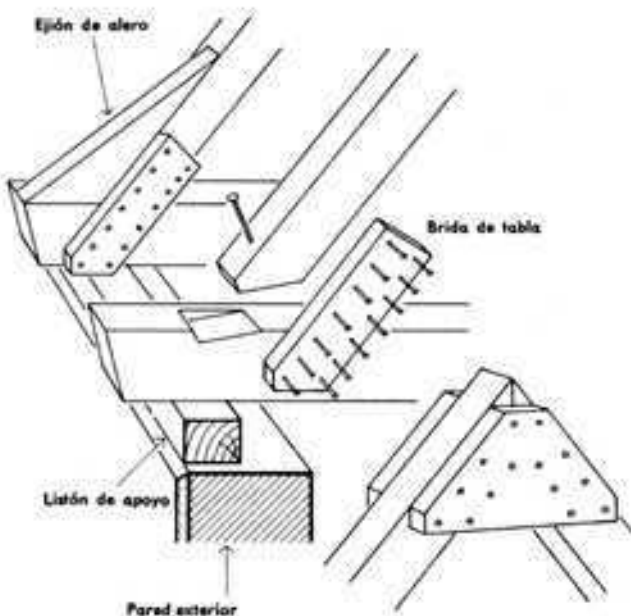
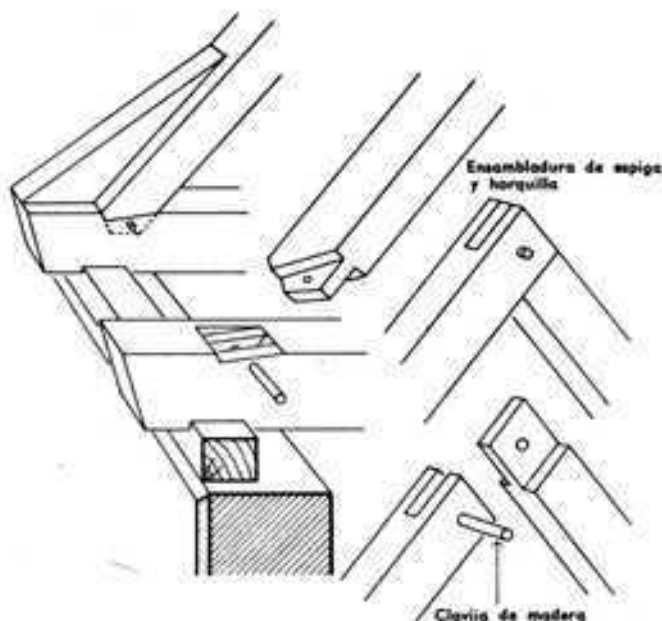
En los antiguos edificios de entramado, la disposición de la planta y las fachadas respondía generalmente a la distribución de las armaduras, a fin de que la transmisión de las cargas de la cubierta a las paredes portantes se efectuase en forma directa y en cada caso. Esa conducción directa de las cargas a los cimientos es un precepto básico para toda construcción racional, sencilla y económica.

Si bien en las plantas de nuestras complicadas viviendas modernas, este precepto no siempre puede ser aplicado de manera ilimitada, resulta siempre aconsejable que al proyectar se tenga presente la necesidad de una buena conducción de las cargas de la cubierta. En muchas ocasiones son suficientes pequeños desplazamientos de las paredes de carga para poderlas situar debajo de los postes o pies derechos de la cubierta, o bien pueden disponerse paredes transversales de 1/2 asta cuando menos y que pasen de parte a parte en todos los pisos o también medianerías o paredes de cajas de escalera; todas ellas pueden ser utilizadas para la transmisión al suelo de las cargas de la cubierta en forma inmediata. No es indispensable que todas las armaduras se hallen en un plano que pase a través de todo el edificio. En algunos casos, mediante la disposición de medias armaduras puede lograrse que los apoyos caigan siempre sobre paredes de carga, sin detrimento de la rigidez transversal de la armazón de cubierta.

Al distribuir las armaduras hay que tener en cuenta que no deben apoyarse sobre dinteles de ventanas. Los pies derechos que se apoyan cerca de paredes de carga, y de un modo especial los pies de los pares y tornapuntas de armaduras tendidas sobre crujeas, ocasionarían una importante carga adicional sobre los dinteles de las ventanas. En las armazones de cubierta con postes y pies derechos también hay que preocuparse de la posición de las puertas en las paredes intermedias. Lo mejor es que descansen sobre paredes de carga transversales.

Cubiertas de cabios y puentes

Las armazones de cubierta de cabios y de puentes se hacían ya en la Edad Media como las mejores construcciones para cubiertas de gran pendiente (con inclinaciones de más de 40°). Las pendientes fuertes de las cubiertas eran necesarias en aquellas



localidades en que para techar sólo se disponía de paja, cañas o tejas sencillas (muy raras todavía en aquellos tiempos). Las zonas de las antiguas cubiertas de cabios y puentes son principalmente las del norte, centro y sudoeste de Alemania.

Cubiertas de cabios

Las cubiertas de pendiente fuerte, a causa de la elevada presión que sobre ellas ejerce el viento, requieren una mayor rigidez transversal que las cubiertas de correas, de poca pendiente. La cubierta de cabios, por lo tanto, presenta la siguiente estructura: Con cada una de las vigas del desván, que deben ser de una pieza o, si están empalmadas, con ensambladura resistente a la tracción, y un par de cabios (pares) se forma un triángulo indeformable. Se constituye así (desde el punto de vista estático) un sistema resistente con tres articulaciones, en el que la viga trabaja como tirante. La cubierta de cabios consta, pues, de una serie continua de armaduras triangulares que se suceden a las distancias habituales a que se hallan los cabios.

Como no existen correas que apoyen los cabios, éstos no sólo están solicitados a flexión sino también por esfuerzos axiales de compresión y, especialmente en las cubiertas muy inclinadas, también por tracción, por efecto del viento. Por consiguiente, sus secciones transversales tienen que ser más importantes que en las cubiertas de correas. Sus cargas son transmitidas a las vigas del techo, que trabajan a tracción, y de éstas a las paredes. Para que con el enlace de las vigas y los pares de cabios pueda lograrse una forma exacta de la cubierta, es necesario que las vigas estén colocadas bien horizontales y sus bordes bien enrasados en un mismo plano. Se toman para ello como guías unas latas o listones que se disponen sobre las paredes a modo de durmientes.

Para el arriostramiento longitudinal de la armazón de cubierta se clavan sencillas riostras en diagonal (tiras de tabla o de costeros) por debajo de los cabios y además se unen éstos de manera resistente a compresión y a tracción mediante los listones o latas de muro o de alero y un listón de cumbre. Las riostras o diagonales de ambas vertientes se colocan cruzadas, de manera que cada par de cabios quede afianzado a diferentes alturas. Esos arriostramientos deben al mismo tiempo proteger los cabios contra el pandeo en el plano de la cubierta. Si las riostras diagonales no se fijan, como muchas veces ocurre, a los durmientes o latas de alero y sólo se unen al listón de cumbre, la rigidez que prestan a la cubierta es bastante insuficiente.

Las uniones y ensambladuras de los elementos que forman la armazón de una cubierta dependen de la sollicitación a que se

verán sometidas. En los sistemas de la antigua carpintería se hacían de la manera siguiente:

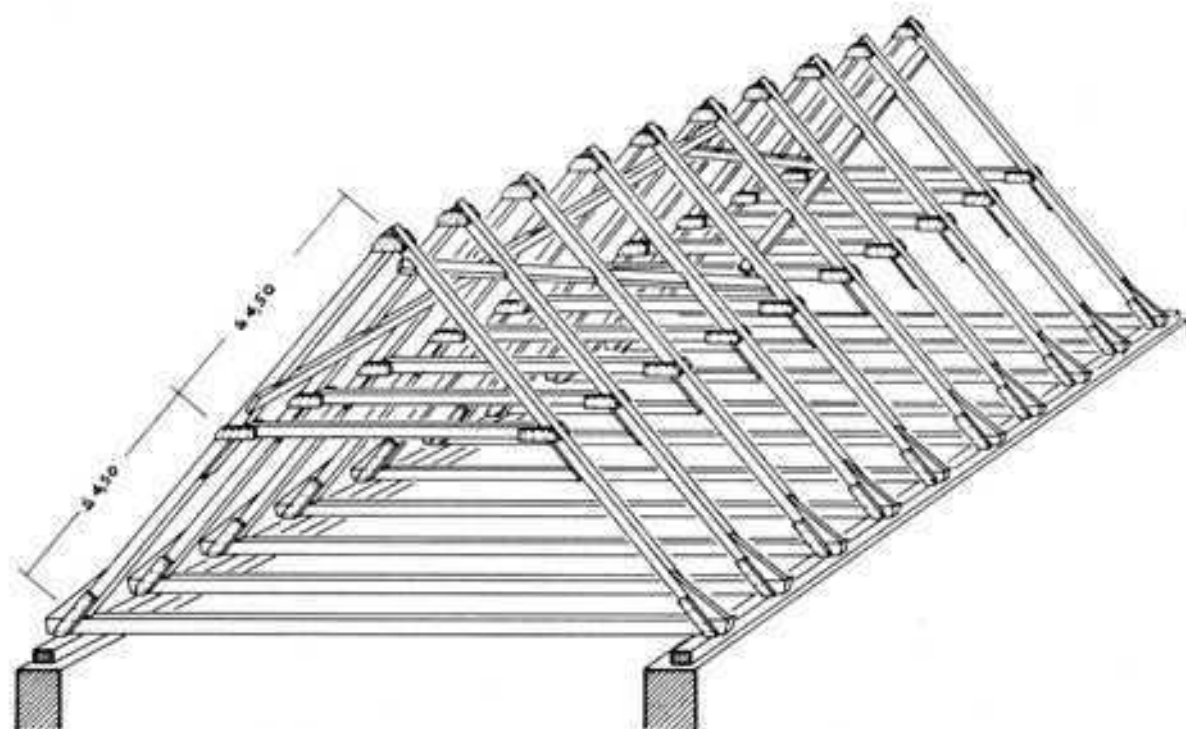
El pie del cabio se ensamblaba con la viga a caja y espiga con corte a espera, asegurando la ensambladura con una clavija de madera. Según la pendiente de la cubierta y el peso de la misma se debe dejar en el cabo de la viga, y antes de llegar al pie del cabio, mayor o menor cantidad de madera de seguridad. Sobre este trozo de viga se clavaba un ejón o recalzo contra el resbalamiento hacia afuera del cabio, que debía ser un trozo del tablón bien cortado y ajustado, al que se daba forma adecuada para poder apoyar en él el alero de la cubierta. Los extremos de los cabios se unían por arriba con una ensambladura de esquina hecha con espiga y horquilla (tenaza), que en algunos casos se aseguraba con una clavija de madera.

Las simplificaciones que actualmente se introducen en la construcción de las cubiertas de cabios proceden, en parte ya, de la sección mucho más estrecha que se da a los cabios. Para poder realizar una ensambladura de horquilla y espiga se necesitan por lo menos 10 cm de madera, y mejor 12, en los cabios. Hoy día, para cubiertas de 4,5-6,0 m de longitud de cabios, se emplean anchos de 8 cm, con alturas de 14 a 18; en sus extremos se cortan a inglete y se clavan luego por ambas caras unas piezas de madera a modo de cartabones o placas cubrejuntas. El pie del cabio se une con la viga suprimiendo la espiga y utilizando únicamente el corte a espera o barbilla, clavándose luego, para asegurar la ensambladura, un fuerte clavo de carpintería de armar. Cuando se trata de techos macizos se asegura la fijación del pie del cabio con el auxilio de una zapata o madero durmiente suficientemente anclada al techo. Según las cornisas que se deseen hay varias formas de llevar a cabo la unión del pie del cabio con dicha zapata.

Como las cubiertas de cabios y puentes transmiten sus fuerzas sólo al perímetro de la cubierta, resultan apropiadas, con forjados de hormigón in situ, tanto para los edificios con paredes de carga longitudinales como para los de paredes de carga transversales.

La posibilidad de disponer la forma del perímetro de la cubierta para que ofrezca las mejores condiciones de apoyo a los soportes de los cabios permite rebajar la pendiente de la cubierta hasta unos 25°, con lo cual las cubiertas de cabios para las profundidades medias de las casas, de 9-10 m, constituyen casi siempre la estructura de cubierta más barata.

Hay que tener en cuenta que al disminuir la pendiente de la cubierta se hace más preciso un cuidadoso trabajo de carpintería, a fin de conseguir que la línea de la cumbre resulte exacta.



Para ello no se debería nunca montarlas sin vigas de caballete o correas de cumbrera.

Cubiertas con puentes

Si la longitud de los cabios aumenta muy por encima de los 6 m, como sucede en cubiertas muy pendientes, aun en el caso de profundidades moderadas de edificación se hace necesario arriostrar los pares de cabios por medio de "puentes" intermedios, con objeto de evitar escuadrías exageradas en los cabios. En las cubiertas de mucha altura se obtiene a menudo la ventaja de disponer de otro piso como almacén o trastero.

Los cabios, a causa del arriostramiento que les proporcionan los puentes, trabajan como vigas continuas sobre 3 apoyos. Si el puente divide los cabios en partes iguales se consigue la máxima economía en la sección de dichos cabios. Siempre y cuando, desde luego, tal disposición permita todavía permanecer de pie en el local situado debajo de los puentes.

En la mayoría de los casos, el cabio sufre la máxima sollicitación en el nudo de unión con el puente. Por esta razón, el enlace de cabios y puentes es de la máxima importancia para el consumo de madera. Los puentes, si no soportan un piso, sólo están sometidos a compresión axial según la línea de sus fibras. Si además se utilizan para sostener un piso superior (atillo del desván), estarán también fatigados por flexión. Sólo podrán trabajar los puentes como piezas extendidas, es decir como tirantes, en el caso de existir interrupciones en las vigas del desván, por ejemplo algún embrochado, y si las paredes de apoyo de los pies de los cabios ceden al empuje de éstos.

Las antiguas ensambladuras entre puentes y cabios, que se hacían a caja y espiga si los puentes no tenían que sostener carga, o con espiga y corte a espera, o a media madera si tenían que soportar un piso, eran irreprochables desde el punto de vista constructivo, pero tenían el inconveniente de debilitar excesivamente la sección de los cabios, que debían ser más gruesos. Hoy en día se abre como máximo una espera pequeña de 2 cm de profundidad, que es suficiente para soportar los puentes con su carga útil, y se asegura luego el enlace por medio de tablas clavadas en los costados. La sección de los cabios deberá aumentarse en lo que la merma la profundidad de la barbilla. Sin embargo, si los puentes se apoyan sobre ejones de tabla clavados a los cabios, se evita toda debilitación de éstos y su sección puede ser totalmente utilizada sin merma alguna.

En cubiertas de 10 m de luz y de 40 a 45° de pendiente, las secciones de los cabios varían entre 8 x 16 cm y 10 x 20 cm y la sección de puentes entre 6 x 10 y 10 x 20 cm. Empleando vigas encoladas o clavadas, hechas de varias piezas y con secciones parecidas a las de los hierros laminados, para usarlas como cabios o como puentes, puede todavía reducirse más el consumo de madera, si bien crecerá el consumo de mano de obra considerablemente en comparación con el requerido por el uso de madera simplemente encuadrada.

Arriostramiento

Si los puentes, según se ha descrito hasta aquí, sólo están unidos con los cabios, representan un arriostramiento eficaz de los pares de cabios, en el caso de que la carga sea simétrica. Cuando la carga está únicamente en una de las vertientes, p. ej., en el caso de que el viento ejerza presión por un lado, o que sólo se haya acumulado nieve sobre media cubierta, trabajan los puentes tan sólo como apeos o apuntalamientos elásticos. En tal caso transmiten los esfuerzos recibidos a los cabios de la vertiente no cargada, que gracias a esto tienen que soportar momentos adicionales de flexión y esfuerzos axiales. Todo el sistema experimenta una pequeña deformación lateral que desaparece al cesar la acción de la carga, pero que entretanto puede dar lugar a grietas en los enlucidos del desván. Para evitar tal inconveniente es necesario dar escuadrías más importantes a los cabios, o bien, lo que es preferible y más económico, de madera, enlazar los puentes con diagonales para formar una viga de arriostramiento en celosía horizontal, que transmita las fuerzas del viento a los muros hastiales y a las paredes transversales intermedias.

Estáticamente hay que distinguir, en las cubiertas de cabios con puentes, dos tipos de arriostramiento transversal:

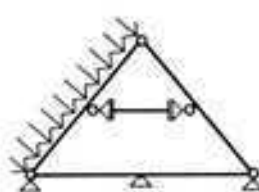
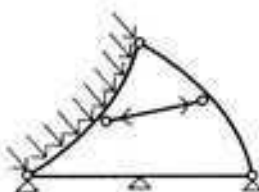
ARMADURA CON PUENTE DE CAJÓN Y PARES DE SECCIÓN DOBLE T ENCOLADA

Proyecto de Barfknecht



Puente libremente desplazable

Puente anclado horizontalmente



1. ENVIGADO DE PUENTE LIBREMENTE DESPLAZABLE

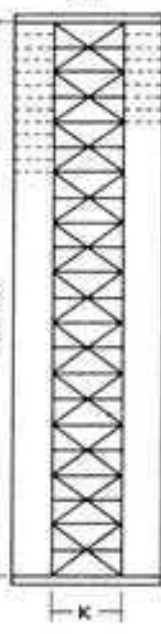
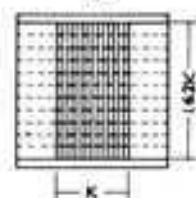
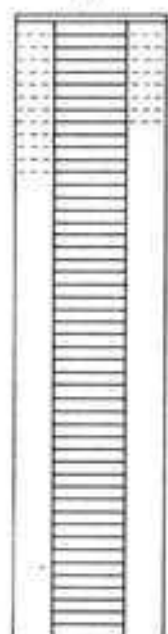
2. ENVIGADO DE PUENTE ANCLADO



1

2a

2b



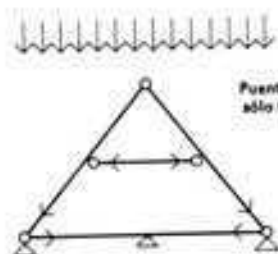
1. Sin arriostrar

2a. Piso rígido

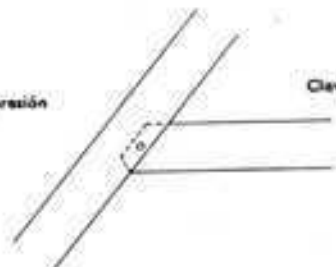
2b. Viga de arriostramiento horizontal

1. Desván abierto, no habitable. Los puentes pueden desplazarse libremente. En el caso de carga de uno de los lados de la cubierta, los cabios se flexionan en toda su longitud, por lo que hay que darles secciones más fuertes que en el caso en que los puentes estén afianzados. Cada par de cabios trabaja como una estructura resistente independiente.

2 a. Si sobre los puentes se clava un piso de tablonas, como suele hacerse para el aprovechamiento económico de aquel piso, cada uno de los puentes queda incorporado a una placa de piso de relativa rigidez. Si este piso se sujeta con anclajes a los



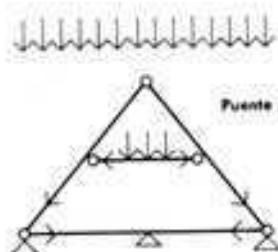
Puente sin carga;
sólo trabaja por compresión



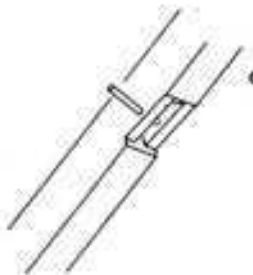
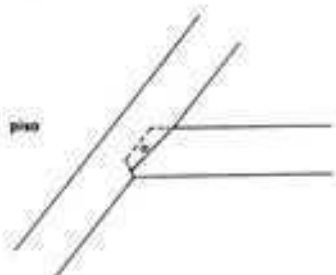
Cierro de madera



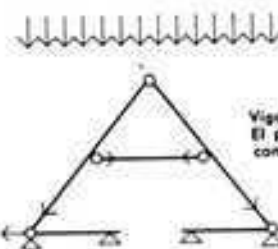
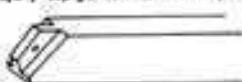
Caja y espiga oblicua



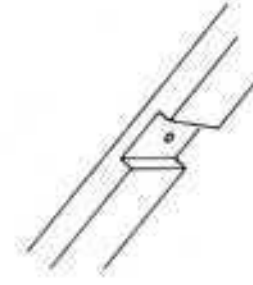
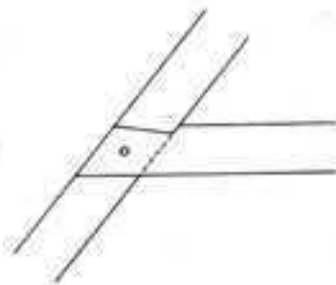
Puente que soporta un piso



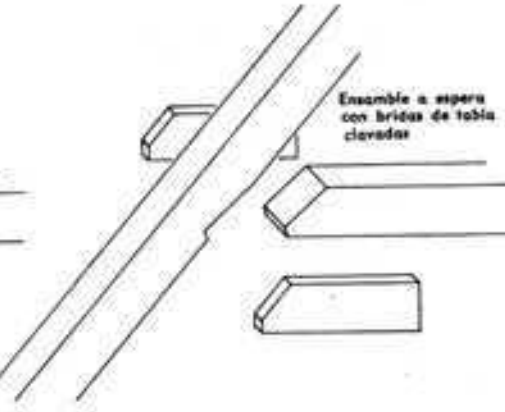
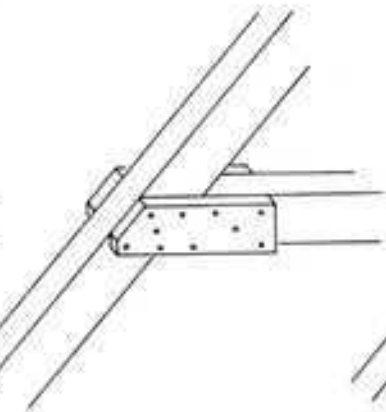
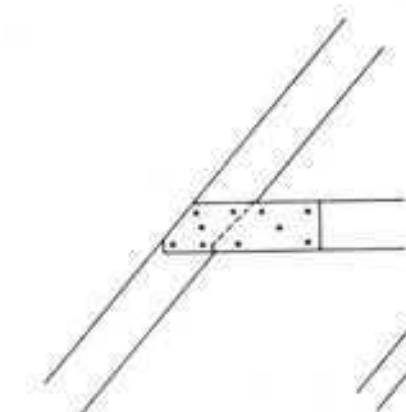
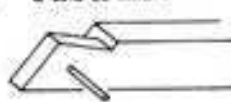
Caja y espiga con corte a espere



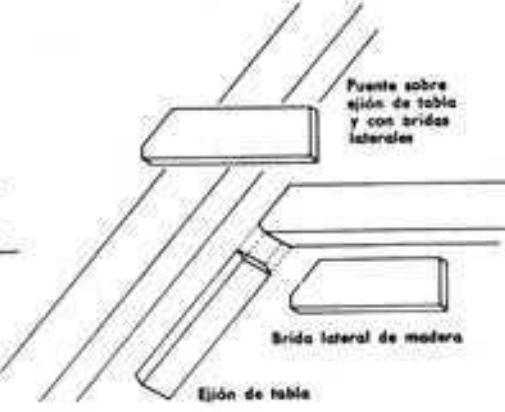
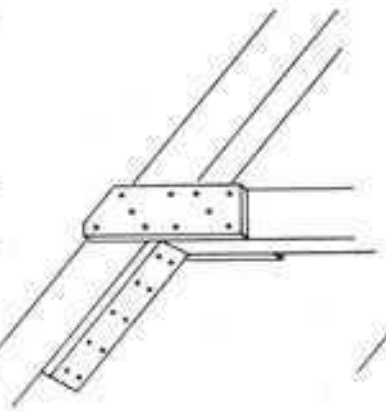
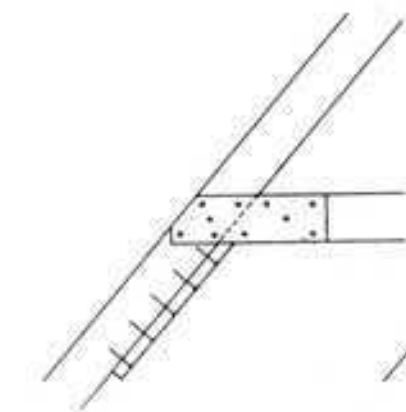
Viga interrumpida -
El puente actúa
como tirante



Media madera
a cola de milano



Ensamble a espere
con bridas de tabla
clavadas



Puente sobre
ejón de tabla
y con bridas
laterales

Brida lateral de madera

Ejón de tabla

muros y paredes transversales se convierte en un apoyo desplazable en dirección horizontal para los cabios. Gracias a este apoyo rígido, la flexión de los cabios es mucho menor que en el caso de puentes libremente desplazables y los cabios pueden tener escuadrias más reducidas. Sin embargo, sólo puede contarse con el aumento de rigidez producido por los pisos de arriostramiento así dispuestos cuando la distancia entre las paredes transversales no exceda del doble de la longitud de los puentes. Para distancias o separaciones mayores, las tablas de los bordes, sobre todo en sus uniones, soportan solicitaciones demasiado fuertes. Estas estructuras resistentes de las cubiertas se tratan estáticamente de la misma manera que los puentes con apoyos desplazables.

2 b. Cuando las distancias entre muros hastiales y paredes transversales son mayores que el doble de la longitud de los puentes, es recomendable afianzar éstos por medio de barras o piezas longitudinales y diagonales, de manera que se forme una viga de celosía horizontal que se puede anclar, en todo caso, a las paredes transversales.

Las paredes transversales pueden estar distanciadas hasta ocho veces la luz de los puentes; si no se rebasa esa distancia se puede contar con la plena eficacia del afianzamiento y la rigidez de la cubierta. Este arriostramiento por viga de celosía en plano horizontal, que es el mejor, puede colocarse tanto en los desván habitables como en los abiertos.

Si se trata de un desván no habitable o el piso de arriostramiento no ha de utilizarse como local, o si sucede como en las granjas, que los puentes estorban para el aprovechamiento del desván (heniles, pajares, etc.), se suprimen la mayor parte de los puentes, que se substituyen por unos bastidores o marcos. En tales casos, los puentes solamente van colocados a distancias de unos 3 m. Sobre ellos descansan unos largueros de bastidor o correas laterales, que sirven para dar apoyo y rigidez a los cabios intermedios. Como tales correas contribuyen también a la rigidez longitudinal de la cubierta, sus empalmes y uniones deben poder resistir tracciones y compresiones. Después de esta simplificación resulta ya fácil organizar el arriostramiento en forma de viga de celosía en plano horizontal; los cabios libres pueden entonces apoyarse contra los cordones exteriores de la misma. Las correas laterales se colocan, en la mayoría de los casos, sobre los puentes en posición canteada para que absorban las cargas perpendiculares a la superficie de la cubierta. Cuando se trata de cubiertas de pendiente muy fuerte es mejor ensamblar las correas laterales con los puentes, de manera que solamente admitan fuerzas horizontales (componentes horizontales de las cargas) para transmitir las a los puentes. Para lograr entonces un

buen apoyo de los cabios intermedios, sin debilitar su sección resistente se clavan en su cara inferior unos ejones, cortados según un perfil adecuado. Para el empalme de las correas laterales son suficientes unos cubrejuntas clavados de tabla.

Una desagradable consecuencia de la elasticidad de las cubiertas de cabios es la deformación y descenso de la cumbrera que puede observarse en las cubiertas antiguas. Para evitar este inconveniente basta colocar una delgada correa de cumbrera, que no ha de sostener la carga de los extremos de los cabios y que sólo sirve para dar rigidez a la cumbrera. Al mismo tiempo, dicha correa puede completar el arriostramiento longitudinal de toda la armazón de la cubierta, si se enlaza mediante diagonales con otros maderos longitudinales y especialmente con los durmientes o correas de las paredes en forma regular.

Cubiertas con puentes verticales y horizontales

Si aumenta la longitud de los puentes cargados y sobrepasa los 4,50 m, se les da un apoyo central con un larguero apoyado en postes y enlazado a éstos con jabalcones (pórtico continuo). Se obtiene así la armazón de cubierta de puentes (denominada también armazón de "báscula"). Para el cálculo de sus dimensiones es importante que este pórtico no tenga que soportar ninguna carga de cubierta y que sólo cargue sobre él el peso de los puentes. Se gana sitio y se aprovecha mejor el desván si los puentes se suspenden de la cumbrera mediante pendolones de tablas.

La armazón de cubierta que antiguamente era frecuente y que hoy día ya no se construye porque requiere mayor consumo de madera es la de dos filas de postes. La ventaja de esta construcción residía en que facilitaba al carpintero el montaje de la cubierta y poseía una mayor rigidez longitudinal y transversal. Mediante la ensambladura de los puentes con los largueros de los pórticos se forma una viga de arriostramiento que apoya horizontalmente en los triángulos formados por los postes y los cabios correspondientes. Su eficacia se aumenta por medio del entarimado que ordinariamente se coloca sobre los puentes. Como no se trata de armaduras como en las cubiertas de correas, en caso necesario pueden desplazarse los postes para facilitar el arreglo del desván como espacio habitable.

Los postes y los largueros en cooperación con los jabalcones proporcionan un buen arriostramiento longitudinal. En las cubiertas altas y de mucha pendiente, este arriostramiento tiene especial importancia cuando el edificio queda cerrado por un muro hacial aislado, que en la mayor parte de los casos no se halla en condiciones de resistir la presión del viento que sobre él incide.

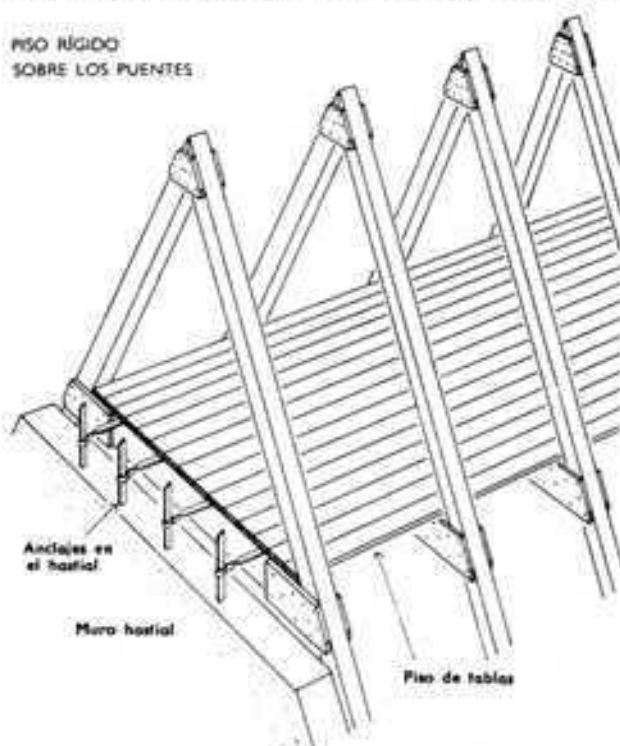
En contraposición con las cubiertas de correas con doble hilera de apoyos, en la cubierta de puentes los pies derechos no se utilizan para la inmediata conducción al suelo de las cargas verticales. Esto se ve confirmado en muchos casos de viejas cubiertas, en que, por excesiva flexión de las vigas del suelo del desván, descendieron algo los pies derechos y los largueros, manteniéndose en cambio los puentes en su primitiva posición y altura. En los pisos o techos macizos indeformables y rígidos, sin embargo, los pies derechos soportan siempre una parte de las cargas que reciben al montar la armazón de la cubierta. De todos modos, esa fracción de carga no es calculable, cosa que también ocurre con la parte de las fuerzas del viento que han de soportar los pies derechos.

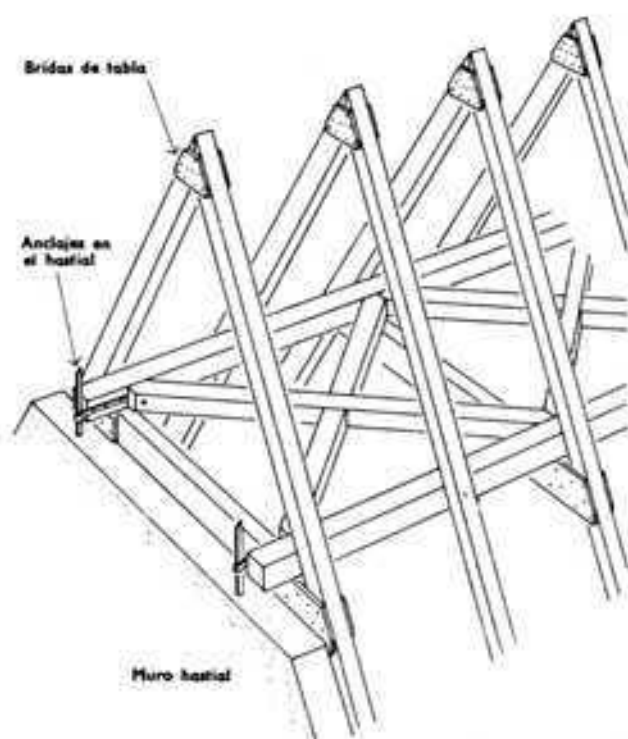
Con longitudes de cabios de más de 8 m se divide la luz de éstos en tres partes con puente y sobrepunto. Como cubiertas de tal magnitud difícilmente pueden ser montadas sin apoyos, es necesario colocar bajo los puentes dos o tres largueros con sus hileras de postes para su apoyo. Si estos postes estorban en el desván puede darse el refuerzo con armaduras trapeziales.

Embrochados

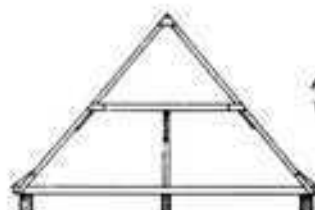
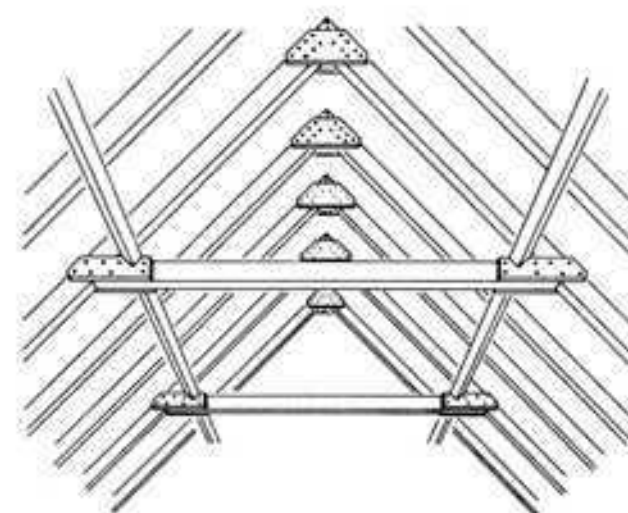
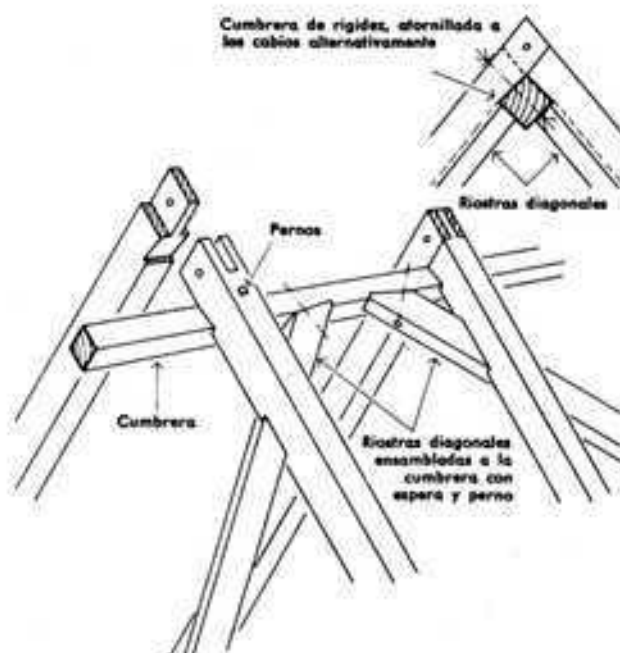
Los embrochados en los entramados de la cubierta interrumpen el arriostramiento de la misma y, por consiguiente, van contra el sentido de la construcción a base de cabios, por lo cual deben ser evitados en lo posible. Sin embargo, para el paso de las chimeneas, de las escaleras de acceso al desván y de otras aberturas en la cubierta, casi nunca es posible evitarlos. Para hacer resistentes a la tracción los embrochados, se ensambla-

PISO RÍGIDO
SOBRE LOS PUENTES

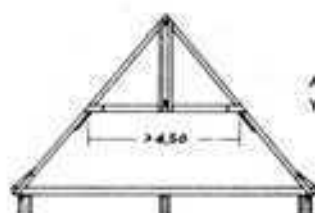




Cumbrera de rígida, atornillada a los cabios alternativamente



ARMADURA CON PUENTE Y POSTE



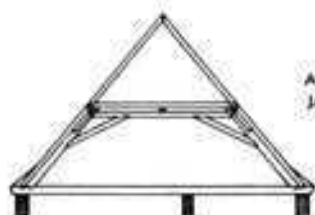
ARMADURA CON PUENTE Y PENDOLÓN



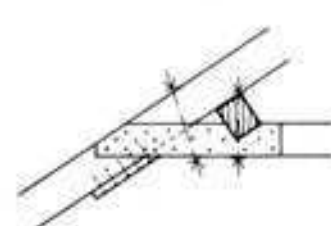
ARMADURA CON PUENTE Y DOS POSTES



ARMADURA CON PUENTE, SOBREPUESTO Y TRES POSTES



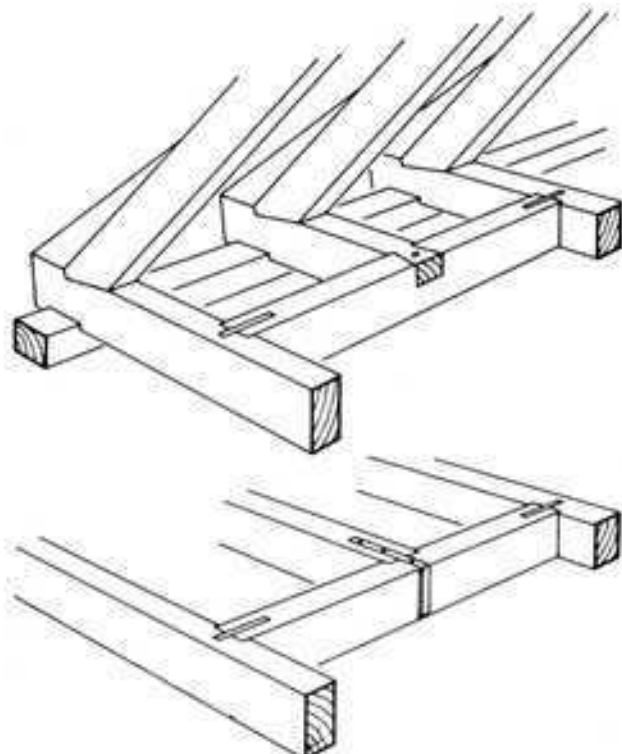
ARMADURA CON PUENTE JABALCONADO



CORREA DE PUENTE INCLINADA



CORREA DE PUENTE EMBOCHALADA



ba antiguamente la viga coja a media madera con el brochal, dando a la ensambladura forma de cola de milano. Para evitar la importante debilitación que esto produce en la sección transversal de la viga se emplean actualmente bridas de hierro plano fijadas con tornillos o pernos.

En los edificios de planta complicada, la distribución irregular que indispensablemente tienen las vigas dificulta una distribución regular de los cabios, por lo que suelen hacerse independientes una de otra ambas distribuciones. En unas entalladuras practicadas en las vigas del desván se coloca en posición ladeada una carrera o solera a la que se ensamblan los pies de los cabios. Para garantizar la estabilidad de la cubierta es necesario asegurar con clavos y clavijas la unión de la carrera con cada una de las vigas. Adoptando esta construcción se obtiene además la ventaja de una mayor facilidad en la distribución de las vigas, si bien con cierta limitación en los embrochados, como anteriormente.

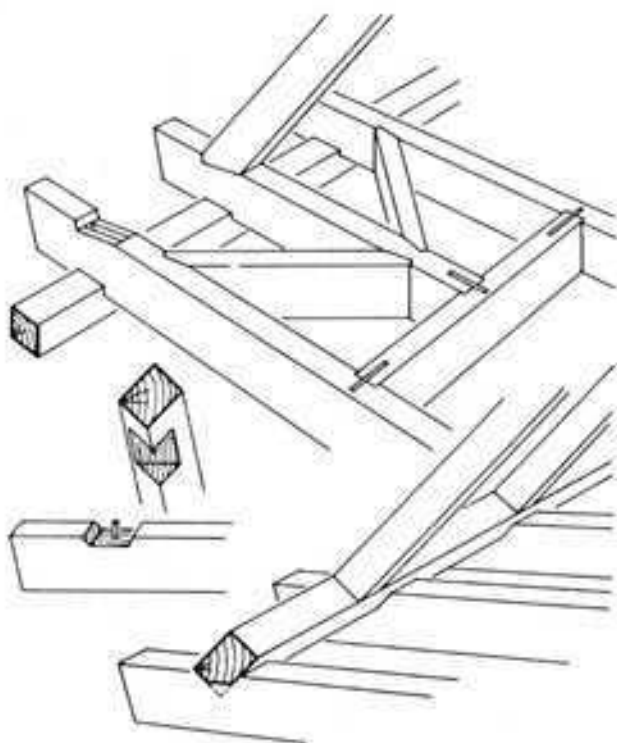
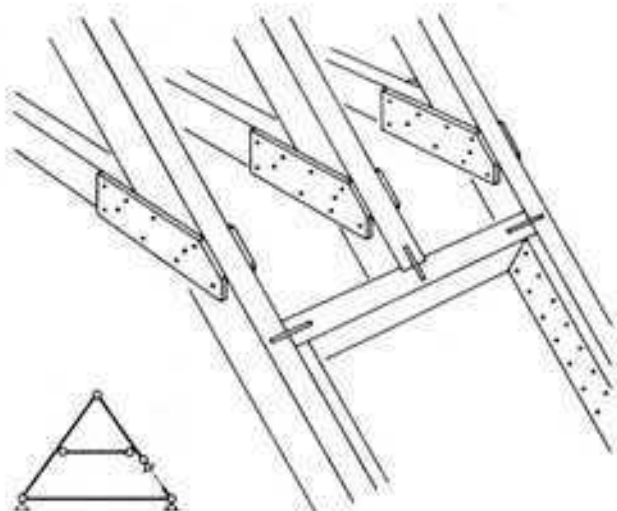
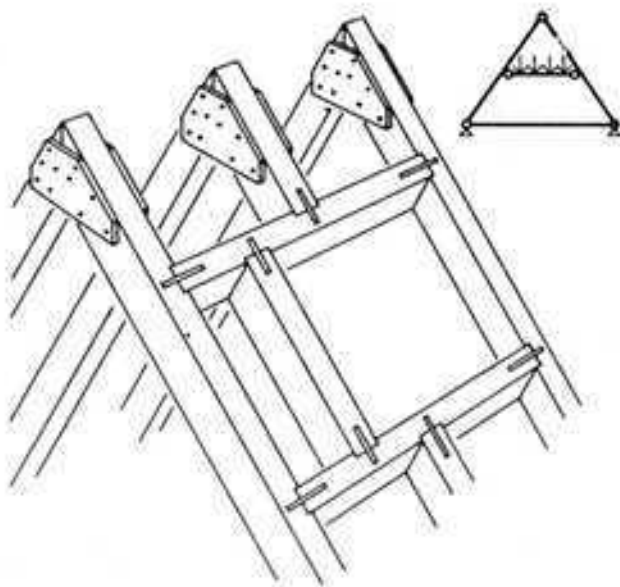
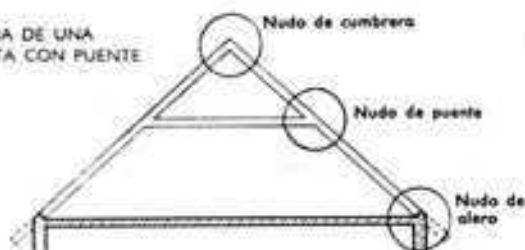
Los embrochados próximos a la cumbrera, destinados a dejar paso a las chimeneas, no dan preocupación alguna ni exigen ningún refuerzo de los cabios portadores del brochal.

En cambio, si hay que interrumpir cabios por debajo del piso de los puentes, los cabios portadores del brochal tienen que aceptar, además de la suya, la mitad de la carga del trozo de cubierta correspondiente a los cabios cojos, tanto procedente de la cubierta como del piso. El brochal debe ser fuerte y la sección de los cabios que lo soportan debe reforzarse con tablas clavadas o sujetas con tornillos.

En las casas de profundidad o anchura normal, las cubiertas de puentes, además de asegurar mejor rigidez transversal que las cubiertas de correas, ofrecen las siguientes ventajas:

En primer lugar, permiten disponer de un local despejado sin postes ni tornapuntas, que puede ser distribuido y dividido en la forma que se quiera. Desaparecen, además, todas aquellas circunstancias y objeciones que había que tener en cuenta al efectuar la repartición de las armaduras de las cubiertas de correas en plantas y fachadas.

ESQUEMA DE UNA CUBIERTA CON PUENTE



Referido el consumo de madera de una cubierta sin envigado de desván a la unidad de superficie de la planta que con ella se cubre, se ve que aumenta poco al crecer la profundidad o anchura del edificio y, en cambio, aumenta notablemente al crecer la inclinación o pendiente de sus vertientes. Por consiguiente, las cubiertas grandes y de mucha pendiente sólo se suelen emplear actualmente para edificios cuyo desván o buhardilla puede ser aprovechado.

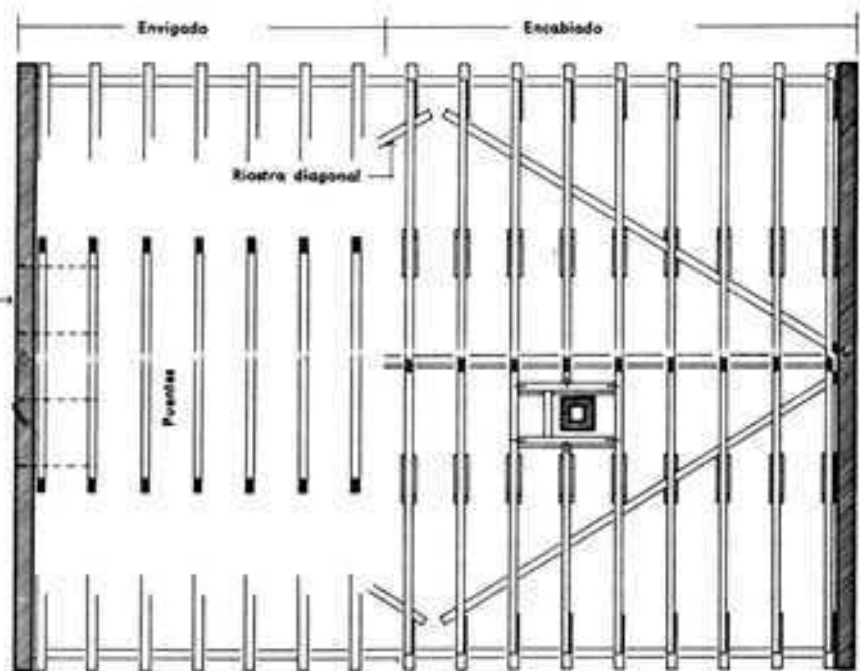
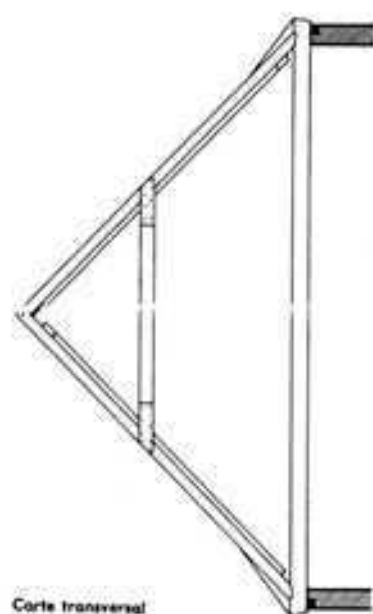
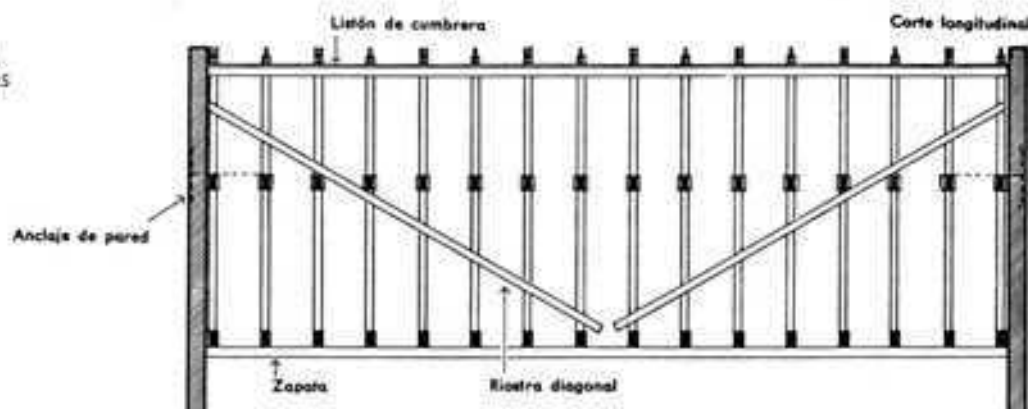
En la construcción de viviendas ya no se usan hoy día las costosas y complicadas armazones de cubiertas de gran pendiente con desván habitable. Sólo suelen dejarse, en la mayor parte de los casos, desvanes transitables a los que se da casi siempre pendientes de cubierta de unos 20-30°.

Para cubiertas sobre edificios de gran anchura (más de 10 m), las armaduras de cubierta de muy poca pendiente son siempre más económicas. Si bien, gracias al empleo de pares y cabios de celosía, también pueden lograrse economías de madera con

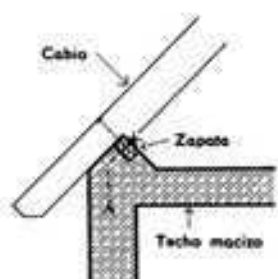
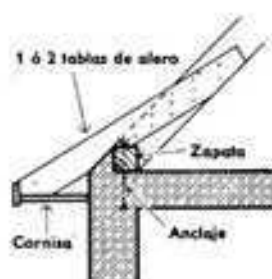
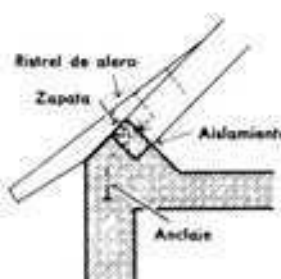
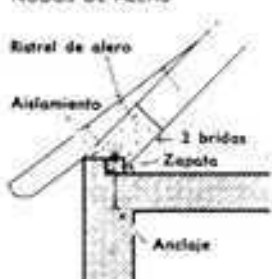
pendientes fuertes, no queda, de todos modos, justificado el mayor trabajo exigido para ellas. Aparte de que es muy cuestionable que la utilización y aprovechamiento, hasta su último extremo, de delgados elementos resistentes de madera no se haga a costa de la seguridad estática, además de que tales construcciones, en caso de incendio, son destruidas muy rápidamente. Otro inconveniente es el de que estas construcciones pueden ser más fácilmente destruidas por microorganismos vegetales o animales y los insectos que las estructuras de fuertes escuadrias. Asimismo, los trabajos de carpintería para ensambladuras y uniones son más difíciles de hacer en las maderas delgadas y finalmente en el aserrado de numerosas piezas pequeñas hay mucho más desperdicio de madera.

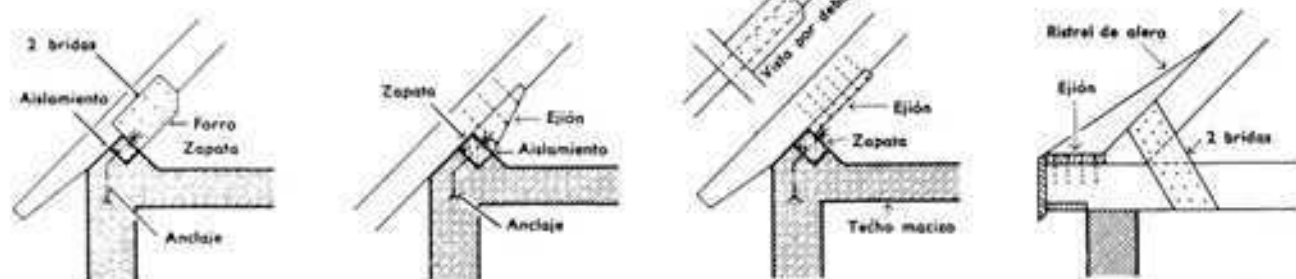
Con el auxilio de los conocimientos estáticos y de nuevos y más perfectos sistemas, es posible actualmente aplicar a las armazones de cubierta con pendientes hasta 25° el principio constructivo de las cubiertas de gran pendiente con puentes.

ENVIGADO Y ENCABIDO DE UNA CUBIERTA CON Puentes

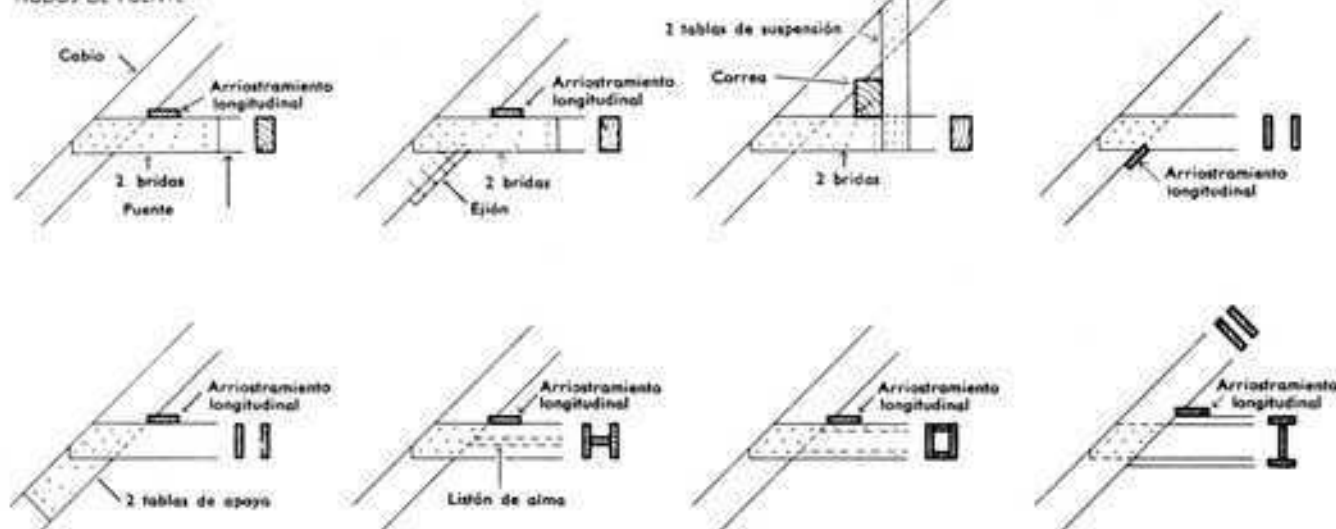


NUDOS DE ALERO

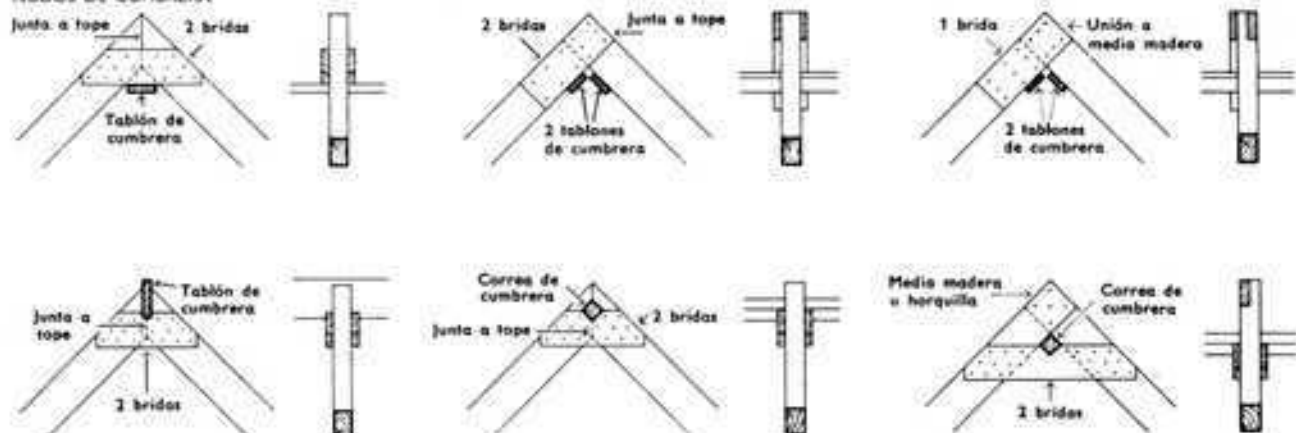




NUDOS DE PUENTE



NUDOS DE CUMBRERA

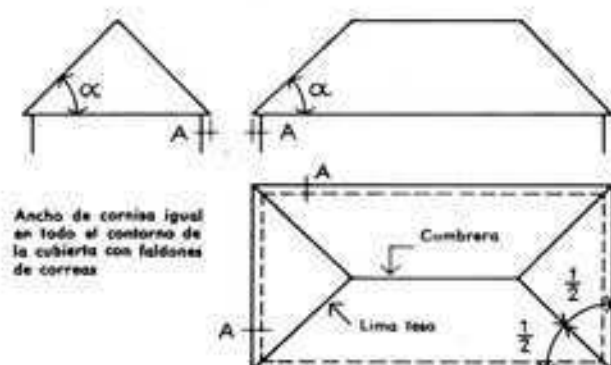


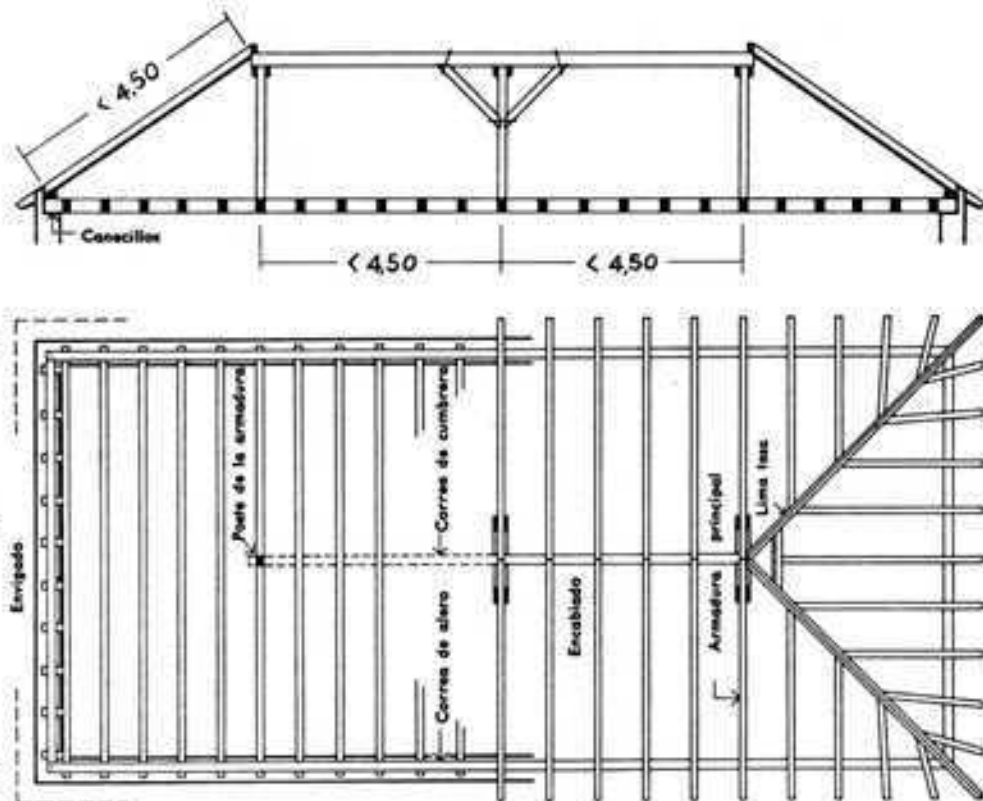
Cubiertas a cuatro aguas (Cubiertas con faldones)

Se designa con el nombre de cubierta a cuatro aguas o cubierta con faldones una cubierta que presenta pendientes hacia todos lados. Hace resaltar más un cuerpo de edificio aislado, lo separa de lo que le rodea y lo ennoblece.

En las alineaciones de casas próximas entre sí, las cubiertas a cuatro aguas más bien separan, en tanto que las cubiertas a dos aguas unen y dan más efecto de conjunto, por lo que, en tales casos, debe preferirse la cubierta a dos aguas.

Si bien los faldones sólo se suelen hacer en las cubiertas por razones estéticas, tienen también una significación e importan-



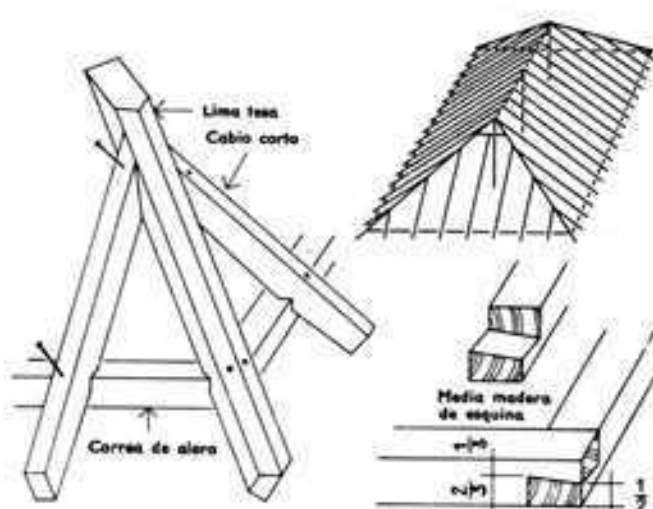


cia constructiva, pues mejoran la rigidez longitudinal de la cubierta. Si queremos buscar el sentido constructivo de esta modalidad hemos de distinguir entre los faldones de las cubiertas de correas y los de las cubiertas de cabios.

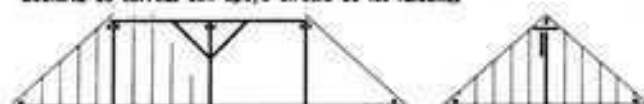
Partiendo de que los aleros o las cornisas de las cubiertas de correas deben sobresalir por igual en todos los frentes del edificio, se deduce que la pendiente ha de ser la misma en los faldones que en los frentes longitudinales. En planta, sus aristas o "limas tesas" aparecen como bisectrices de los cuatro ángulos, que vienen a determinar la longitud de la cumbrera restante. Las cubiertas a 4 aguas, del tipo de correas, sólo son apropiadas para cuerpos de edificio con determinadas proporciones en su longitud y su anchura, pues las líneas de cumbrera demasiado cortas dan un aspecto de pobreza o debilidad al edificio.

En las cubiertas de cabios se forman las cornisas con las cabezas salientes de las vigas del desván. Es posible, por consiguiente, dar a los faldones mayor pendiente que la que tienen las vertientes principales de la cubierta, de manera que se pueden construir cubiertas con faldones de aspecto satisfactorio sobre plantas casi cuadradas.

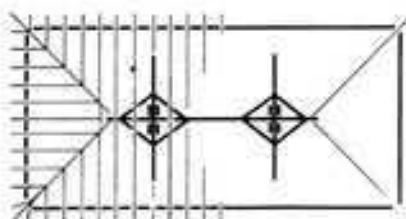
En su construcción y estructura, la cubierta a cuatro aguas es mucho más complicada que la cubierta a dos aguas y exige del carpintero una gran habilidad y experiencia para lograr una buena disposición de los cabios de lima tesa y de los cabios de faldón. Las dificultades constructivas crecen al aumentar la anchura de la obra y son de muy difícil solución cuando se trata de cubrir locales de grandes dimensiones.



Cubierta de correas con apoyo directo de los faldones



Cubierta de correas con apoyo voído de los faldones

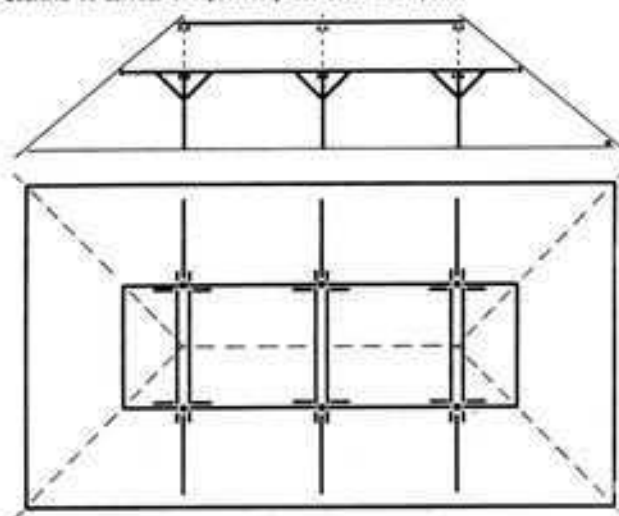


Cubiertas de correas a cuatro aguas

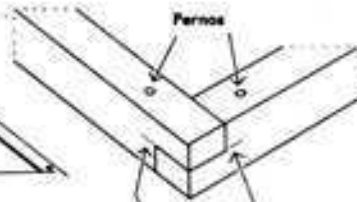
La posición de las limas tesas o aristas de los faldones es lo primero que hay que fijar al proceder al trazado de los dibujos de construcción de toda cubierta a cuatro aguas. El caso más sencillo, que es el de construir una cubierta a cuatro aguas sobre un edificio de profundidad (o anchura) moderada, requiere en el fondo la misma preparación que las cubiertas de grandes dimensiones.

Después se elige la posición de las armaduras o cuchillos teniendo en cuenta una buena distribución de las cargas. Detrás de la intersección de los pares o cabios de lima tesa está la armadura o cuchillo principal, en que se apoyan aquéllos. Dicha armadura

Cubierta de correas con puentes y dos órdenes de postes



Tornapuntas con más de 35° de pendiente

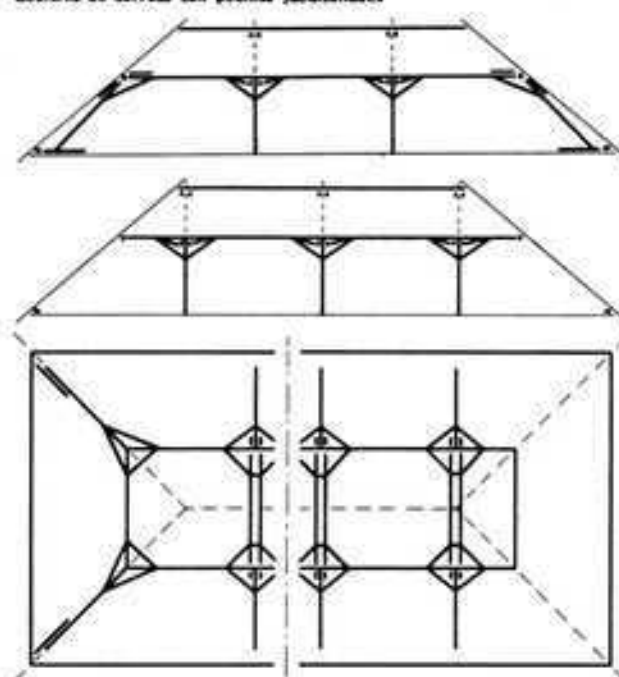


Peligro de resquebrajamiento

puede estar formada por un par de cabios con poste central de apoyo o como un verdadero cuchillo triangulado. Entre las dos armaduras principales se distribuirán las demás armaduras a lo largo de la cubierta, en el número que sean necesarias. Establecida esta base se pasa a la distribución de las vigas del desván, o a la formación de un piso macizo.

Las carreras de pared o correas de alero que dan la vuelta a todo el perímetro, se sujetan en los muros longitudinales con clavijas o llaves a los extremos de las vigas del desván en que descansan.

Cubierta de correas con puentes jabalconados



Antigua construcción con tornapuntas de lima tesa y jabalcones de arriostamiento. Mal.



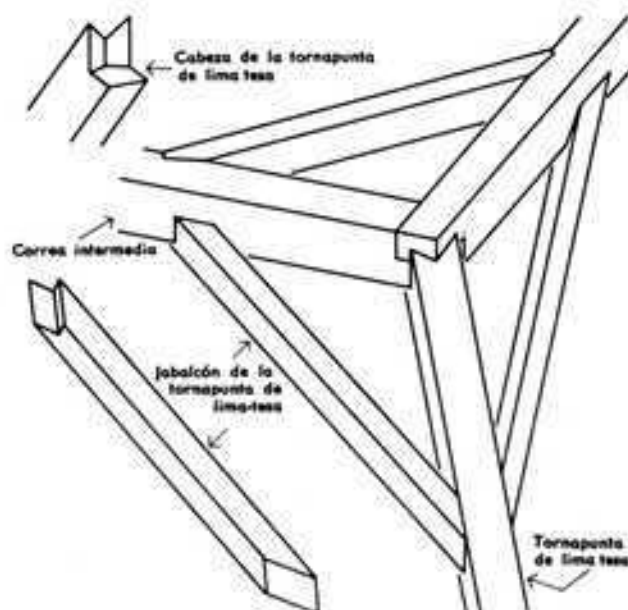
Construcción con armaduras principales en los extremos de la cumbrera; mejor.

san, según se hace corrientemente. En los frentes de los faldones, esas correas soleras se hacen descansar sobre canchillos colocados de través sobre la pared y ensamblados a la última viga del desván. Además se sujeta al muro con anclajes espaciados 1.20 m como máximo. En las esquinas se ensamban las correas de alero a media madera. Sobre estas esquinas y sobre los cantos de la testa de la correa de cumbrera se apoyan con encajes los pares o cabios de lima tesa. En las cubiertas con tres filas de postes y en las de cuchillos y correas, los pares de lima tesa se apoyan también en las esquinas de una corona de correas intermedias.

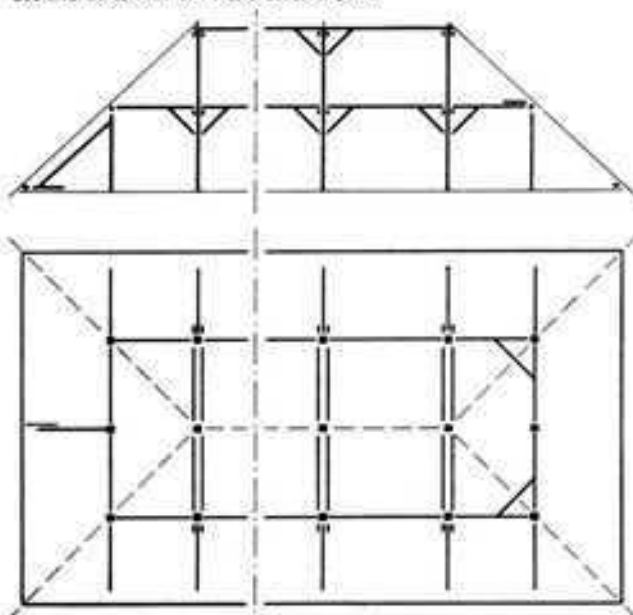
Los pares de lima tesa dan apoyo superior de los cabios cortos del faldón. Estos cabios cortos, de longitud variable, se apoyan a tope sobre los pares de lima tesa, a los que se adaptan cortándolos oblicuamente en la forma adecuada, y luego se clavan. Así pues, estos apoyos no pueden admitir cargas, sólo esfuerzos horizontales que los hagan trabajar, para su contrarresto, como estructura apuntalada.

Es, pues, necesario reforzar esta unión con bridas angulares de chapa que asienten en los flancos del cabio corto y del par de lima tesa, siendo además conveniente que en el par de lima tesa coincidan los cabios cortos con los de la vertiente, para el contrarresto de los empujes, y poder utilizar los mismos pernos para la sujeción de las bridas angulares de chapa de uno y otro cabio. Sus dimensiones, sin embargo, no se calculan tanto a base de sus cargas como a base de las siguientes circunstancias: Por una parte, los cabios deben adaptarse, según toda la superficie de su sección, al par de lima tesa, y por otra es necesario que el enlustrado de la cubierta asiente bien y pueda clavarse sin dificultad sobre dichas piezas. En tal caso, al par de lima tesa tienen que achafallarse las aristas de su cara superior total o parcialmente y de acuerdo con el ángulo diedro que formen las dos superficies de la cubierta. La forma exacta de la sección del par de lima tesa se determina a posteriori mediante plantillas tomadas en la obra.

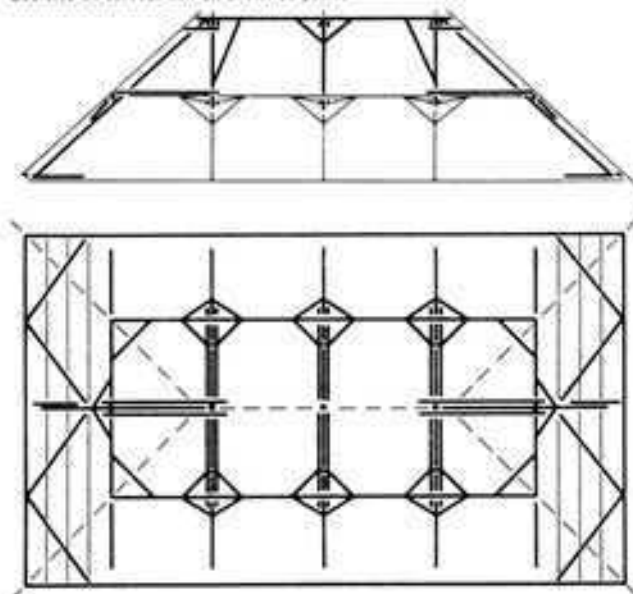
El cabio central del faldón, también llamado "par de faldón", ha de concurrir al punto de unión de los dos pares de lima tesa, ensamble que sería muy complicado, por lo que se suele disponer un pequeño brochal entre los dos pares de lima tesa para



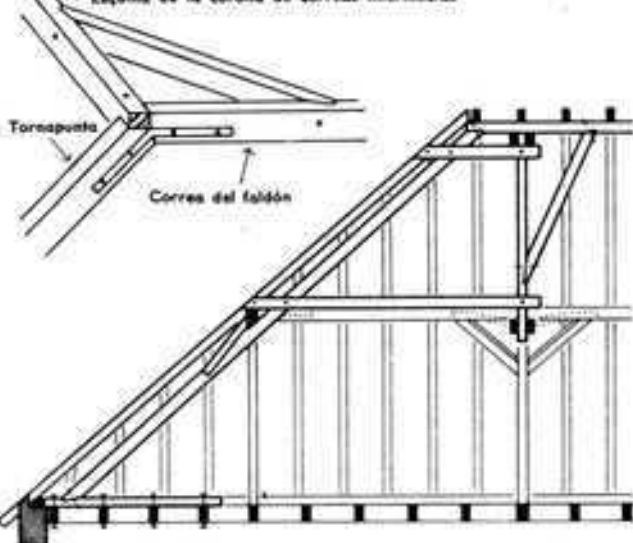
Cubierta de correas con tres órdenes de postes



Cubierta de correas con un orden de postes



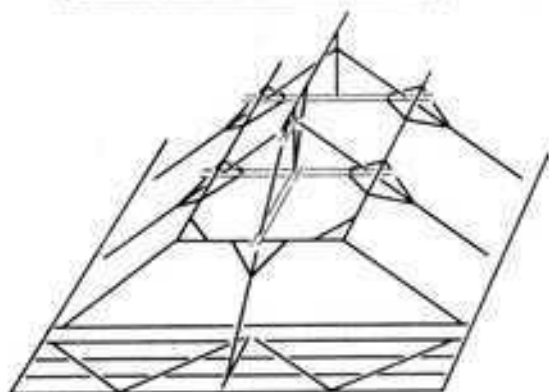
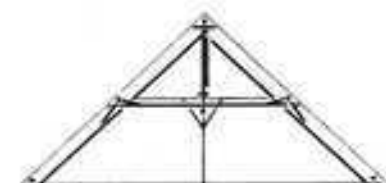
Esquina de la corona de correas intermedias



ensamblar en su punto medio el par de faldón. Si en el caso de aleros muy salientes quiere mantenerse la equidistancia entre los extremos inferiores de las péndolas hasta llegar al pie del par de lima tesa, habrá que oblicuar por lo menos el último cable, a fin de que le quede todavía un brazo de palanca suficientemente largo para fijarlo en el par de lima tesa.

Arriostramiento longitudinal de las cubiertas de correas con faldones

Al contrario de lo que sucede en las cubiertas a dos aguas, en las cubiertas a cuatro aguas, por su misma construcción, todas las correas se hallan permanentemente solicitadas por fuerzas longitudinales, incluso sin ser sometidas a fuerzas horizontales del viento. Los faldones mejoran la rigidez longitudinal de la cubierta, con la condición, sin embargo, de que correas y cables no vean interrumpida su continuidad. Esta circunstancia debe ser tenida ya en cuenta al hacer el proyecto. La disposición de

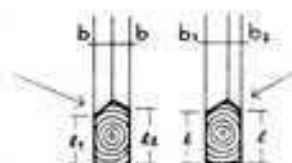


las chimeneas puede ocasionar, en tal caso, muchas dificultades. Si estas últimas no son eliminadas y resueltas ya en la distribución de la planta se procura solucionarlas desplazando las correas o introduciendo desviaciones en las chimeneas. Los faldones deberían siempre estar libres de chimeneas.

En las cubiertas de correas con faldones, donde están mejor las chimeneas es en los costados longitudinales de la cubierta, detrás de las armaduras principales y tan cerca de la correa de cumbrera como se pueda.

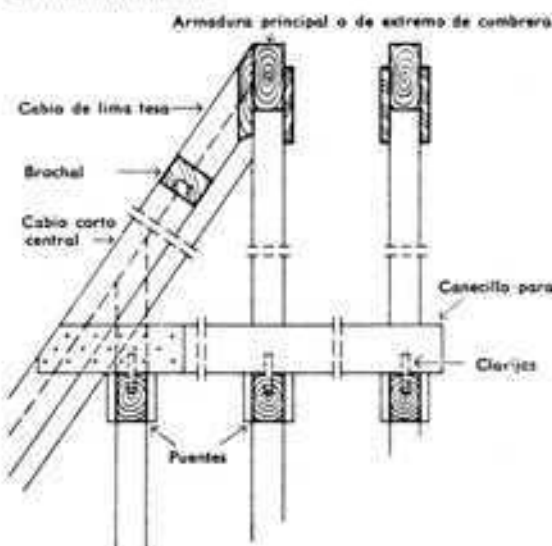
Si hay que abrir una ventana de buharda de grandes dimensiones en el faldón, debe colocarse en el centro. Sólo en faldones muy extensos puede consentirse en desplazarla algo de la línea media. A fin de lograr una buena cooperación de los arriostramientos longitudinal y transversal en los diferentes tipos de armazones de cubierta, debe darse ante todo mucha importancia a la posición más favorable de los cuchillos o armaduras. En la cubierta de correas con una fila de postes y faldones, lo mejor es colocar el primero y el último postes bajo los extremos de la cumbrera. Estos dos postes no necesitan jabalcones de arriostramiento, pues los pares de faldón actúan como torreapuntas. Unos jabalcones colocados en una sola cara de los postes y según el plano longitudinal de la cumbrera servirán para acortar

Cable de lima tesa
centrado
Caras verticales de
diferente altura.



Cable de lima tesa descentrado
Caras verticales de igual altura

CORTE LONGITUDINAL



CORTE TRANSVERSAL

Abatimiento del cable
de lima tesa

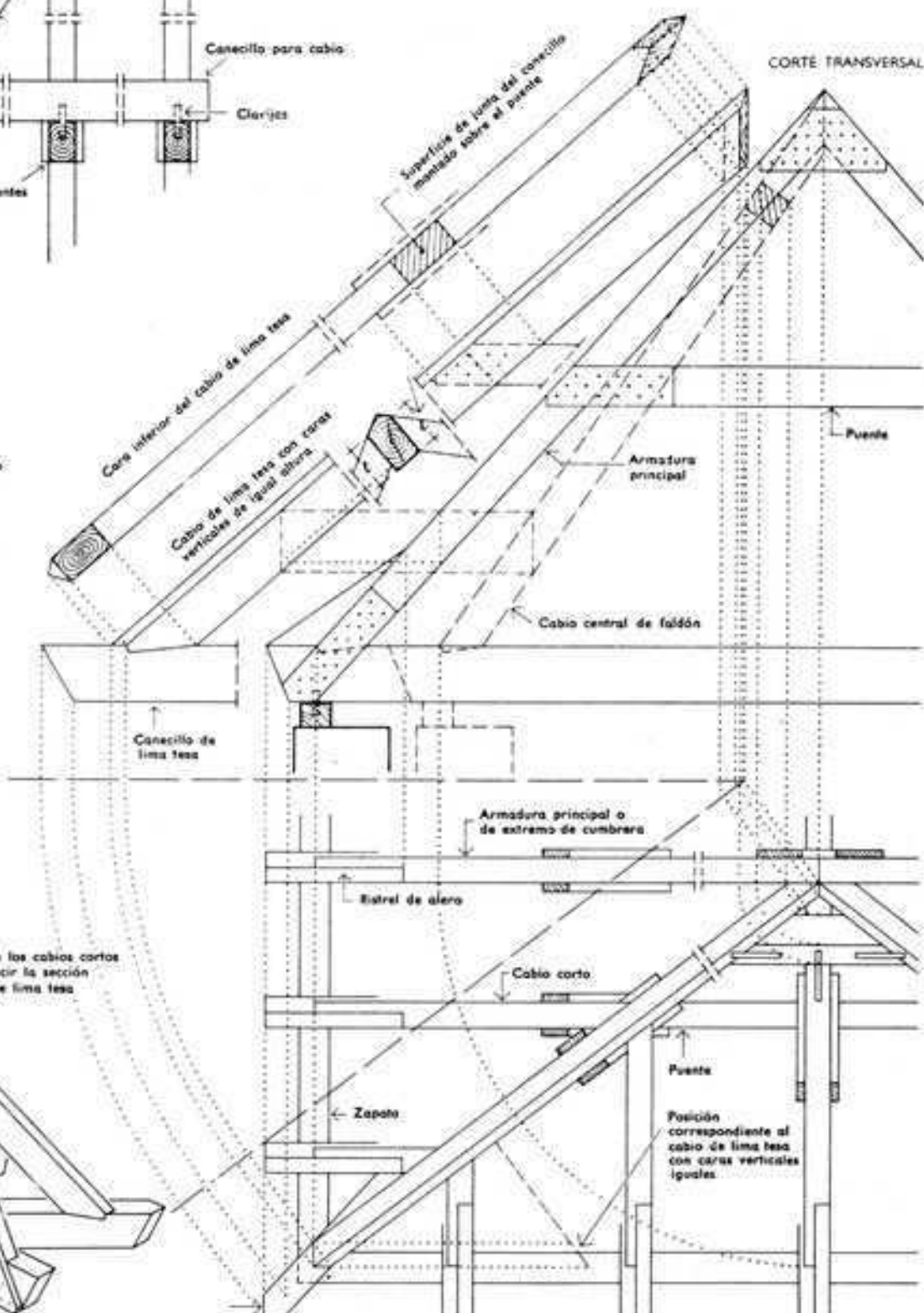


Encaje sencillo del
cable de lima tesa
en los cables cortos

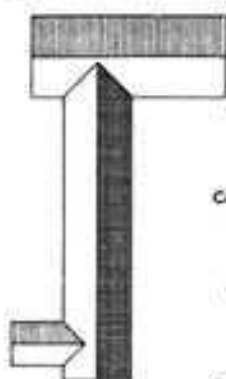


Encaje reforzado

Los encajes de los cables cortos
permiten reducir la sección
del cable de lima tesa



CUBIERTAS COMPUESTAS

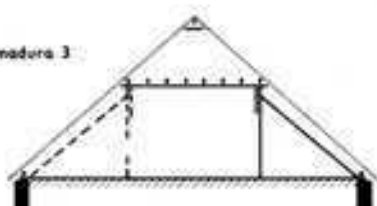


Correo intermedia
Correo de cumbrera
Correo intermedia
Correo de alero

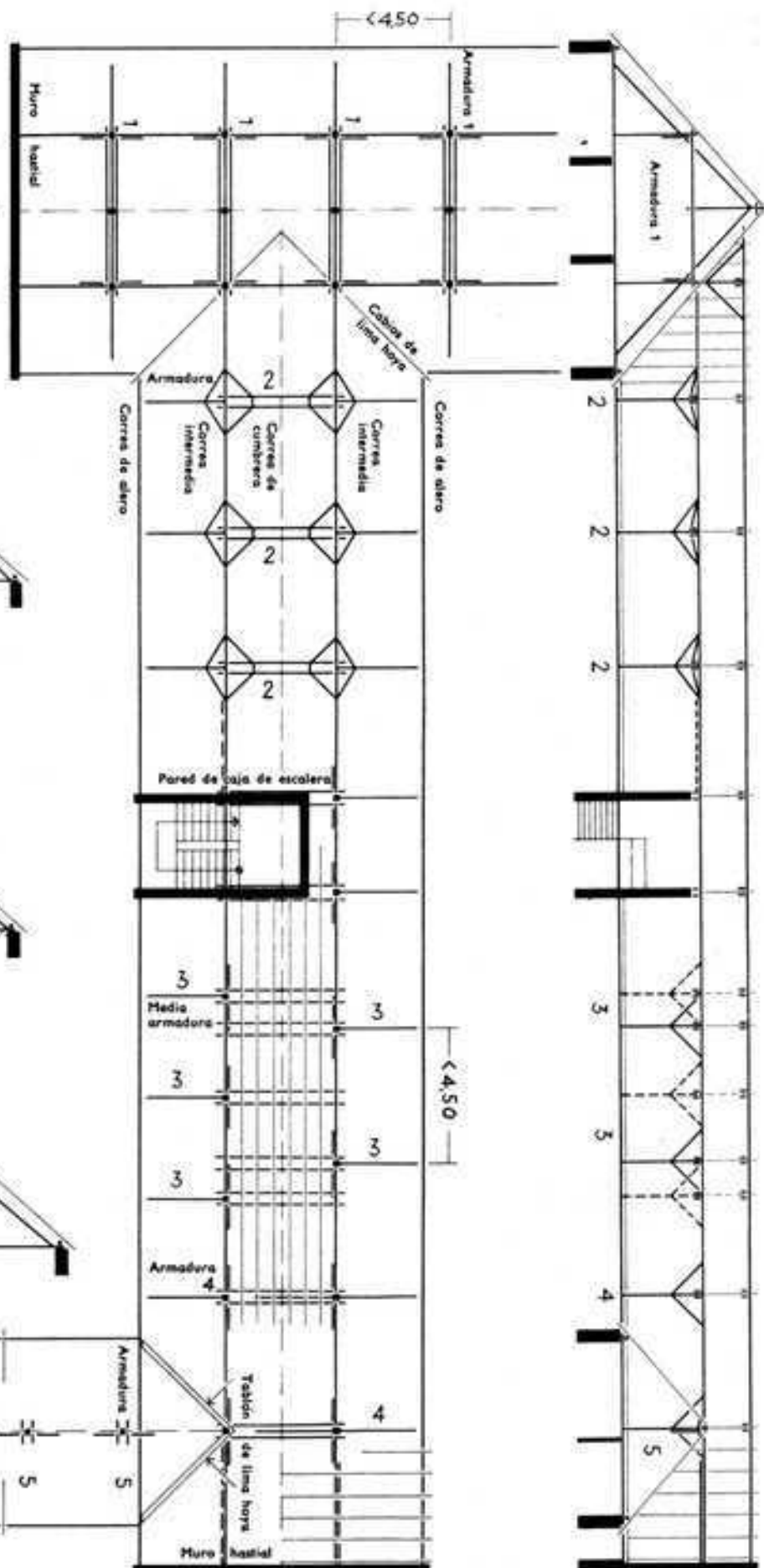
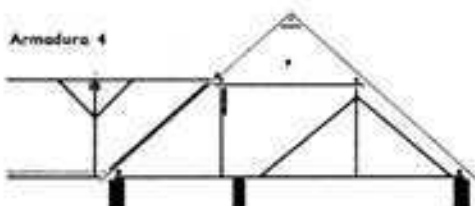
Armadura 2



Armadura 3



Armadura 4



tuir el apeo de los pies derechos de esquina por el de los postes intermedios debajo de las correas del faldón. Es más sencillo y más eficaz renunciar a todos los apuntalamientos y enlazar con cuadrales horizontales las correas del faldón con las correas longitudinales y formar así una corona en forma de bastidor con todas las correas intermedias y los cuadrales del refuerzo e indeformabilidad de los ángulos de las esquinas. Si existe un envigado de arriostramiento longitudinal que llegue hasta las correas de los faldones, son innecesarios los arriostramientos horizontales de las correas de faldón. También en la cubierta de correas a cuatro aguas con puentes, tornapuntas y pendolones se apean los ángulos de la corona de correas intermedias y las correas de faldón en lo posible, lo mismo que en la armazón de dos filas de postes y pendolones.

Sin embargo, si es necesario seguir las reglas del sistema de la armazón apuntalada en la totalidad de la estructura, puede escogerse el siguiente modo de ejecución: La corona de correas intermedias se apuntala en las esquinas por medio de tornapuntas que, en unión con las correas del faldón, forman una estructura doblemente apuntalada. También se dispone una tornapunta central de faldón para el apeo de las correas del faldón por su punto medio. Dicha tornapunta se ensambla a espera con la correa cumbre reforzando la unión con pernos o tornillos. En esta forma se obtiene una estructura apuntalada, que mejora al mismo tiempo la rigidez longitudinal de todo el cuerpo de cubierta.

Los pies de las tornapuntas de faldón se apoyan ensamblados a espera sobre traviesas colocadas sobre las vigas y que abarcan, por lo menos, tres tramos del envigado ligando fuertemente traviesas y vigas. Para la transmisión del empuje de las tornapuntas a las paredes longitudinales del edificio sería necesario que las vigas afectadas tuviesen sección cuadrada.

Sin embargo, es mejor y más adecuado hacerlas de la misma escuadría y ligarlas por medio de tabloncillos colocados diagonalmente, para formar una estructura de celosía horizontal. La armadura correspondiente al extremo de la cumbre está formada por un par de cabios. En cambio, la armadura principal (o primer cuchillo) queda retrasada aproximadamente en la distancia de un cabio del punto extremo de la cumbre, lo suficientemente lejos para que al hacer la ensambladura a espera para la tornapunta longitudinal quede todavía madera de seguridad en longitud suficiente hasta el pendolón de la primera armadura. El cabio central del faldón y la cabeza de la tornapunta se aprisionan en un cepo que las enlaza con el pendolón del primer cuchillo. La correa del faldón se apoya sobre la tornapunta del mismo

(lo mejor es apoyarla sobre un ejón clavado, pues entonces no hace falta debilitar la correa) y se sujeta mediante jabalcones giratorios. Un cepo por encima de la correa del faldón enlaza la tornapunta con el pie del primer pendolón; éste se apuntala, para dar un arriostramiento horizontal eficaz a la tornapunta de faldón contra la correa cumbre.

Cubiertas de cabios y puentes con faldones

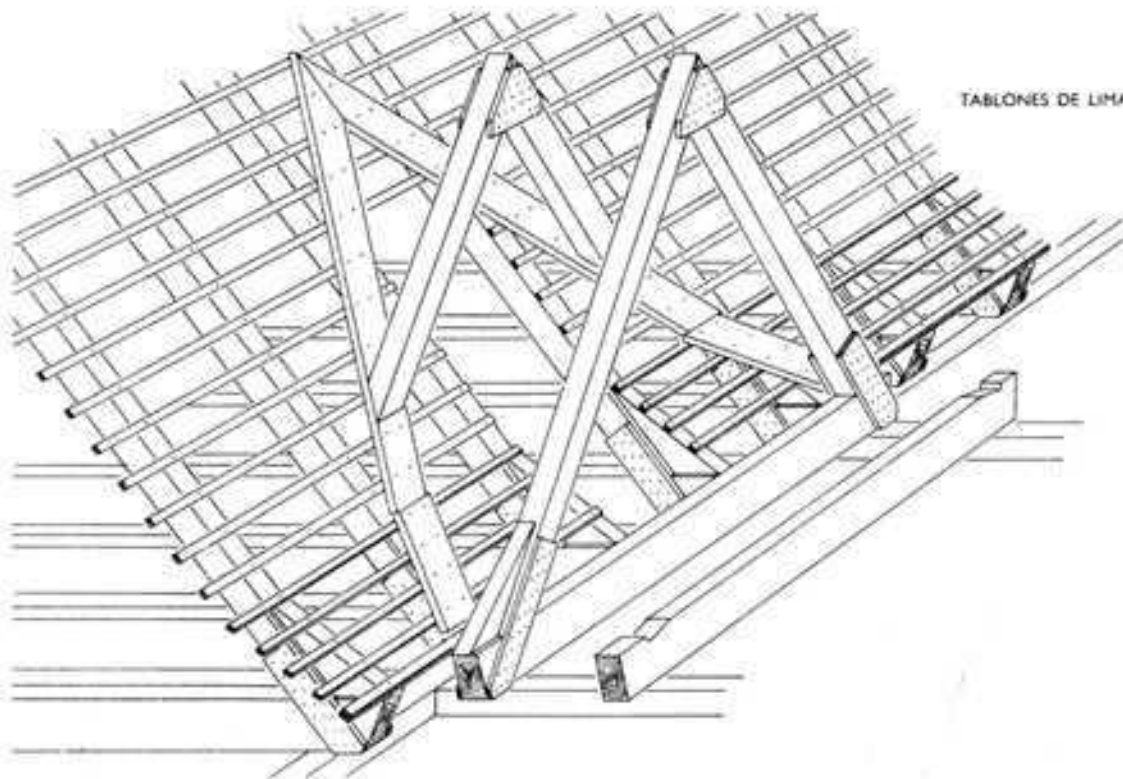
Si hay que construir cubiertas a cuatro aguas con armazón de cabios y puentes, es necesario que se determine de antemano la distribución de las vigas. El apoyo de los pies de los cabios del faldón se efectúa en unos canecillos ensamblados a caja y espiga y con bridas de fleje a la última viga del desván. Para el apoyo de los pies de los cabios de lima tesa se coloca sobre la esquina un canecillo oblicuo. El apoyo por la parte media de los cabios de lima tesa y de faldón se da con vigas voladas, apoyadas, por lo menos, en tres puentes, a los que se enclavijan o emperran. En la cubierta de cabios y puentes a cuatro aguas, dado que no sobresalen en los aleros los extremos de los cabios para formar las cornisas o los aleros, se disponen cornisas de vigas o de cajas y a los faldones se les da mayor pendiente que a las otras vertientes, lo cual da mejor aspecto a obras que hubieran tal vez parecido de longitud demasiado escasa.

Los cabios de lima tesa ya no forman entonces entre sí ángulos rectos, como en las cubiertas de correas, sino ángulos más o menos obtusos. A causa de que el saliente de la cornisa ha de ser uniforme todo alrededor del edificio, es necesario que el canecillo de apoyo del cabio de lima tesa se haga girar hacia afuera del plano de dicho cabio. La acodadura que se forma no se nota prácticamente, una vez colocado el recubrimiento con tejas de caballete en la lima tesa.

En las nuevas construcciones con extremos salientes de los cabios, los faldones se tratan lo mismo que en el tipo de correas.

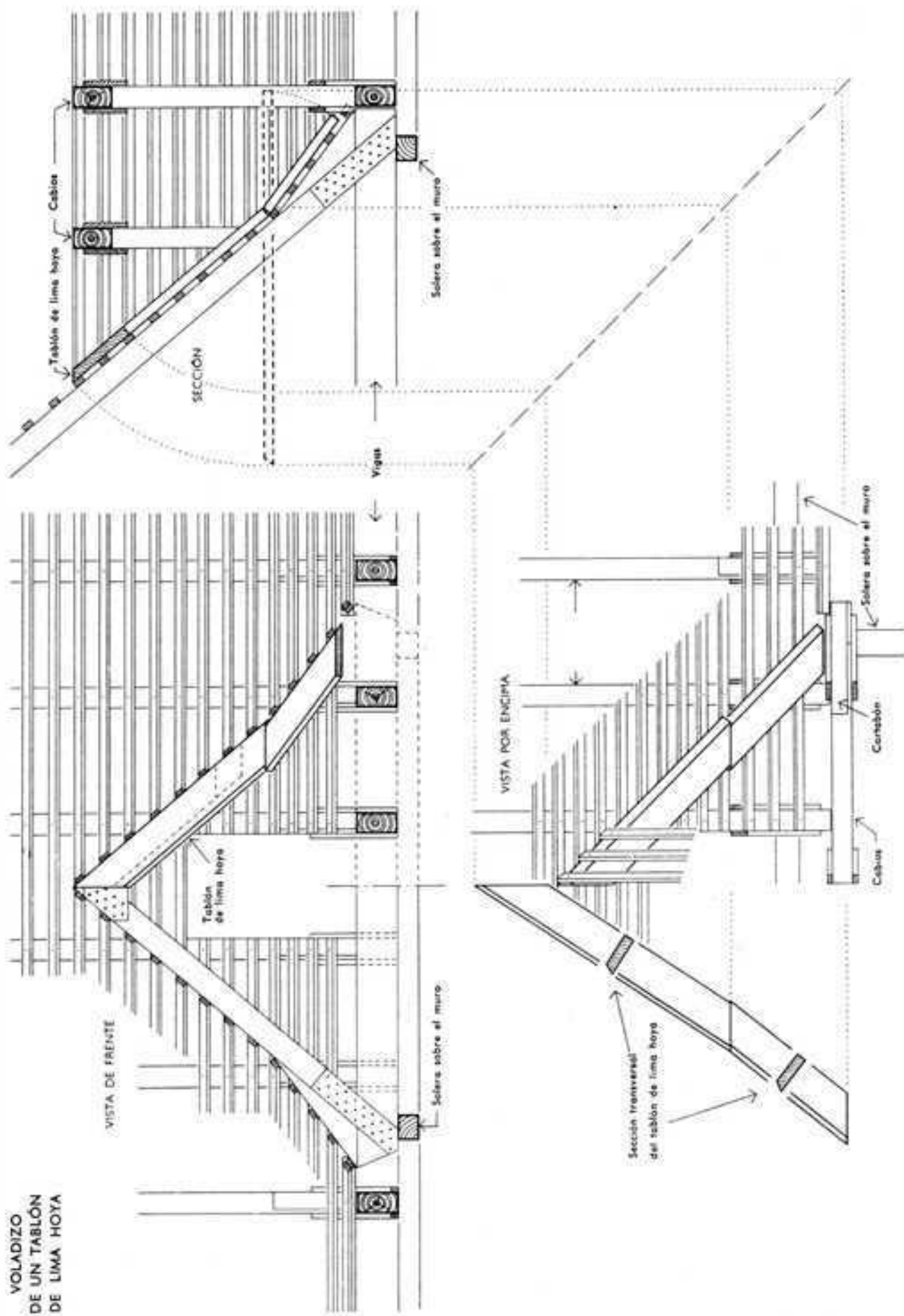
Cubiertas compuestas

Actualmente disponemos nuestras cubiertas de la manera más sencilla y clara posible, sin desvanes habitables y evitando combinaciones y encuentros. Sin embargo, en muchos casos, sobre todo en grupos de edificios en que el alero continúa de unos a



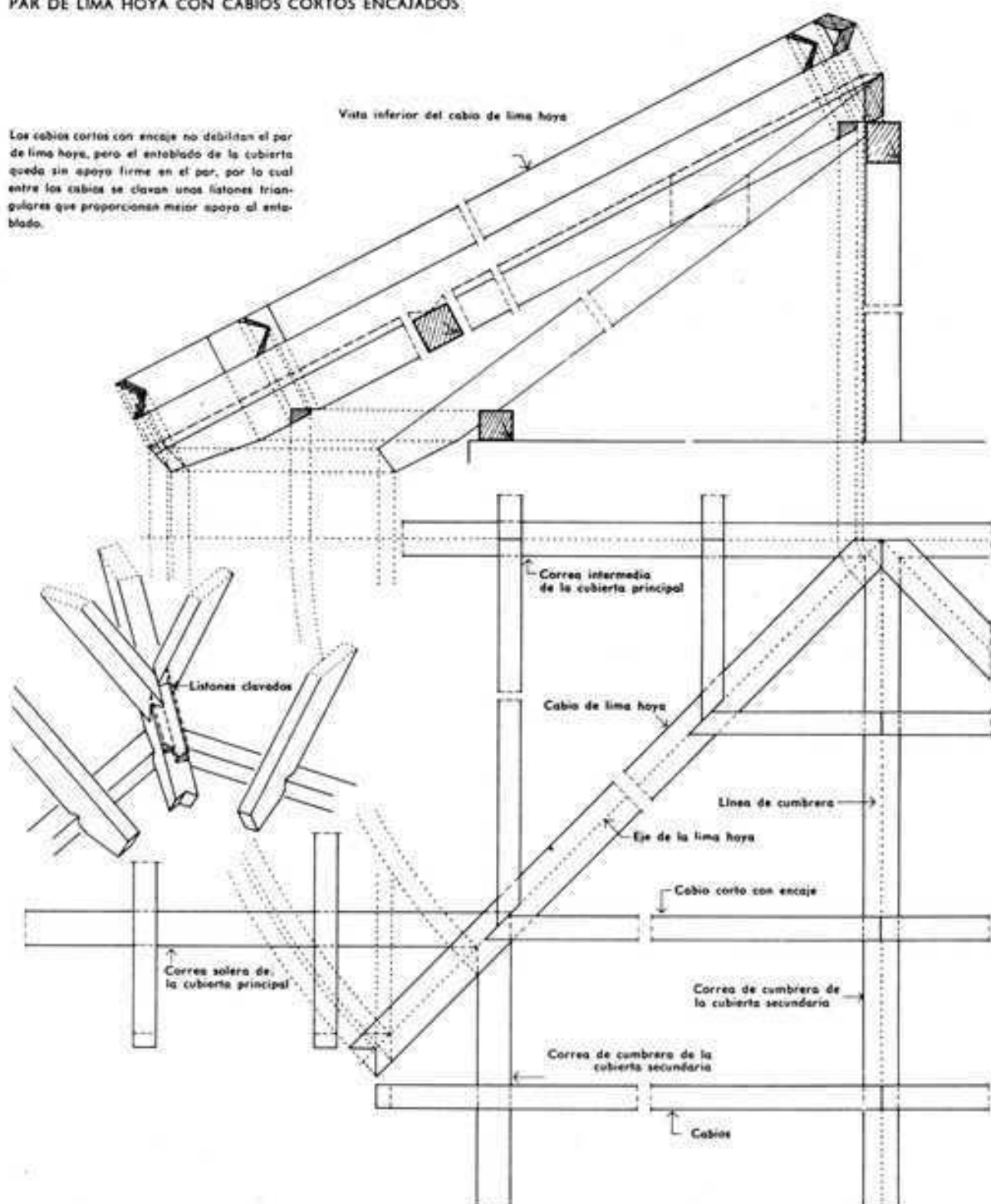
TABLONES DE LIMA HOYA

**VOLADIZO
DE UN TABLÓN
DE LIMA HOYA**



Los cabios cortos con encaje no debilitan el par de lima hoya, pero el entablado de la cubierta queda sin apoyo firme en el par, por lo cual entre los cabios se clavan unos listones triangulares que proporcionan mejor apoyo al entablado.

Vista inferior del cabio de lima hoya



otros, no es posible prescindir de la cubierta compuesta. En las penetraciones de cubiertas de correas se parte de una pendiente uniforme para todo el grupo, con objeto de lograr en él una línea de base continua para todas las cubiertas.

Un problema de esta clase se puede solucionar como sigue: Se empieza por determinar las cubiertas por las cumbreras, limas tesas, limas hoyas y aleros.

Luego se proyectan los cuchillos o armaduras necesarios teniendo en cuenta la conducción de las cargas al suelo. Al disponer y distribuir las líneas de las correas se procura que en lo posible

queden a igual altura tanto en las cubiertas principales como en las secundarias, con objeto de lograr una buena trabazón de todos los elementos resistentes y de arriostramiento de las armaduras de cubierta. Por ejemplo, se puede escoger, para una nave o cuerpo de edificio principal ancho, una armazón con tres filas de postes o con armaduras y enlazar sus correas intermedias con las de una armazón con dos filas de postes para una nave más estrecha. Las correas, en esta forma, pueden quedar a igual altura o apoyarse unas en otras. Si esto no puede conseguirse de una manera completa, se recurre a la intercalación de

una pieza de relleno, en la cual se fijan con tornillos las correas. En todo caso, sin embargo, es necesario establecer un arriostramiento longitudinal continuo que enlace todas las armazones agrupadas.

Una vez repartidas y ordenadas las líneas de correas se pasa al reparto de las armaduras o cuchillos estableciendo y teniendo en cuenta naturalmente los necesarios embrochados para chimeneas, escaleras de acceso a los desvanes, construcción de éstos para hacerlos habitables, etc. Los cuchillos o armaduras de cada uno de los cuerpos de edificio, no es necesario que sean del mismo tipo; es decir, no es necesario que sean, p. ej., todos del tipo con tornapuntas o del tipo con postes. Hay ocasiones en que es conveniente incluso una variación de los tipos de armaduras dentro del mismo cuerpo de edificio.

Una vez distribuidas las armaduras puede hacerse ya la repartición de las vigas del desván. Si se ha pensado construir un piso macizo se procede también en igual forma disponiendo fajas de refuerzo, de hormigón prefabricado, etc. Después, se pasa a la distribución de los cabios.

Si en lugar de una cubierta de correas se adopta el tipo de cabios y puentes, se tendrá la libertad, gracias a la diversa forma de la base de la cubierta y de las cornisas, de dar a las vertientes y a los faldones diferentes pendientes.

En el encuentro o unión de dos cubiertas se producen limas hoyas que pueden tratarse en dos formas distintas. Cuando se trata del encuentro de construcciones pequeñas cuyo desván no necesita ser practicable en toda su sección transversal se recurre al sistema de las limas hoyas de tablón. Sobre los cabios de la cubierta principal que se prolongan hasta el mismo alero se clavan tableros que marquen el perfil de la cubierta pequeña. Sobre esos tableros vienen a apoyarse los cabios cortos de la cubierta aneja.

Si el desván de la cubierta adjunta ha de quedar completamente despejado y accesible en todas sus partes, se hace necesaria la construcción con pares de lima hoyo.

En tanto que los pares de lima tesa quedan apoyados por los cabios cortos, los pares de lima hoyo han de soportar la carga de los cabios cortos; es necesario, por consiguiente, darles una escuadría más fuerte. Según sea mayor o menor la pendiente de las cubiertas, las limas hoyas son más o menos abiertas y podrán emplearse también, según el caso, los cabios cortos con encaje en su extremo. Estos cabios con encaje suelen ser más ventajosos, porque la sección resistente del par de lima hoyo siempre queda algo debilitada por la acanaladura. El apeo de las correas que carguen sobre el par de lima hoyo se lleva a cabo por medio de un pie derecho o una tornapunta.

El extremo superior de los pares de lima hoyo, cuando es posible, se hace descansar sobre una correa de la cubierta principal o sobre dos cabios que lo apuntalan.

Tendencias en el desarrollo de las cubiertas para las casas de viviendas

Para las casas que tienen las profundidades usuales de 9-10 m, cuando no hay sotabanco pero se quiere que el desván sea practicable por lo menos en su zona central, se eligen para la cubierta pendientes de 22-25°. En estos casos la cubierta de cabios, tanto por el ensamblaje como por el montaje, es la más sencilla y la más económica.

Cuando la profundidad de las casas crece hasta 11, 12, 13 m, por ser mayores las longitudes de los cabios, resultan más económicas las cubiertas de correas (con correa central).

Además de la cantidad de madera tienen cada vez mayor importancia los costes de los trabajos de ensamblaje y de montaje. Mientras, por ejemplo, entre 1967 y 1974 los precios de la madera han aumentado en aproximadamente un 60 %, los precios de los salarios han aumentado en Alemania durante el mismo tiempo en aproximadamente un 120 %, con lo cual la relación de precios entre 1 metro cúbico de madera de construcción y un metro lineal de ensamblaje se ha desplazado hacia el lado de los salarios. Las estructuras de cubierta con pequeñas longitudes de ensamblaje son ventajosas respecto a las que tienen longitudes mayores. También influye en el precio del ensamblaje el que el trabajo sea más complicado o más sencillo.

Para averiguar cuál es en cada caso la mejor solución constructiva y económicamente, muchas veces no hay más remedio que hacer una exacta comparación de precios. A mitades de la década de los 70 la relación de precios entre 1 metro cúbico de madera y 1 metro lineal de ensamblaje está aproximadamente entre los valores 1:60 y 1:80.

Cuando se quiere que la armazón de la cubierta contribuya al aspecto de los locales y por lo tanto se dejan visibles las piezas de madera y sus ensamblajes, lo que debe decidir no es el precio sino que la estructura y su aspecto sean estéticamente satisfactorios. Y casi siempre ocurre este fallo en las estáticamente insuficientes armaduras tradicionales. "mejoradas", esto es, provistas de elementos auxiliares de ingeniería tales como tabillas clavadas, etc.

Un efecto contrario producen las modernas construcciones ingenieriles en madera, que también resultan muy consecuentes y satisfactorias por su aspecto. Además abren nuevos campos visuales y estéticos.

Cubiertas industriales de gran luz

Antes de tratar con detalle de las armaduras, cerchas o cuchillos, es oportuno poner en claro lo relativo a su campo de aplicación y sobre todo a los problemas que generalmente plantea su estructura constructiva.

Para estas consideraciones da lo mismo que se trate de madera, como de acero o de hormigón armado.

En tanto que las armaduras de madera van bien para luces moderadas y para cubrir construcciones estables divididas en locales múltiples, las armaduras o cuchillos industriales son necesarios para cubrir grandes luces en tinglados o hangares de una sola nave.

El progreso y la evolución en la construcción de grandes cubiertas no están aún terminados. En época reciente, la construcción de cubiertas-cáscaras, de emparrillados y de cubiertas suspendidas le ha dado nuevo impulso.

Un estudio de todos los sistemas de cubiertas industriales en detalle se saldría del marco de este tratado. Aquí sólo se expondrá detalladamente el caso "normal" de grandes naves con estructura de cubierta sobre pilares o paredes exteriores, que satisfacen las necesidades corrientes, y también variables, de la industria, el consumo o el tiempo libre. Sin embargo, como introducción presentaremos los sistemas de cubierta fundamentalmente posibles en la construcción de edificios en forma de grandes naves.

Estructura constructiva de las naves y tinglados con sistemas de cerchas de viga llena y de celosía

En los casos más sencillos las naves construidas según estos principios constan sólo de las paredes exteriores y de la cubierta. Al principio, las paredes exteriores fueron construidas como muros aislados y para asegurarles una estabilidad suficiente tenían que hacerse de un grueso considerable. Hasta la Edad Media, el sistema más económico fue el reforzar la pared por medio de pilares adosados. Más tarde, la necesidad de más iluminación hizo recurrir al empleo de pilares aislados, primero con formas pesadas y macizas y más tarde con formas compuestas favorables a la rigidez. Las armaduras de la cubierta fueron apoyadas sobre las paredes o pilares con articulaciones. Actualmente, a fin de hacer posibles posteriores modificaciones y muchas veces incluso una ampliación en todas las direcciones, se consideran por separado la estructura sustentante y los elementos de cerramiento. Estos edificios se componen de unas filas de pilares debajo de la estructura de la cubierta, de unas paredes divisorias y otras de cerramiento, y del material de cubrición. Sólo las estructuras laminares (estructuras cáscaras) pueden cumplir a un mismo tiempo las funciones de cerramiento y sustentación.

La estructura o esqueleto principal resistente tiene que soportar todas las cargas que afecten la obra y por sus cimentaciones

transmitirlas al terreno firme. Entre estas cargas figuran: el peso propio de la armazón resistente, el peso del revestimiento de la cubierta con el entramado que le da apoyo, la carga de la nieve, la presión del viento sobre la cubierta y las paredes exteriores, así como los aparatos elevadores, máquinas e instalaciones que ejercen fuerzas verticales u horizontales.

La estructuración de la armazón resistente parte del principio de las construcciones tridimensionales a base de planos rígidos. Según la misión que desempeñan en la obra se diferencian en planos de paredes, planos de cubierta (o de techos) y cuchillos o armaduras. Tales planos pueden ser llenos o de celosía. Los planos llenos pueden ser de obra de fábrica, de hormigón armado, de madera o de acero. Entre los de celosía se distinguen los de nudos articulados o verdaderas celosías y los de nudos rígidos, denominados pórticos o marcos.

Se construyen de madera, acero u hormigón armado. Los planos de cubierta más o menos inclinados y las cargas que sobre ellos gravitan son soportadas por los planos verticales que constituyen las armaduras o cuchillos y que dividen el local en tramos o crujeas, casi siempre iguales. Estos elementos principales de la estructura resistente quedan afianzados por los planos longitudinales que forman las paredes, o por parte de ellos, y por el arriostramiento longitudinal de la armazón de la cubierta. Una estructura resistente de esta clase presenta un claro conjunto de planos que se entrecruzan en ángulo recto. Es de montaje y desmontaje relativamente fácil y tanto en dirección longitudinal como en dirección transversal puede ser ampliada; en el primer sentido, continuando el número de tramos y, en el segundo, por medio de naves laterales de mayor o menor altura, de manera que la obra se acomode a las necesidades de la industria, donde, con frecuencia, hay que contar con modificaciones constructivas. Para la comprobación de su estabilidad y para el cálculo de sus dimensiones se acostumbra estudiar cada plano por separado con el fin de poder especificar en forma relativamente sencilla las tensiones y desplazamientos de la estructura resistente. Sin embargo, la cooperación tridimensional de todos los planos del sistema es de importancia primordial, aun cuando el cálculo estático de las estructuras resistentes, según la teoría de los sistemas pluridimensionales, quede circunscrito a problemas constructivos especiales (obras reticuladas en forma de pirámides, bóvedas de cañón o cúpulas y obras poliédricas de entramado).

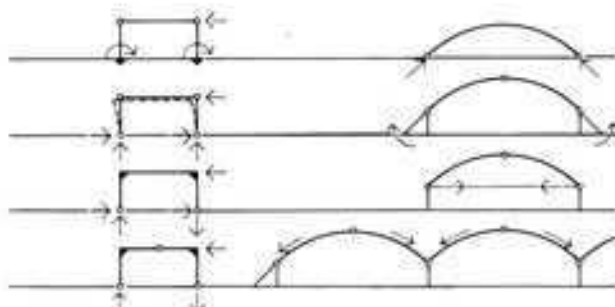
Armaduras sobre apoyos pendulares

Esta armazón resistente es un sistema estáticamente determinado y su estabilidad deriva exclusivamente de la cooperación tridimensional de barras o planos unidos mediante articulaciones. Los apoyos pendulares admiten de las armaduras únicamente cargas verticales de compresión; todas las fuerzas horizontales y oblicuas son transmitidas, en parte directamente a los cimientos de los apoyos, y en parte también, por medio de una viga horizontal, a planos verticales transversales, que las conducen al terreno firme. Frecuentemente basta organizar los hastiales como planos transversales; en las naves muy largas, en caso necesario, se dispondrán pórticos, planos de entramado o cierto número de paredes transversales intermedias. El plano horizontal de arriostramiento transversal, en el caso de armaduras triangulares, suele disponerse a la altura de los tirantes como viga de celosía "acostada" y comprendiendo entre sus cordones toda la anchura del edificio. Si las distancias entre los arriostramientos transversales no son muy grandes, lo que equivale a luces moderadas entre apoyos para la viga horizontal de arriostramiento es factible dar menor "altura" a ésta sin que llegue a abarcar toda la anchura del local. En las cubiertas con muy poca pendiente, cuyas armaduras son vigas de celosía, se dispone también la viga horizontal de arriostramiento en el plano de los cordones superiores. Este arriostramiento alto asegura los cordones superiores contra el pandeo y tiene la ventaja de dejar mayor altura libre en el local, que permite con facilidad posteriores instalaciones. Cuando se emplea un revestimiento rígido de cubierta (p. ej. hormigón armado), disponiéndolo debidamente, puede hacer las veces de arriostramiento horizontal.

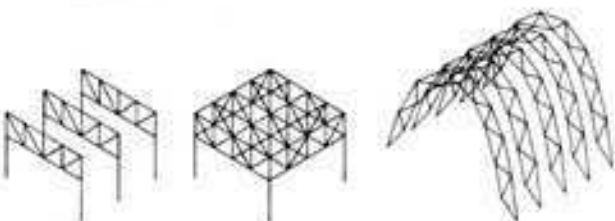
Las fuerzas horizontales que actúan sobre los muros pilones son soportadas en todo caso por vigas, que apoyan horizontalmente el frontón y envían, por medio de los planos o lienzos de pared longitudinales, dichas fuerzas al terreno de cimentación.

DIFERENTES TIPOS DE ESTRUCTURAS DE CUBIERTA

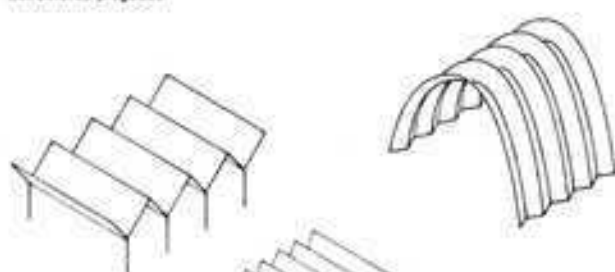
Sistemas que actúan por su masa.
Estructuras a base de vigas



Sistemas que actúan por descomposición de fuerzas.
Entramados de barras

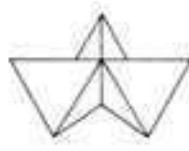


Sistemas que actúan por su superficie.
Estructuras plegadas



Pliegues
lineales

Con
curvatura



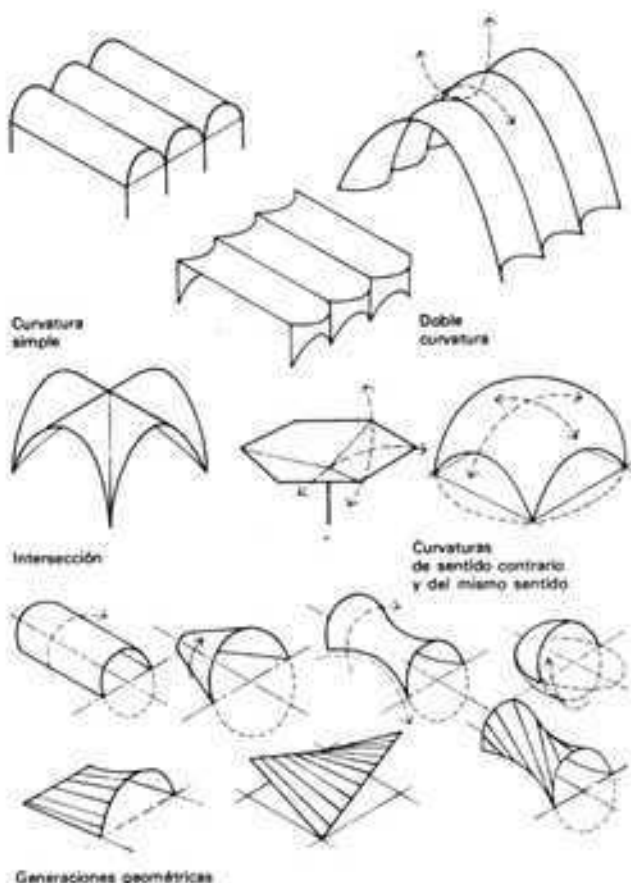
Interpenetraciones



Pliegues
prismáticos



Estabilización de los pliegues
mediante tirantes de cables o estribos



Apoyo interior

Es una derivación del sistema de cables. La membrana es una red de malla muy tupida formada por cables meridianos resistentes y cables anulares horizontales de estabilización. Debido a la concentración de esfuerzos en el punto de apoyo de la membrana se disponen en este punto unos ensanchamientos (superficies convexas).



Apoyos exteriores

Alternancia estabilizadora de puntos altos y puntos de anclamiento



Es un local sin apoyos interiores, con la cubierta sostenida por la periferia. Mediante apoyos a través de cables de anclamiento son posibles apoyos elevados interiores que producen una estabilización adicional.



También se pueden construir locales sin apoyos interiores mediante arcos o por suspensión a unos cables exteriores.

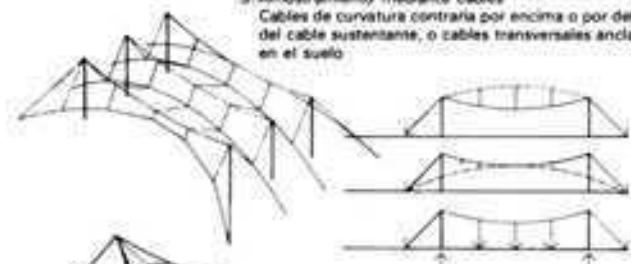


SISTEMAS QUE ACTÚAN POR SU FORMA: ESTRUCTURAS FUNICULARES

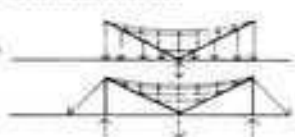
Estabilización de los cables contra la succión del viento, las oscilaciones y las cargas móviles mediante:



1. Gran peso del material de cubierta;
 2. Rigidización por nervios o bóvedas laminares invertidas
 3. Anclamiento mediante cables
- Cables de curvatura contraria por encima o por debajo del cable sustentante, o cables transversales anclados en el suelo



Cables sustentantes
Cables estabilizadores



Transmisión de esfuerzos por el contorno mediante una red de cables estabilizados. Cables, vigas o arcos perimetrales

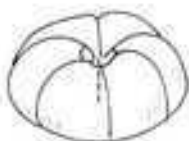
SISTEMAS QUE ACTÚAN POR SU FORMA: ESTRUCTURAS NEUMÁTICAS

Cubierta neumática

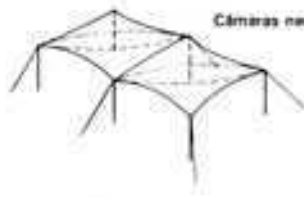
La sobrepresión del aire interior produce unas tensiones en la membrana uniformemente repartidas y la estabiliza contra la deformación



Mediante cables de atirantamiento interior o mediante cables de sujeción exterior pueden reducirse el volumen de la membrana, su tensión y las fuerzas de anclaje



Cámaras neumáticas



La sobrepresión y los anclajes estabilizarán un "sistema de membrana doble", con el cual el espacio cubierto queda libre de sobrepresión

Designación	Sistema sustentante	Luces "L" en metros												
		10	10	30	20	30	40	50	70	100	200	300	500	
Sistemas que actúan por su masa, en forma de vigas	 $\frac{b}{L} = \frac{1}{3}$ Losa													
	 $\frac{b}{L} = \frac{1}{3}$ Losa y viga													
	 $\frac{b}{L} = \frac{1}{3}$ Vigas principales y transversales													
	 $\frac{b}{L} = \frac{1}{3}$ Cerchas en arco													
Sistemas que actúan por descomposición de fuerzas	 $\frac{b}{L} = \frac{1}{3}$ Cerchas de entramado													
	 $\frac{b}{L} = \frac{1}{3}$ Cerchas de entramado principales y secundarias													
	 $\frac{b}{L} = \frac{1}{3}$ Entramado tridimensional													
Sistemas que actúan por su superficie, estructuras plegadas y de simple o doble curvatura	 $\frac{b}{L} = \frac{1}{10}$ Estructura plegada													
	 $\frac{b}{L} = \frac{1}{10}$ Calones cilíndricos													
	 $\frac{b}{L} = \frac{1}{10}$ Bóveda valde con arcos perimetrales													
	 $\frac{b}{L} = \frac{1}{10}$ Bóveda valde con arcos perimetrales													
Sistemas que actúan por su forma, a tracción	 $\frac{b}{L} = \frac{1}{10}$ Paraboloide hiperbólico													
	 $\frac{b}{L} = \frac{1}{10}$ Estructura en red de cables													
	 $\frac{b}{L} = \frac{1}{10}$ Cables de suspensión y combinación de sistemas por descomposición de fuerzas													

Luces que salvan los distintos sistemas de estructuras

Reproducido de la obra: *Metalleichbauten*, tomo I, de Büttner-Stenker, publicado por la Deutsche Verlags-Anstalt, de Stuttgart

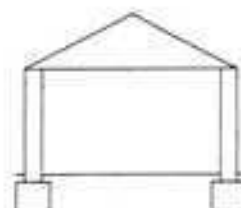
Estas vigas de frontón para arriostramiento longitudinal pueden enlazarse con el arriostramiento transversal y situarse también en los planos de los cordones inferior o superior de las armaduras. Las naves de mayor altura pueden exigir otros arriostramientos horizontales adicionales.

Para la absorción de las fuerzas horizontales y oblicuas que inciden sobre las paredes longitudinales es suficiente, en la mayor parte de los casos, organizar en forma de planos de entramado o llenos los tramos extremos. En este caso se pueden agrupar las llamadas vigas de arriostramiento del hastial y las de las paredes en una sola viga tridimensional (viga tubular), que transmita directamente a los cimientos sus esfuerzos dirigidos horizontalmente sobre los apoyos. Sus cordones están formados respectivamente por los cordones inferiores o superiores de la primera y de la segunda armadura, y sus montantes por las correas del primer tramo de armaduras, de manera que sólo hay que agregar sus diagonales o tornapuntas, como piezas especiales. En los cobertizos de madera se disponen generalmente jabalcones entre cuchillos y correas, que disminuyen las luces entre apoyos de las correas y contribuyen a mejorar el arriostramiento longitudinal. Son necesarios especialmente en el caso de cerchas o armaduras arqueadas con el cordón superior dividido, con objeto de asegurar las piezas inferiores de dicho cordón contra el pandeo, que podría tender a hacerlas salir del plano de la armadura. Este esqueleto o estructura resistente, con cuchillos apoyados sobre montantes pendulares y planos de arriostramiento horizontal y vertical, es apropiado sobre todo para las construcciones de madera y las construcciones metálicas sencillas. Generalmente, se forma con barras de tracción y de compresión; estáticamente es de fácil cálculo y comprobación y puede ser construido con piezas sencillamente unidas (nudos articulados). Como consecuencia de todo ello es relativamente poco sensible contra los asientos desiguales del terreno de cimentación, y con escuadrías pequeñas de las piezas y cimientos de poca importancia se realizan construcciones del tipo empotrado; sólo los cimientos de los planos verticales de arriostramiento transversal y longitudinal (especialmente los cimientos de las esquinas) han de ser de mayores dimensiones y han de estar dispuestas para absorber las componentes horizontales de las fuerzas que actúan contra los apoyos. En esta clase de estructuras hay que contar con deformaciones mayores que en el caso de construcciones a base de pórticos y, por lo tanto, sólo pueden cargarse con vías de grúas ligeras.

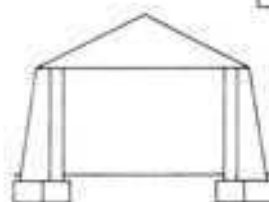
Armaduras sobre apoyos empotrados

En estas estructuras resistentes, los apoyos trabajan como las paredes de las antiguas construcciones de cobertizos. Son tan estables que incluso pueden admitir, junto con las cargas verticales, esfuerzos horizontales y transmitirlos al terreno. Los cuchillos descansan como vigas apoyadas sobre dos puntos, con articulación sobre las cabezas de los apoyos. Cada par de apoyos, junto con su correspondiente cuchillo, forman un pórtico con dos articulaciones y apoyos o pies derechos empotrados en su base.

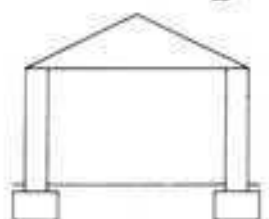
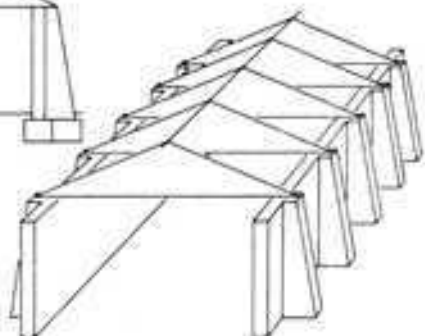
Con el fin de poder absorber las cargas del viento, que actúan en el sentido de la longitud del edificio, así como los esfuerzos horizontales del frenado de las grúas-puente y de otros aparatos parecidos, se apuntalan los hastiales mediante vigas horizontales capaces de transmitir los esfuerzos que reciben sobre los pies derechos empotrados o sobre los arriostramientos que dan rigidez a las paredes, para que en último término vayan a parar al terreno firme. Para asegurar los cuchillos colocados sobre los apoyos articulados, contra el vuelco al montar la armazón y para lograr la rigidez contra el pandeo en los cordones superiores se coloca un arriostramiento longitudinal. Para esta finalidad se unen un par de armaduras de cada extremo de la nave por medio de diagonales que enlacen los cordones superiores y los inferiores para formar unas estructuras espaciales indeformables, de modo que puedan absorber fuerzas dirigidas en una dirección cualquiera. En hangares o cobertizos muy largos se agregan otros arriostramientos intermedios de esta clase. Las reacciones horizontales de los apoyos del arriostramiento longitudinal son transmitidas por los planos de pared longitudinal o por los pilares empotrados a la cimentación. Esta estructura resistente se monta con facilidad, pero exige una buena cimentación, que



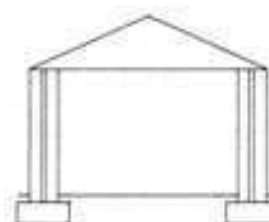
Paredes exteriores gruesas



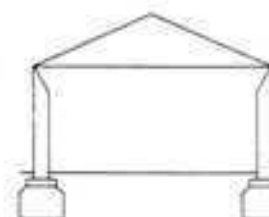
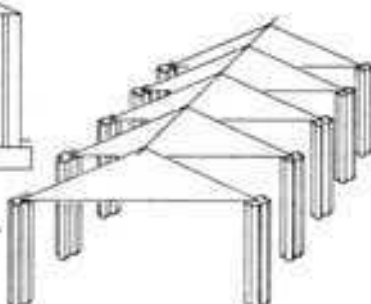
Paredes exteriores delgadas con contrafuertes



Pilares sencillos



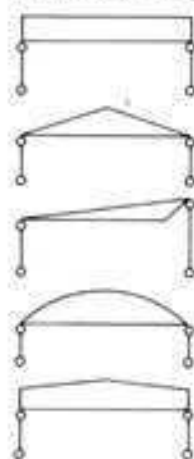
Pilares de sección compuesta



Construcción actual de cobertizos



POSIBLES FORMAS DE CERCHAS



Vigas o cerchas de lados paralelos

Cerchas triangulares

Cerchas triangulares a una sola vertiente

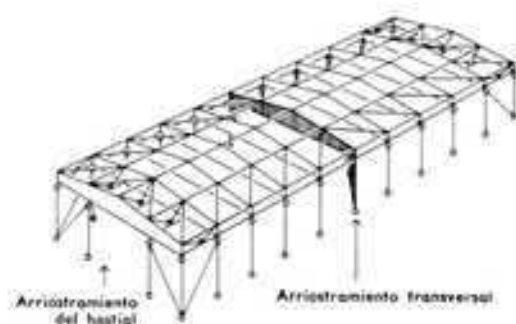
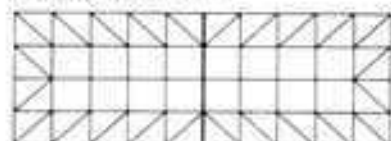
Cerchas en arco

Cerchas en forma de viga con el cordón superior quebrado

Arriostamiento vertical longitudinal



Arriostamiento horizontal



Arriostamiento del hastial

Arriostamiento transversal

POSIBLES ESTRUCTURAS VERTICALES DE ARRIOSTRAMIENTO TRANSVERSAL



Pórtico con dos articulaciones

Pórtico con tres articulaciones

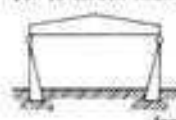
Pórtico con tres articulaciones (asimétrico)

Losa vertical con entramado

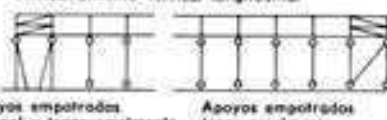
Losas verticales de pared maciza

ARMADURAS SOBRE APOYOS EMPOTRADOS

Armadura-viga apoyada por su cordón inferior



Arriostamiento vertical longitudinal



Apoyos empotrados longitudinal y transversalmente

Apoyos empotrados transversalmente

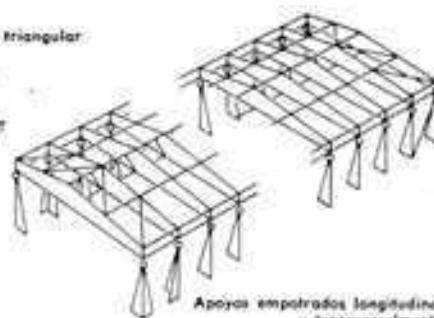
Armadura-viga apoyada por su cordón superior



Arriostamiento horizontal



Armadura o cochilla triangular



Apoyos empotrados longitudinal y transversalmente

PÓRTICOS

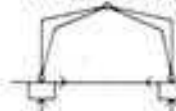
Pórtico con dos articulaciones



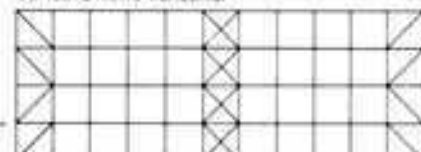
Arriostamiento vertical longitudinal



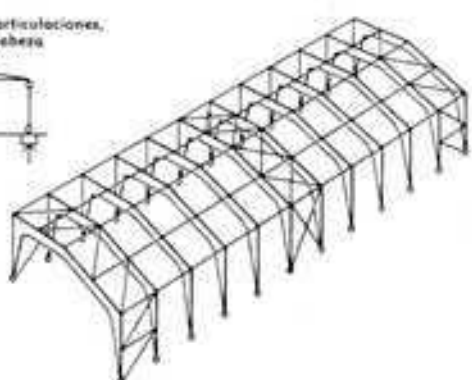
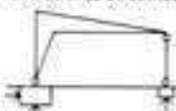
Pórticos con tres articulaciones, una de ellas en la clave



Arriostamiento horizontal



Pórtico con tres articulaciones, una de ellas de cabeza



suele ser costosa, y un terreno bien firme que la soporte. En caso de desmontaje y traslado, tales cimientos son gastos perdidos. La transmisión de los momentos de empotramiento al terreno trae consigo el peligro de que se produzcan asentamientos desiguales. Aparte de que con el empotramiento resultan del cálculo secciones transversales más importantes para los apoyos.

Pórticos

En los pórticos, los apoyos y las vigas no se limitan estrictamente, cada uno de por sí, a sus misiones respectivas, sino que a consecuencia de sus mutuos enlaces rígidos se convierten en los pies y en el dintel del pórtico y cooperan igualmente a la absorción de las fuerzas normales y transversales. Los pórticos de tres dimensiones se estudian considerando por separado cada uno de sus planos.

Los pórticos para cobertizos y hangares se construyeron en un principio como estructuras de celosía; hoy se prefieren los pórticos de alma llena que, aun cuando requieren mayor consumo de material, necesitan menos uniones de elementos o barras y, por consiguiente, tienen menor tendencia a combarse, aparte de que presentan mejor aspecto estético. Para la construcción de las estructuras porticadas es muy adecuado el hormigón armado, que por su misma naturaleza se presta muy bien a la formación de nudos rígidos. También a base de construcción metálica se pueden hacer bien los nudos rígidos; en cambio, con la madera se recurre en general a enlaces articulados. Constituyen una excepción de esta regla las estructuras encoladas de madera, en las que se hacen perfectamente los nudos rígidos contra la flexión; sin embargo, exigen gran experiencia en la técnica del encolado y son trabajos que sólo deben encargarse a especialistas y a empresas de reconocida práctica. El esqueleto o entramado resistente de un cobertizo de esta clase consta de un cierto número de pórticos transversales, distanciados de acuerdo con la luz que se quiera dar a las correas que han de formar la cubierta del local. Están en condiciones de absorber, además de todas las cargas verticales, todas las fuerzas horizontales y oblicuas que actúan transversalmente sobre el cuerpo de edificio, para transmitirlos inmediatamente a las cimentaciones y luego al terreno firme. Las reacciones de los apoyos tienen componentes vertical y horizontal, de manera que hay que calcular las dimensiones de los cimientos para que puedan resistir los empujes, o bien contrarrestarlos con tirantes colocados entre los pies de los pórticos. Para lograr la necesaria rigidez longitudinal de la estructura resistente se unen dos pórticos transversales en cada extremo del cobertizo (y en los de gran longitud, mayor número de ellos todavía) por medio de tornapuntas o pórticos longitudinales para formar estructuras indeformables tridimensionales, a las que, entonces, se podrán ligar los restantes pórticos transversales por medio de las correas de la cubierta.

Estructuras sustentantes en arco

La estructura estática de las naves con cubierta sostenida por cerchas en arco corresponde exactamente a la estructura de las naves a base de pórticos.

Pero la distribución de las fuerzas en cada cercha en arco es estáticamente mucho mejor que en los pórticos con nudo rígido en las uniones de los montantes con los dinteles. La curva óptima del arco es la de la curva de presiones correspondiente a una carga uniformemente repartida; en este caso actúa inversamente a un cable suspendido y le corresponde la menor escuadría posible en relación con la luz que debe salvar. Las cerchas en arco se adaptan bien a las tensiones de flexión debidas a las cargas verticales y horizontales, y también a las dilataciones térmicas. El arco con tres articulaciones, en dos piezas, es fácilmente transportable y constituye la forma ideal para una estructura sustentante de gran luz de pared llena, formada por hojas encoladas de madera. Para absorber los considerables empujes horizontales se emplean estribos, cables tensores debajo del pavimento o bien se aprovechan los contraempujes que se producen en las estructuras de varias naves.

Puntos de vista constructivos

En cada caso hay que considerar cuál de esos tres sistemas de estructuras que quedan descritos es más adecuado para una determinada construcción. Para llevar a cabo la elección hay que

guiarse por la naturaleza del terreno de que se dispone para cimentar, por la clase de materiales que podrán ser empleados, y por las dimensiones de la cubierta que hay que construir, por los procesos industriales que en él se van a llevar a cabo, las dimensiones y tipo de máquinas, herramientas, aparatos, instalaciones y elementos elevadores y de transporte, así como por las aberturas indispensables para el curso de los trabajos, la iluminación y la ventilación. En general, se está actualmente obligado a construir estructuras cuyas secciones sean lo más independientes posible unas de otras y posean estabilidad y rigidez propias en grado suficiente, de manera que se disponga de libertad para introducir en la obra aquellas modificaciones constructivas o de explotación que se juzguen convenientes. Para lograr esto se ha visto que los elementos más apropiados son los pórticos con dos articulaciones. Las estructuras resistentes a base de cuchillos sobre apoyos empotrados (pórticos empotrados con dos articulaciones superiores) se aproximan mucho, como solución, a la precedente; sin embargo, este tipo de solución no es tan empleada por la posibilidad de que se produzcan asentamientos desiguales; en cambio, se emplea en aquellas obras en que por razones del funcionamiento de la industria, conviene que los apoyos y los cuchillos se construyan con materiales distintos.

En relación con las instalaciones de naves industriales hay que distinguir dos grupos:

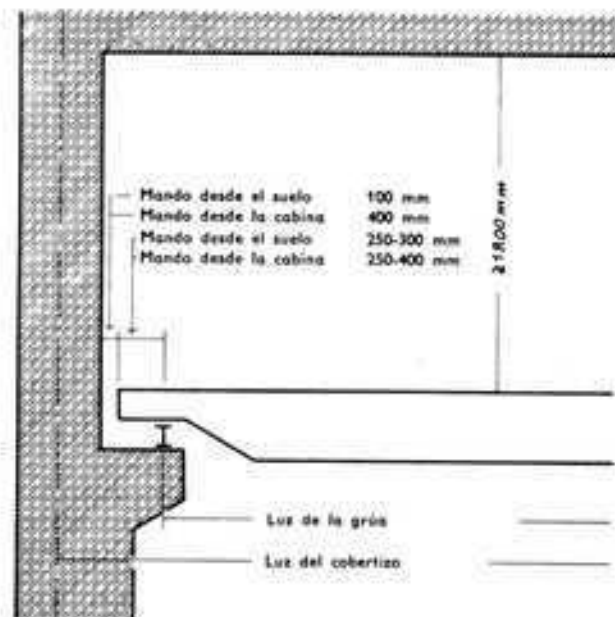
- 1) Locales cuyas instalaciones, a causa de los frecuentes cambios en los métodos de producción, tienen que quedar independientes de las estructuras resistentes de la cubierta, y también aquellos en que no se hacen instalaciones de ninguna clase (como p. ej. los almacenes o tinglados).
- 2) Locales cuyas estructuras resistentes tienen que ser utilizadas como auxiliares para las instalaciones de servicio.

Naves con grúas

En las naves en que van instaladas grúas-puente, las distancias entre los apoyos y su altura, así como el cálculo de las dimensiones de la sección de la armazón resistente, se determinan, en gran parte, de acuerdo con las dimensiones y la fuerza de la grúa que haya que montar en cada caso. En la actualidad se usan preferentemente grúas-puente con tres motores que pueden mandarse desde tierra o desde una cabina alta. Tales grúas ruedan sobre carriles que descansan sobre vigas-soporte, las cuales se apoyan en pies derechos o en las paredes laterales de la nave; en algún caso van también sobre ménsulas fijadas en los pies derechos y permiten una mejor transmisión al suelo de las cargas, que las grúas suspendidas de los cuchillos o de los dinteles de los pórticos, o que las grúas de pescante cuyos empujes horizontales exigen construcciones muy reforzadas. Según los módulos adoptados por la Agrupación de Constructores de Aparatos Elevadores, se fabrican grúas-puente con mando desde el suelo para anchos de vía (es decir, para luz entre apoyos) de 8750, 11 250, 13 750, 16 250, 18 750 y 21 250 mm y, dentro de cada uno de estos tipos, con fuerzas de 3, 5, 8, 10, 12,5, 16 y 20 t. Para grúas-puente mandadas desde cabina alta, las luces entre apoyos son: 7950, 10 450, 12 950, 15 450, 17 950, 20 450, 22 950, 25 450 y 27 950 mm y, dentro de cada tipo, para fuerzas de 3, 5, 8, 10, 12,5, 16, 20, 32, 50, 80 y 100 t. La luz entre apoyos de esas naves equipadas con grúa-puente se compone de la luz de la grúa aumentada en el saliente que por cada lado tiene la viga de la grúa respecto del correspondiente carril, al cual hay que agregar un juego suficiente entre la punta de la viga y los pilares de las armaduras o los pies de los pórticos, más la distancia hasta llegar al eje de tales apoyos.

El saliente lateral de la viga de la grúa más allá de los carriles depende del tamaño de las ruedas, así como de la fuerza y de la luz de la grúa y viene a ser, para grúas mandadas desde abajo, de 250 a 300 mm y, para grúas mandadas desde cabina alta, de 250 a 400 mm. El juego entre la viga de la grúa y los apoyos basta con que sea de 100 mm a cada lado, para grúas mandadas desde el suelo; para las que van mandadas desde cabina alta tiene que ser, por lo menos por uno de sus lados, de 400 mm, con lo cual queda un pasadizo que puede ser utilizado por el conductor de la grúa.

La altura libre del interior de las naves tiene que ser calculada de manera que por encima de la viga de la grúa queden, por lo menos, 1800 mm libres para el conductor y que, por debajo de



aquella, puedan ser desplazadas toda clase de cargas y piezas de maquinaria, sin obstáculo ni peligro para el personal, las máquinas o los vehículos. La viga de la grúa suele tener de 1000 a 2700 mm de altura. En las grandes fábricas y explotaciones, con frecuencia es necesario superponer dos grúas, en cuyo caso la de abajo se manda desde el suelo y la de arriba desde una cabina alta; así se economiza algo de altura en la nave.

Las cargas de las ruedas de la grúa son transmitidas por los carriles a las vigas de soporte de los mismos; éstas las transfieren a la estructura resistente del cobertizo y de allí van a parar al terreno firme.

Las vigas de soporte de los carriles de las grúas-puente son, pues, solicitadas no sólo verticalmente sino también horizontalmente por las fuerzas del frenado de la grúa y del carretón de la misma.

Para su cálculo se utilizan las prescripciones que figuran en la norma DIN 120 hoja 1. Si las vigas de soporte de los carriles de la grúa están colocadas sobre ménsulas de los pies derechos o pilares del cobertizo o de los pórticos que lo forman, éstos se hallarán solicitados por fuerzas descentradas. Las fuerzas horizontales que en tal caso intervienen sobre las cabezas y los pies de los apoyos tienen que ser soportadas por la estructura resistente del edificio. En el caso de estructuras con armaduras planas sobre apoyos pendulares, la fuerza horizontal superior es transmitida por las cabezas de los pies derechos a las vigas horizontales del arriostramiento.

Presión del viento y esfuerzos que se producen durante el montaje

Los cobertizos que tienen abierta una de sus paredes deben calcularse de acuerdo con la norma DIN 1055 hoja 4 y figura 5 de la hoja anexa, para tener en cuenta la presión del viento por la parte interior que, sobre todo en las cubiertas de madera, suele ser mayor que el peso propio de toda la estructura resistente de la cubierta. Para ese desfavorable caso de carga hay que asegurar suficientemente las armaduras contra su arrancamiento y disponer sus elementos y uniones de modo que puedan resistir esfuerzos de signo inverso al normal; por ejemplo, hay que asegurar los cordones inferiores de las armaduras contra el pandeo. Ya para el montaje de la armazón o estructura principal hay que tomar precauciones adecuadas contra el viento. En la mayoría de los casos, es conveniente disponer no sólo el arriostramiento longitudinal usual, sino colocar además arriostramientos de montaje suplementarios, por secciones, para poder efectuar un montaje seguro y sin peligros. Esto es importante especialmente en las estructuras resistentes de madera, cuyas barras o elementos presentan gran superficie al viento.

El montaje de la cubierta se efectúa de la manera siguiente: De un mástil o poste elevado se suspenden las armaduras en posición algo oblicua respecto del eje transversal del local, y una vez

a la altura debida se hacen girar lo suficiente para poderlas depositar sobre sus apoyos. Al embragarlas y elevarlas hay que tener cuidado de que las barras de la celosía no sufran esfuerzos de sentido opuesto, cosa que podría conducir a desperfectos graves en la armadura si, p. ej., una barra de compresión fuese arrancada de sus asientos o se doblasen por pandeo barras de tracción. Cuando una armadura queda colocada en su sitio se le montan las riostras longitudinales, las correas y los jalabalcones. Hasta que toda la armazón no está colocada y bien dispuesta en su sitio no se procede a clavar los cabios.

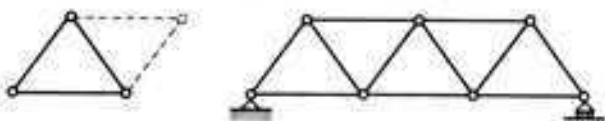
Formas de las cerchas de entramado

En las vigas homogéneas de alma llena, el material sólo se puede utilizar en los bordes con la fatiga admisible. Para luces pequeñas, con las que el peso propio y la carga útil de las estructuras resistentes todavía guardan una buena relación entre sí, resulta aún conveniente aceptar el mayor consumo de material en gracia al reducido consumo de mano de obra. En cambio, las vigas de alma llena, de mucha luz, exigen un peso propio múltiplo de la carga útil, de manera que, en tales casos, siempre se procura un menor consumo de material a cambio de un mayor gasto de mano de obra. Se construyen, por consiguiente, las vigas compuestas, con fuertes cordones y alma delgada de chapa (vigas compuestas de alma llena) o constituida por una triangulación de barras (vigas de celosía).

Sistemas estáticamente determinados y estáticamente indeterminados

Las barras se unen y acoplan de manera que sus ejes se corten en los nudos. En el cálculo estático se admite que están enlazadas por articulaciones desprovistas de rozamiento, en dichos puntos. La celosía articulada es estable cuando el entramado forma triángulos indeformables, obrando así como una cadena de planos rígidos. Para los primeros tres nudos requiere tres barras y para cada nuevo nudo dos barras más. El número de barras de la viga de celosía con determinación estática interior es igual al doble del número de nudos menos 3. Si el número de nudos es k , el número necesario de barras deberá ser por lo tanto de

$$s = 3 + (k - 3) \times 2 = 2k - 3$$



Un entramado articulado con $s > 2k - 3$, por el número excesivo de sus barras es, interiormente, estáticamente indeterminado, esto es: es apto para resistir esfuerzos pero es difícil de calcular a no ser que se substituyan las barras excesivas por barras flojas a extensión, que se doblen cuando estén comprimidas y puedan desprenderse en el cálculo.

Un entramado insuficiente, con $s < 2k - 3$, por el contrario, a causa de la deformabilidad de los cuadriláteros, resulta inestable y no apto para resistir esfuerzos. En las vigas Vierendeel, que no tienen barras diagonales, todos los montantes y cordones deben estar unidos entre ellos con nudos rígidos resistentes a la flexión. Si n es el número de sus tramos o recuadros, la viga será 3 n veces indeterminada.

Las fuerzas exteriores (cargas y reacciones de apoyo) deben aplicarse a los entramados en los nudos. Esto tiene la ventaja de que así las dimensiones de las barras resultan lo más económicas, pues en general sólo reciben fuerzas de extensión y compresión uniformemente repartidas en su sección, y permiten conocer sin dificultad el reparto de esfuerzos en todo el entramado. Una cercha de entramado es exteriormente isostática, o sea con apoyos estáticamente determinados, cuando, como todas las vigas, tiene un apoyo fijo y un apoyo deslizable, o cuando no existen más de tres incógnitas de apoyo que satisfagan las tres ecuaciones de equilibrio estático siguientes:

$V = 0$ Suma de todas las fuerzas verticales

$H = 0$ Suma de todas las fuerzas horizontales

$M = 0$ Suma de los momentos de todas las fuerzas

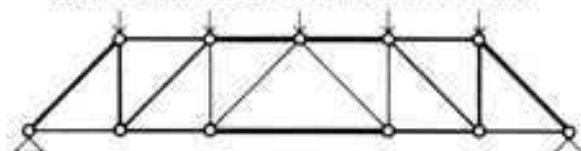
Cerchas de cordones paralelos

Para cubiertas de muy poca pendiente, las armaduras son vigas de celosía de cordones paralelos o con cordón superior a dos vertientes de poca inclinación. Los cordones superior e inferior actúan indirectamente a través de los elementos que forman el alma. En cambio, en las armaduras triangulares, los cordones superior e inferior van enlazados directamente entre sí.

VIGAS DE CELOSÍA DE CORDONES PARALELOS



Diagonales tensadas largas y montantes comprimidos cortos



Barras largas comprimidas y montantes cortos tensados

Dentro de estos dos grupos principales se pueden establecer subdivisiones según el modo de disponer las barras o según sean las solicitaciones de las mismas.

La celosía de diagonales solas en la que se combinan alternativamente barras a tracción y a compresión, ofrece la ventaja de una mayor rigidez, pues las fuerzas verticales se transmiten por el camino más corto hacia los apoyos. En vigas de mucha altura tienen la desventaja de presentar grandes longitudes de pandeo en las barras del cordón superior. Se obtienen menores longitudes de pandeo con la celosía de montantes y diagonales, formando armaduras "apoyadas" cuando las diagonales están dirigidas hacia los apoyos, y armaduras "colgadas" cuando la inclinación de las diagonales se dirige del apoyo hacia el centro de la viga. En este segundo caso las barras más largas (diagonales o "jabalcones") están tensadas y las más cortas (montantes o "péndolas") están comprimidas.

Los esfuerzos máximos sobre los cordones tienen lugar en la parte central de la viga; en cambio, las fuerzas que actúan sobre el alma son mínimas en dicha zona y crecen al aproximarse a los apoyos. Las vigas de celosía se calculan partiendo de las reacciones de los apoyos; los esfuerzos de las barras del sistema se suelen determinar gráficamente, en forma sencilla, por el método de Cremona. Según la forma y disposición de los cordones, las vigas de celosía se clasifican en:

Vigas de cordones paralelos

Vigas con el cordón superior en pendiente hacia uno de los extremos (para cubiertas de una sola pendiente)

Vigas con el cordón superior levantado por su parte central (para cubiertas a dos vertientes).

Las alturas más favorables para las vigas de celosía de cordones paralelos oscilan entre $1/8$ y $1/12$ de la luz y para las armaduras con el cordón superior inclinado entre $1/6$ y $1/8$.

Las barras de las vigas y armaduras de celosía, además de ser indispensables para la transmisión de las fuerzas exteriores, como las reacciones de los apoyos y las cargas sobre los nudos, así como para la indeformabilidad de las armaduras, se utilizan también para el enlace con los arriostramientos de toda la cubierta. Su colocación y sus dimensiones son diferentes aun dentro de iguales sistemas de celosía según el modo como vayan apoyadas las armaduras o vigas.

En determinadas circunstancias, la elección de la forma de una celosía puede depender del tipo de apoyo de las vigas o armaduras.

Por ejemplo, en la mayoría de los casos las correas de celosía se apoyan por su cordón superior sobre las armaduras y para este caso son más apropiadas las tomapiernas o diagonales tensadas que los jabalcones o diagonales comprimidas; estas últimas están indicadas cuando el apoyo se hace por el cordón inferior. En todas las construcciones metálicas es conveniente desde el punto de vista estático que las barras comprimidas sean lo más cortas posibles, a fin de que tengan poca esbeltez. Por esto se procurará que las barras comprimidas sean las verticales y las del cordón superior, mientras que las diagonales, más largas, sean las estiradas. En las construcciones en madera, se hace lo contrario, pues al ser mayores las secciones y sus momentos de inercia el peligro de pandeo es menor, y las uniones entre barras sujetas a compresión son más fáciles que entre barras sujetas a tracción.

Al calcular las dimensiones de las vigas hay que tener presente que en la zona central de las mismas puede haber elementos de los que forman el alma que sufran alternativamente solicitaciones por tracción y por compresión, por lo cual en todos estos elementos debe estudiarse, incluso para cargas siempre del mismo sentido, si se producen en ellos esfuerzos que a veces son de extensión y a veces de compresión, y darles en su caso la forma adecuada.

Armaduras triangulares

En las armaduras o cuchillos triangulares, las fuerzas que solicitan las piezas del alma se comportan al revés que en las vigas de celosía. Si las diagonales suben hacia la parte de los apoyos trabajan por compresión, en tanto que las tracciones se hallan en las barras verticales. Cuando las diagonales bajan hacia la parte de los apoyos, es decir desde el centro hacia los lados, trabajan

VIGAS DE TORNAPUNTAS Y BIELAS



Armaduras o vigas de celosía de cordones paralelos



Armaduras o vigas de celosía de cordón superior con pendiente hacia un extremo (para cubiertas de una sola pendiente)



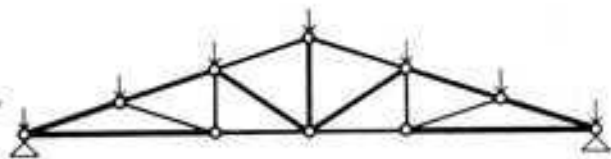
Armaduras o vigas de celosía con cordón superior elevado en su parte central



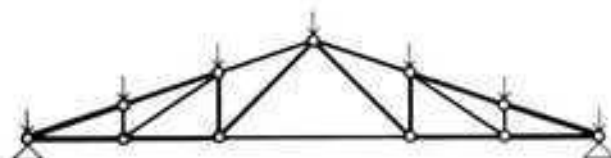
Armaduras mansardas

VIGAS DE JABALCONES Y PÉNDOLAS





Armadura triangular con diagonales comprimidas y montantes tensados

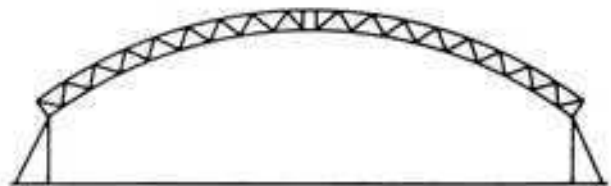
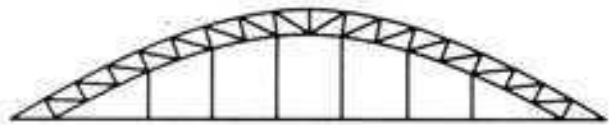
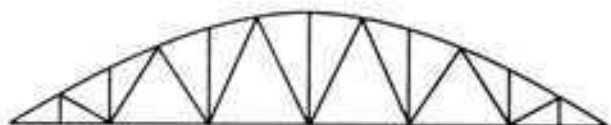
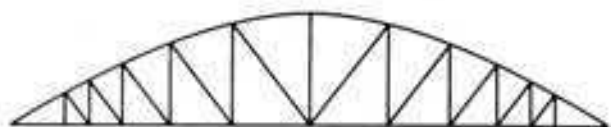


Armadura triangular con diagonales tensadas y montantes comprimidos

por tracción a modo de tirantes y, en cambio, los montantes verticales son piezas comprimidas. En las piezas que forman el alma, los esfuerzos máximos se encuentran en la parte central de la armadura y van decreciendo hacia los apoyos. El cordón superior, igual que en las vigas, trabaja a compresión, y el inferior, a tracción; las máximas solicitaciones no se hallan, sin embargo, en la parte central de la armadura sino sobre los apoyos, dependiendo su cuantía de la pendiente de la cubierta. La altura más conveniente de las armaduras es de $1/6$ a $1/8$ de la luz. Para la formación de los nudos, la armadura triangular ofrece la ventaja de que, aun variando la carga, no existe ninguna barra en que varíe el signo de las fuerzas que la solicitan. Se suelen construir a base de triángulos simétricos; pero también los hay de formas cojas, como p. ej. en el caso de cubiertas de una sola vertiente o en el de cubiertas de diente de sierra.

Cerchas o armaduras arqueadas

La armadura arqueada que posee la forma más favorable desde el punto de vista estático es la armadura de forma parabólica, cuyo arco sigue exactamente el trazado de un polígono funicular para cargas uniformemente repartidas. Las componentes horizontales o empujes del cordón superior son contrarrestados por el tirante. Las barras interiores de triangulación, si la carga está uniformemente repartida, teóricamente no deben sufrir sollicitación alguna. Únicamente en el caso de que la carga gravite en un solo lado o esté colocada a fajas sufren ligeras sollicitaciones longitudinales cuyo signo puede variar, por lo cual sus uniones o enlaces con el arco y con el tirante deben hacerse siempre resistentes a tracción y a compresión. Además de esta misión com-



pensadora, las barras de la celosía del alma tienen principalmente la de proteger el arco contra los efectos del pandeo en el plano de la armadura.

Los cordones curvados de las cerchas parabólicas de madera se construyen hoy con chapas de madera encoladas. Las secciones compuestas de esta forma y las formas estáticamente más convenientes en que el arco sigue la curva de presiones dan lugar a estructuras con suficiente rigidez para que no sea necesaria, ni en caso de grandes luces, una estructura en entramado.

Las tensiones de tracción del cordón inferior son absorbidas sólo por un tirante que muchas veces se suspende por varios puntos del cordón en arco superior. Cuando las fuerzas del cordón se transmiten directamente al apoyo o cuando en edificaciones de varias naves los empujes de los arcos se contrarrestan recíprocamente, puede incluso prescindirse del cordón inferior. La más económica y la más fácil de transportar es la cercha en arco con tres articulaciones.

Entramados de las vertientes y revestimientos de las cubiertas

Las dimensiones y la separación de las armaduras o cuchillos, así como la elección de su forma, se rigen, aparte otras exigencias constructivas, como las cubiertas para luz cenital, etc., ante todo por la clase de revestimiento que se piensa adoptar para recubrir la obra.

Se obtienen dimensiones y escuadrias muy favorables cuando puede adoptarse una inclinación de cubierta que no llegue a los $19^{\circ}30'$, con lo cual y según la norma DIN 1055, hoja núm. 4 y hoja anexa, la presión del viento es prácticamente nula y sólo hay que tener en cuenta las fuerzas de succión que el viento puede ejercer sobre la cubierta ($-0,4$ de la presión del viento sobre una superficie perpendicular a su dirección). Esto repercute favorablemente no sólo sobre las armaduras, sino también sobre las correas y cabios, cuya flecha calculada no debe exceder de $1/200$ de su luz, y sobre los elementos resistentes aislados, que deberían ser cargados con 1,25 veces la presión del viento. Las fuerzas de succión del viento obligan, en las cubiertas de tipo ligero, a tomar precauciones para asegurarlas contra el arrancamiento.

En las cubiertas de tejas, esas pendientes tan reducidas sólo permiten utilizar las tejas planas con encajes, que con sus revestimientos permiten asegurar protección suficiente contra la lluvia, hasta con pendientes mínimas de 15° . Estáticamente serían aún adecuados, para esas pendientes, los cuchillos triangulares. El elevado peso propio del revestimiento de tejas obliga a emplear fuertes escuadrias en la estructura de la vertiente de la cubierta. En la edificación industrial se da, por consiguiente, preferencia a revestimientos de cubierta más ligeros y que al mismo tiempo permiten inclinaciones de cubierta más reducidas y, con ello, la construcción con vigas, estáticamente más favorable, con su cordón superior algo peraltado por su parte central.

Cubrición sobre un entablado de madera

Las distancias entre correas y cabios, así como las distancias entre cerchas cuando la cubierta va apoyada directamente sobre ellas, depende de la resistencia del material que forma la estructura de la cubierta. Con un entablado de madera de 24 mm de grueso, para un entablado de piezas machihembradas esta distancia es de 1,50 m; para tablas a tope es de 96 cm, pues entonces falta el reparto de fuerzas que produce el machihembrado. Un entablado de 32 mm de grueso permite distancias entre apoyos de 2,50 m, si en el centro del tramo se clava por debajo una tabla transversal que reparte las fuerzas. Para que no sea necesario poner juntas de contracción, las tablas no deben tener un ancho mayor que de 12 a 14 cm.

Mejor aprovechamiento de las cualidades del material y mejor reparto de las cargas que con el entablado se consiguen mediante planchas a base de barritas o de chapas de madera encoladas (según DIN 68705, hoja 3) o mediante planchas de virutas de madera aglomeradas con resinas sintéticas (según DIN 68761, hoja 3). Así pueden construirse, por ejemplo, con planchas de 12 mm de grueso de contrachapeado Wideflex, y con cabios a distancias de 83 cm, superficies de cubierta transitables. Con estas

planchas se han construido ya elementos huecos de 25 cm de altura y un peso propio de 150 kg/m², para cubiertas con distancias entre cabios de 10 m y para voladizos de 4 m.

Es importante para la conservación de toda clase de entablados de cubierta que exista una suficiente ventilación de la cubierta, que impida las humedades de condensación. Y esto tanto para la cara inferior del entablado, que da al interior del edificio, como para las caras que dan a la cámara de aire que se forma en los elementos de doble tablero antes citados, y para la cara superior que quede debajo del material que se pone en la cubierta para aislamiento de la humedad.

Distancias entre correas y entre cabios

Los tableros o entablados de cubierta formados por planchas de grandes dimensiones pueden colocarse, según la luz y la resistencia, paralelamente a las cerchas, de correa a correa, o directamente de cercha a cercha.

En general puede decirse que las cerchas resultan más económicas cuanto mayor es la distancia entre ellas, mientras que las correas o los entablados de cubierta que en ellas se apoyan resultan más caros. Por otra parte se reducen los costes de las correas al aumentar las distancias entre ellas, mientras que se encarece el entablado o tablero.

Las correas, como soporte inmediato del revestimiento, son económicas hasta las distancias corrientes de 4 a 5 m entre armaduras. Forman el entramado de vertiente más sencillo posible, pero como las correas se distribuyen por las dimensiones de las placas del revestimiento y no por la triangulación de las armaduras, pueden resultar fatigados por flexión los pares de las armaduras o los cordones superiores de las vigas. Para mayor sencillez se colocan las correas perpendicularmente al plano superior de los pares, es decir asentadas directamente sobre éstos, y se aseguran contra el deslizamiento con unos ejones o tacos de pequeño tamaño. En esta disposición trabajan las correas por flexión oblicua. El aumento de sección de las piezas que esto implica puede evitarse si se transmiten a la cumbrera las fuerzas laterales que actúan sobre la cubierta, mediante la adecuada fijación del entarimado sobre dicha cumbrera, y se refuerza la sección de ésta suficientemente para que pueda soportar esta sollicitación adicional.

Las dimensiones más favorables de las correas se obtienen cuando se disponen como correas continuas acopladas. Cada una de las piezas se prolonga por ambos extremos hacia los tramos vecinos, para su empalme y superposición con las siguientes. Van colocadas de tramo en tramo y su enlace abarca 1/10 de la luz por cada lado de la armadura, haciéndose con llaves y pernos o con grupos de clavos. La superficie de enlace es suficiente cuando la longitud de cada pieza de la correa es de 1 1/4 de la luz entre apoyos. Este sistema de correas continuas tiene la ventaja de que sobre los apoyos, donde se producen los máximos momentos de flexión, hay doble sección de madera, mientras que en la parte central de los tramos, donde los momentos son menores, basta con la sección sencilla allí existente.

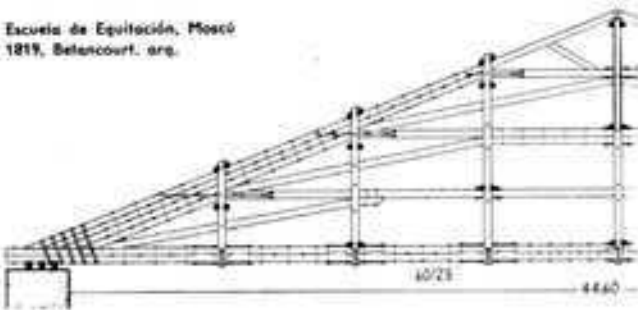
Cuando las correas no se emplean como soporte inmediato del revestimiento de la cubierta, pueden ponerse pares de cabios-tabla, de disposición parecida a las cerchas, a las distancias usuales de entre 0,80 y 1,50 m, formados, por la pequeña carga que reciben, por simples tablas. Cuando se trata de cubiertas en que el aislamiento térmico va en la parte inferior, que llamaremos en general cubiertas ventiladas, no practicables, que no van tendidas de pared exterior a pared exterior sino que pueden cruzar sobre un sistema de paredes y forjados, estas tablas-cabio son muchas veces más económicas que las estructuras de cabios usuales. Pueden componerse con tablas simplemente desbastadas unidas con las modernas chapas para clavar usadas en las construcciones de madera industrializadas.

La mejor relación en cuanto al coste entre las distancias entre cerchas y entre correas, así como la distancia más económica entre los apoyos del tablero o entablado de cubierta hay que estudiarla en cada caso particular. No depende sólo de los precios de los jornales y materiales empleados para la construcción de las cerchas, correas y entablados deducidos desde el punto de vista de la resistencia, sino que también dependen de las condiciones físico-constructivas que a ser posible debe satisfacer a la vez la cubierta en su conjunto.

Armaduras de madera

En el transcurso del siglo XVIII, la construcción de cubiertas de madera permitió llegar a cubrir luces de gran amplitud con armaduras trianguladas. Así, por ejemplo, en 1777-78, los hermanos Grubemann, maestros carpinteros suizos, construyeron un puente de 116 m de luz en Wettingen, sobre el Limmat. El año 1819, el arquitecto francés Betancourt construyó las armaduras de 44,60 m de luz para la cubierta del picadero de la Escuela de equitación de Moscú.

Escuela de Equitación, Moscú
1819, Betancourt, org.



Todas las construcciones de esta clase, en que la carpintería abordaba dimensiones extraordinarias, se hacían, lo mismo que las cubiertas de tipo medio, sin el auxilio de conocimientos científicos y únicamente a base de la práctica y experiencia acumulada durante siglos de artesanía, que les proporcionaban los datos para su progresivo perfeccionamiento. Presentaban, expresadas en forma resumida, las siguientes características: los sistemas de sustentación o estructuras portantes constaban de varias vigas jabalconadas superpuestas, que iban transmitiendo sus cargas a los pares y al tirante. Estos sistemas, desde el punto de vista estático, tenían múltiples grados de indeterminación y el curso de las fuerzas en ellos no era fácilmente discernible con precisión. Incluso con nuestros medios auxiliares modernos no sería posible un cálculo exacto de las escuadrías necesarias en sus barras. A estos defectos fundamentales de aquellas estructuras resistentes venían a agregarse algunos otros de carácter técnico. Todas las vigas eran trabajadas con la azuela y tenían, por consiguiente, formas y masas algo imprecisas. Las ensambladuras de carpintería eran un trabajo de artesanía que presentaba análogas deficiencias, por lo que no podían garantizar una transmisión uniforme de los esfuerzos. Debilitaban sensiblemente, además, la sección resistente de las barras y obligaban a emplear escuadrías excesivas. En esta fase de artesanía, con sistemas estáticos que exigían un elevado consumo de materiales y mano de obra, se hallaba estacionada la construcción de madera, cuando surgió un nuevo material de construcción: el acero laminado. Con atrevidos, ligeros y decorativos puentes y armaduras de cubierta de grandes luces, desplazó de este campo a la madera. Aparte de las elevadas resistencias a tracción y compresión del acero, su éxito triunfal fue debido ante todo al reconocimiento de la utilidad de la estática progresivamente científica y a la producción industrial de los laminados comerciales de tipo adecuado. Se aplicaron sistemas de entramado en que las fuerzas seguían un curso exactamente definido, por lo que el cálculo de las dimensiones en cada sección de las barras podía adaptar tales secciones a los esfuerzos que habían de soportar, aprovechando así totalmente la resistencia que dentro de los límites de las sollicitaciones admisibles podía rendir el material. Tanto los cordones como las barras de relleno de la celosía se hicieron de dos piezas y con el auxilio de robiones se unieron a las planchas colocadas en los nudos, de manera que los ejes de las barras de un nudo concurrían exactamente en un punto.

Con ello fue posible enlazar de la misma manera las barras de compresión que las de tracción y permitir la concurrencia de ellas en el número que se quisiera.

Luchando contra esta construcción racional a base de acero, en que cada kilogramo de metal y cada hora de trabajo se invertía conscientemente, las antiguas construcciones de madera se instalaban también económicamente en aquellos sitios en que podrían salvar técnicamente sin dificultad las luces requeridas.

Pero únicamente cuando los ingenieros que construían con madera aceptaron los principios estáticos y técnicos que servían de base a las construcciones de hierro y los aplicaron a las estructuras de madera pudo ésta sostener la competencia de la construcción metálica nuevamente en el campo económico, siendo entonces cuando pudieron combinarse las propiedades características de ambos materiales.

Para poder comprender bien las posibilidades de rendimiento de la madera y emplearla así con la máxima economía, se estudiaron a fondo sus propiedades y la manera como se comporta en las más diversas condiciones y formas de sollicitación. De modo especial, la escasez de madera, cada vez más apremiante durante los años de la posguerra, obligó a una utilización y aprovechamiento integrales de sus resistencias. Los estudios e investigaciones prosiguen, pero en lo relativo a sus principales resistencias han conducido ya a resultados fijos que han sido recogidos en la norma DIN 1052 y constituyen la base para el cálculo de dimensiones y la ejecución de todas las construcciones de madera.

Propiedades de la madera

La madera es el último material natural —y aun orgánico— que todavía hoy, y de nuevo cada vez más, se emplea en construcción, y no sólo para los trabajos de acabado. En los exteriores de las edificaciones se encuentran hoy todavía, en algunos casos, entramados de madera, y, más frecuentemente, revestimientos de tablas en paredes de fachada. Para las cubiertas inclinadas la madera ha quedado, hoy como siempre, el "material" por antonomasia. Mediante nuevos procedimientos de unión, ha sido posible construir, por medios industrializados, armaduras para naves de gran anchura, se han creado las estructuras encoladas y últimamente las estructuras laminares y plegadas. De todos los árboles derribados, que para algunos países son un importante artículo de exportación, la mitad se emplea para madera de construcción.

Los árboles cuya madera es más empleada en construcción son los pertenecientes a la familia de las coníferas: pino, abeto, pinalte, etc., en sus muchas variedades. Los primeros árboles de esta familia aparecieron en el Mesozoico, en el período Pérmico. En el Jurásico, la era de los grandes reptiles, eran las plantas dominantes. Los árboles frondosos aparecieron más tarde, en el Cretáceo.

Además de los árboles de la familia de las coníferas, desempeñan un importante papel en la construcción algunas frondosas, tales como el haya y el roble (maderas duras), que además de su utilización en las escaleras de madera tienen aún un empleo preponderante para cuñas, tacos, etc. A causa del aumento de rapidez y del abaratamiento de los transportes ha aumentado la demanda de maderas tropicales, que tienen aplicación sobre todo en trabajos interiores.

Constitución de la madera

Los troncos de los árboles de las especies frondosas están formados (anatómicamente) por células de tres clases, la célula base, la célula conductora y la célula acumuladora. Es distinto en las coníferas: sólo tienen una clase de células, que a la vez son célula base, conductora y acumuladora. Esto da por resultado la gran elasticidad de esta madera.

El cilindro de la médula es el primer retoño del árbol, y en los troncos viejos se halla casi siempre seco.

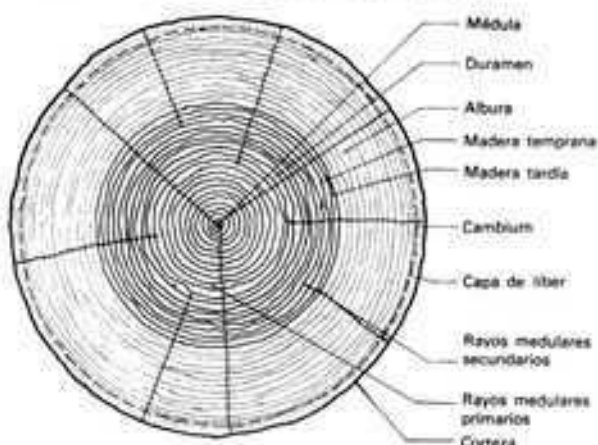
El duramen, con las células endurecidas, de color oscuro, es resistente y se deforma poco.

La albura, que comprende los anillos anuales más recientes, es la parte exterior más clara. Sirve principalmente para la circulación de la savia. Los anillos anuales más viejos van rellenándose lentamente de resina o goma.

Entre los anillos anuales se distinguen la madera temprana, con células de grandes espacios huecos, que actúa principalmente aspirando y guiando, y la madera tardía, con células de pequeños espacios huecos, en que domina el efecto sustentante.

El cámbium o capa de crecimiento forma hacia dentro nueva madera (células de fibra de madera) y hacia fuera fibras de liber.

CORTE DE TESTA DE UN TRONCO DE ÁRBOL DE DURAMEN



La capa del liber está como una envoltura de protección entre la corteza y el cámbium.

Los rayos medulares, primarios y secundarios, son células de acumulación, y aparecen en la sección radial como "espejuelos". La corteza protege el árbol contra los agentes exteriores.

Según la estructura de su madera se distinguen:

- Árboles de duramen, con un centro de duramen, oscuro, duro, rodeado de una zona de albura, clara, blanda; por ejemplo, roble, pino, nogal, ébano y manzano.
- Árboles de duramen claro, que tienen toda la madera del mismo color, pero que es más dura en el interior, como abeto, haya roja, arce del campo, tilo y peral.
- Árboles de albura, con toda la madera del mismo color y dureza, como el abedul, la haya blanca, el arce sicomoro, el arce platanoides y el aliso.

Madera de duramen Madera de duramen claro Madera de albura



La composición química de casi todas las maderas es la siguiente:

Carbono	50 %
Hidrógeno	6 %
Oxígeno	42 %

El resto es principalmente nitrógeno.

Como toda materia orgánica, claro está que la madera también puede tener defectos.

En primer lugar tiene que haber crecido recta, pues en caso contrario se contrae irregularmente.

La madera que ha crecido torcida se alabea al secarse y por lo tanto no puede emplearse en construcción.

Contracción e hinchazón

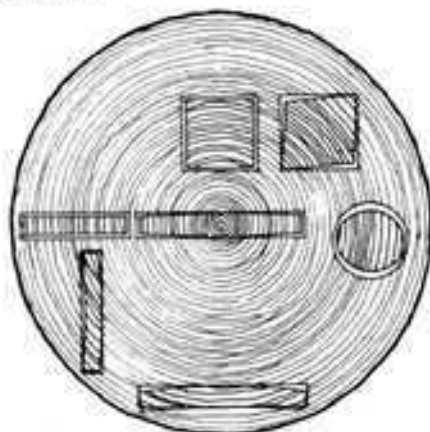
La madera recién cortada tiene aproximadamente un 60 % de humedad. La humedad de la madera se refiere siempre a la madera completamente desecada.

El punto de saturación de las fibras se alcanza con el 30 %, es decir, con este contenido de humedad el agua que gotea se evapora en el interior de las células, las paredes de las células están completamente hinchadas de agua y un nuevo descenso de humedad produce contracción.

Las maderas secadas al aire, para trabajos de exterior, deben contener aproximadamente del 15 al 18 % de humedad (humedad de equilibrio). Para elementos destinados a locales interiores con calefacción la madera a emplear debe tener entre el

9 y 12 % de humedad. La madera completamente seca es quebradiza y se agrieta y no puede utilizarse en trabajos técnicos. Las propiedades físicas de la madera son casi todas anisótropas, es decir, que son distintas en las diferentes direcciones dentro del mismo tronco. De aquí provienen los diferentes hinchamientos, contracciones y alabeos de los tablonés, según la forma como se han cortado los troncos. Los hinchamientos y contracciones se verifican sólo transversalmente en las fibras, mientras que las variaciones de longitud son prácticamente nulas. La madera cortada tangencialmente se contrae hasta un 10 %; la cortada radialmente sólo se contrae la mitad; la cortada paralelamente al eje del tronco, aproximadamente un 0,5 %.

CONTRACCIÓN DE LAS DIFERENTES PIEZAS DE MADERA EXTRAÍDAS DE UN TRONCO, SEGÚN LA POSICIÓN QUE OCUPABAN EN LA SECCIÓN DEL MISMO



La resistencia a la compresión en dirección perpendicular a la de las fibras es sólo la mitad de la resistencia en la dirección de las fibras. Aumenta con el grado de desecación y disminuye al aumentar el contenido de humedad. También tiene importancia en esto la cantidad de madera tardía que hay en cada anillo anual. Con la densidad crece también la dureza de la madera. Se diferencian la madera blanda, la de dureza media y la madera dura. El aumento de dureza se manifiesta también en el mayor peso específico.

Enfermedades de la madera

Se producen en primer lugar a causa de la descomposición de las fibras de la madera bajo la influencia de la humedad, por ciertos hongos, tanto en los árboles todavía vivos como en los árboles cortados o en las piezas de madera ya elaborada. Entre las enfermedades de la madera más frecuentes en los árboles vivos están la pudrición blanca y la pudrición anular. Una de las enfermedades más extendidas en la madera elaborada es el hupe. Ataca sólo la madera que se ha empleado insuficientemente seca y que ha quedado situada de modo que no tienen acceso a ella la luz ni el aire. La formación del hupe de la madera se hace por esporas que en condiciones favorables forman el micelio, que aparece como una telaraña. De allí proceden los sarcocarpios que destruyen completamente la madera. Si no se combate oportunamente, este hupe se extiende con rapidez y destruye la madera.

Para evitar la formación de hupe es necesario que las paredes cierren completamente el paso de la humedad y que la madera quede bien envuelta por el aire. Debe quitarse totalmente la madera podrida. Las juntas de la obra de fábrica que estén en contacto con la madera deben rasarse, o mejor quemarse, y las maderas que hay que adaptar allí deben ser impregnadas.

La pudrición azul ataca sólo a la madera de pino que se encuentra en un estado húmedo. El hongo no descompone las fibras de la madera, sino que ataca sólo el contenido del interior de las células (protoplasma) y le da un color azulado.

Entre los parásitos más frecuentes de la madera están el anobio, el capricornio doméstico y otros según la localización geográfica. Las partes de los árboles cortados son vaciadas por ellos desde dentro, de modo que los verdaderos daños no se aprecian desde el exterior.

Protección de la madera

La DIN 68800 se ocupa de la "Protección de la madera en la edificación". Las condiciones de calidad para los elementos de protección de la madera en la edificación (DIN 52175) han sido establecidas por la Arbeitsgemeinschaft Holzschutz-Güteschutz en la forma siguiente:

- Prescripciones técnicas para la ejecución de los trabajos de protección de la madera contra la destrucción por los insectos (prevención y lucha).
- Indicaciones técnicas sobre los medios de lucha contra los hongos destructores de la madera.
- Indicaciones técnicas para la protección química de la madera contra el fuego.

Protección contra la humedad

El mayor enemigo de la madera es el agua. Las construcciones de madera bajo la influencia de la humedad, los cambios de temperatura y una aireación insuficiente están expuestas a la podredumbre, y a la acción de vegetales y animales perjudiciales. En edificios cerrados puede evitarse suficientemente la penetración de la humedad, para que se mantenga un contenido de humedad < 20 %.

En primer lugar deberían emplearse sólo maderas con la humedad del ambiente. Si esto no es posible, debe procurarse que todas las maderas, incluso después de colocadas en obra, puedan continuar secándose, esto es, que queden por todas partes en contacto con el aire y que no quede ningún lugar cerrado a la circulación del aire.

El contacto con materiales húmedos o higroscópicos debe evitarse absolutamente; entre madera y obra de fábrica u hormigón debe interponerse una materia estanca (DIN 4117: Aislamiento de las construcciones de madera contra la humedad del suelo). Esto es importante especialmente para las vigas de los techos y para los pies derechos que están en contacto con el suelo a fin de que no asciendan humedades por ellos. En las testas de las vigas empotradas en las paredes de fachada hay que poner planchas de aislamiento térmico para evitar las humedades de condensación.

En los pisos con vigas de madera hay que procurar que tengan una aireación permanente. Las construcciones de madera expuestas a los agentes atmosféricos han de estar dispuestas de tal manera que el agua pueda deslizarse por su superficie sin penetrar en las uniones entre las distintas piezas. En general las precauciones constructivas no son suficientes para lograr una eficaz protección permanente de la madera. La mayoría de las piezas de madera, que actualmente se colocan en obra cuando todavía están insuficientemente secas, necesitan una protección química adicional. Especialmente en los elementos que quedan al exterior es necesario, para evitar los cambiantes efectos de la atmósfera, una impregnación mediante un tratamiento superficial, o mejor, una imbibición de las piezas de madera.

Protección contra los insectos

Cuando se presente la carcoma, al principio lo mejor es combatirla con gases venenosos que se absorben por la respiración, pues los gases, aplicados con un frasco pulverizador, con unos días de intervalo, penetran profundamente en los canales labrados por los gusanos. Después los agujeros se tapan con cera. Cuando se presenta el capricornio doméstico, hay que tratar químicamente toda la madera. En las piezas atacadas hay que empezar por quitar las partes destruidas y quemarlas inmediatamente. Si por motivos estáticos no puede prescindirse de las partes suprimidas, habrá que sustituirlas. Después de rasar los canales que han quedado abiertos, se aplica el tratamiento químico de protección, incluso a las piezas de madera que se hayan incorporado de nuevo.

Para el saneamiento de la madera atacada por insectos también puede emplearse un procedimiento a base de aire caliente y penetración de gases, seguido de un tratamiento químico.

Protección contra los hongos destructores de la madera

En primer lugar hay que evitar la causa del ataque de los hongos, o sea, la humedad. Después se destruirán todas las formaciones de hongos y mohos. Las partes atacadas deben ser separadas,

llevándose un buen trozo más que la parte visiblemente dañada. Si hay que colocar nueva madera en sustitución de la dañada, se procurará efectuar una desecación completa de los elementos de la construcción. Si no es posible eliminar la humedad de la obra en un tiempo suficientemente corto, entonces la madera que debe colocarse nuevamente se somete a un tratamiento en caldera de presión o en cuba de impregnación, o bien se protegerá químicamente con pastas, vendas y mediante tratamientos de los agujeros. Si por el contrario es posible una rápida y segura desecación puede ser suficiente el empleo de protecciones por inmersión, pulverización o pintura.

Protección contra el fuego

La protección de la madera contra el fuego, principalmente de la madera de construcción, está reglamentada en las normas sobre la construcción y en la DIN 4102: "Condiciones de resistencia de los materiales y elementos constructivos contra el calor y el fuego".

Esto afecta principalmente a las distancias entre los elementos de madera y las chimeneas, los hogares y calderas y los revestimientos de plancha, cartón-amiante, revoques, etc.

Las maderas pueden hacerse difícilmente inflamables también con un tratamiento químico. En las nuevas construcciones este tratamiento no puede aplicarse hasta que los edificios están cubiertos, pues si los elementos tratados se ven afectados por una lluvia imprevista deben ser tratados de nuevo.

Como protección contra las llamas se emplean hoy principalmente pinturas con materiales productores de espuma a base de resinas sintéticas. Si también hay que aplicar a la vez un tratamiento de protección contra los insectos o los hongos, la pintura de protección contra el fuego debe formar la capa última y superior. Los medios de protección se aplicarán en varias capas de pintura o en varias pulverizaciones sucesivas.

Calidades de la madera de construcción

Las condiciones de calidad de la madera de construcción están reglamentadas en la DIN 4074. También se aplican, junto con ellas, las DIN 1052 (Obras de madera, cálculo y ejecución) y DIN 1074 (Puentes de madera, cálculo y ejecución). La DIN 68365 (Madera para trabajos de carpintería y ebanistería) se ocupa también de otras condiciones de calidad para las maderas que no se emplean en las estructuras resistentes.

La madera de construcción se divide en 3 clases, para lo que se tienen en cuenta los siguientes puntos de vista:

- La resistencia
- Los posibles defectos de la madera
- La conservación de las dimensiones de las secciones
- La anchura de los anillos anuales
- El número de nudos y su ancho en relación con la anchura de las piezas
- La desviación de las fibras

Maderas que se emplean en construcción

1. **Abeto rojo:** madera ligera, blanda y muy resistente; se puede teñir y colorear bien, pero no admite bien el pulimento.

Peso: unos 450 kg/m³

Uso: buena madera de construcción; tableros; ventanas económicas.

2. **Abeto:** madera semejante a la anterior, pero más pobre en resina y de fibras algo más cortas; por lo tanto no admite esfuerzos a flexión tan grandes.

Peso: 400-450 kg/m³

Uso: buena madera de construcción.

3. **Abeto común:** madera más oscura, más dura, más compacta y más rica en resina que las especies anteriores, y menos elástica. El contenido de resina hace esta madera más dura con los cambios de humedad y las alteraciones del tiempo.

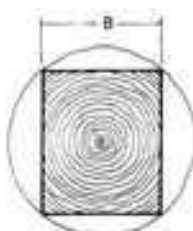
Peso: unos 450-520 kg/m³

Uso: ventanas, puertas, zancas de escalera, revestimientos y muebles.

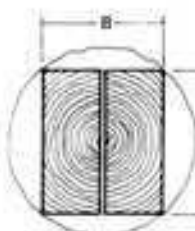
Inconvenientes: la madera sin pintar se hace fácilmente "azul".

CLASES DE MADERA, POR LA FORMA EN QUE SE HAN CORTADO LOS TRONCOS, SEGUN LA DIN 4074

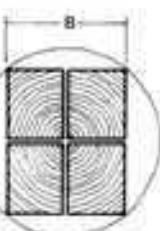
Tronco entero



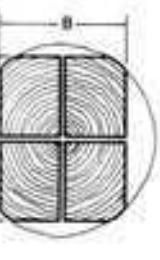
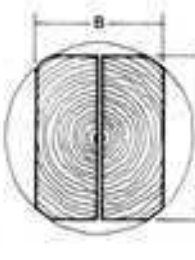
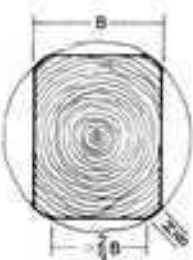
Tronco partido en dos



Tronco partido en cuatro

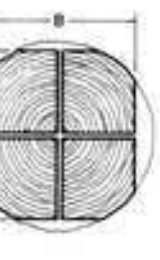
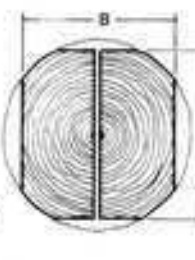
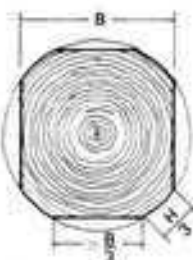


Clase de corte S: corte en canto vivo (no son admisibles en el tablon fibras de la periferia del tronco)



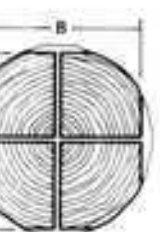
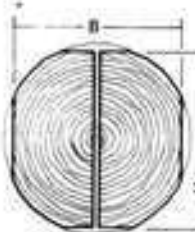
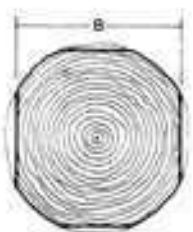
Clase de corte A: En cada sección transversal, por lo menos las dos terceras partes deben estar libres de las fibras periféricas del tronco. La periferia del tronco, medida oblicuamente, no debe ocupar más del octavo de la mayor dimensión (altura) del tablon.

Corresponde a la clase de madera I



Clase de corte B: En cada sección transversal por lo menos una tercera parte debe estar libre de las fibras periféricas del tronco. Medida oblicuamente, la periferia no debe ocupar más del tercio de la mayor dimensión (altura) de la sección del tablon.

Corresponde a la clase de madera II



Clase de corte C: Todo el tronco debe tener cortes de sierra rasantes en los cuatro lados.

Corresponde a la clase de madera III

Maderas de frondosas

El *haya roja* es muy dura, resistente y de fibra corta, no se hiede, es de fuerte deformación y sólo se conserva en ambiente seco. No puede emplearse para trabajos expuestos a los cambios atmosféricos.

Peso: 650-720 kg/m³

Uso: Estufada se emplea para parquet, peldaños de escalera, muebles. El haya no es madera de construcción y se emplea solamente para tacos, cuñas, llaves, etc., en la construcción de grandes armaduras de otras maderas.

El *roble* es muy duro, resistente, denso, tenaz: se conserva bien, resiste bien a los agentes atmosféricos y bajo el agua tiene una duración ilimitada. Se contrae y deforma poco; se puede teñir y colorear bien, pero no admite fácilmente el pulimento. La albura es casi inaprovechable. La madera de roble es poco elástica y contiene una gran cantidad de ácido tánico.

Peso: 670-700 kg/m³

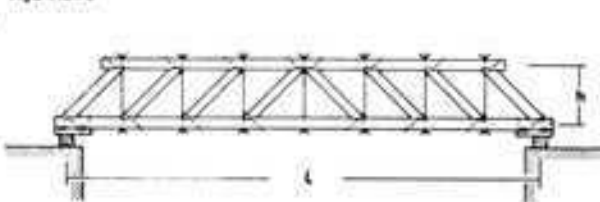
Usos: umbrales, traviesas, peldaños de escalera, grandes puertas, pavimentos y muebles.

Uniones en los trabajos industrializados de madera

El problema técnico principal que tenía que resolver la moderna construcción de madera para su progreso y perfeccionamiento era el de conseguir una perfecta transmisión de los esfuerzos en los nudos de enlace de las piezas. De los antiguos recursos que para las ensambladuras usaba la carpintería de armar únicamente se aprovechó el sencillo corte a espera o barbillas; todos los demás cayeron en desuso porque debilitaban demasiado la sección de barras. Es una de las características de las construcciones de madera para ingeniería que todas las barras se unan a base de extremos romos, sin trabajo de artesanía para su preparación. Las barras destinadas a soportar únicamente compresiones se apoyan simplemente sobre los cordones sin hacerles cajas ni espigas, fijando su posición sencillamente por medio de unos tacos clavados. Las dificultades para la unión de las barras sometidas a tracciones dieron origen a la invención de modernos elementos de enlace cuya aplicación ha acompañado al perfeccionamiento de las armaduras. En ellos puede decirse que se va leyendo toda la historia de la moderna construcción de madera. Principia ya en la segunda mitad del siglo XIX en América, cuando se empleó en la construcción de puentes, por vez primera, la viga de celosía de madera, denominada "viga Howe" que, perfeccionada en su forma, sigue todavía utilizándose.

En Europa, ese progreso se inició también hacia el final del siglo XIX, pero no recibió un poderoso impulso hasta que la primera guerra mundial y el período de posguerra subsiguiente ocasionaron una gran escasez y carestía del acero. De esa época datan muchas patentes de modelos de llaves y nudos de enlace. Los poseedores de esas patentes eran generalmente grandes empresas dedicadas a las construcciones de madera y en cuyo poder estaba el progreso técnico de la carpintería de armar. Nombres de casas como Christoph & Unmack, Kübler, Meltzer, Tuchscherer, etc., marcan esa ruta de progreso. Sin embargo, gradualmente, con la cooperación de profundos conocedores de la estática, tales adelantos fueron haciéndose sobre una base cada vez más amplia, de manera que, actualmente, la mayoría de los sistemas de armaduras, y precisamente los más económicos, procede de casas de gran prestigio y, en parte, pueden ser construidos en sencillas carpinterías. A ello contribuye el hecho de que, en este intervalo de tiempo, muchas patentes hayan quedado liberadas y los medios de enlace y unión más modernos y útiles puedan adquirirse libremente en el mercado.

Viga Howe

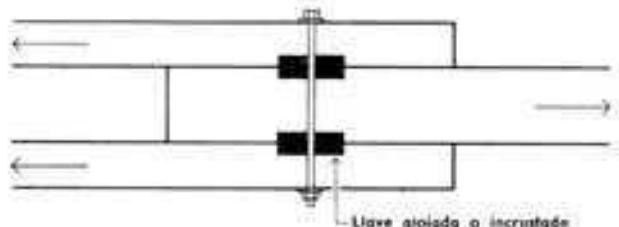
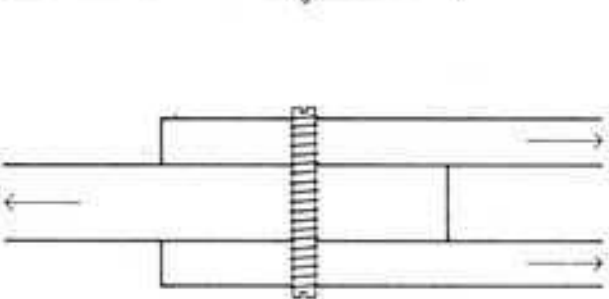
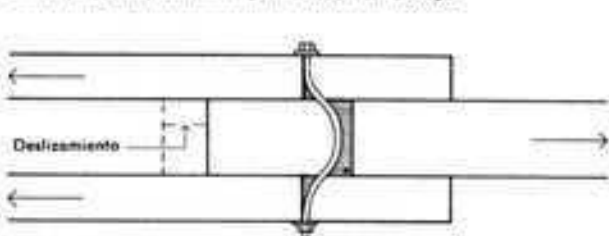


La Howe es una viga de cordones paralelos con jabalcones de madera y péndolas de acero, que van atornilladas a los cordones. Esta viga tiene la ventaja de que las deformaciones que le sobrevengan por la acción de las cargas pueden compensarse apretando las tuercas de las péndolas hasta dejarlas nuevamente tirantes. En su construcción se utilizan los medios de unión característicos de aquella época: la espera y el tornillo. A medida que se fue progresando se prefirieron, sin embargo, sistemas más ventajosos con montantes cortos sometidos a compresión, con menores longitudes de pandeo que los jabalcones, y diagonales tensadas largas.

Un nuevo problema fue el planteado por el difícil enlace de las barras sometidas alternativamente a tracción y a compresión. Era necesario hallar algún medio de enlace que permitiese unir todas las barras para que pudiesen indistintamente soportar compresiones y tracciones. Para la formación de nudos centrados se tomó de la construcción metálica el sistema de desdoblar los enlaces de los cordones y los de las barras de relleno. Se probó también a ligar esos nudos tan cómodamente como en las construcciones de acero por medio de placas; sin embargo, debido al modo de trabajar de la madera y a su mayor elasticidad, esas placas no dieron el resultado apetecido.

La unión de las barras mediante pernos sólo se pudo emplear en el caso de cargas pequeñas. A causa de los gruesos espesores de madera que había que unir resultaba, para los pernos, una exagerada longitud en relación con su diámetro; como consecuencia de ello eran solicitados por flexión de manera predominante, hasta el punto de curvarse, con lo cual se producía un huelgo en los agujeros, a causa de la pequeña resistencia de la madera contra la presión lateral ejercida por el perno. Así es que la unión por medio de pernos pasantes presenta una inconveniente falta de rigidez. Como elementos capaces de mayor resistencia, puede contarse con los tubos de mayor diámetro, que también se conocen con la denominación de "llaves o clavijas tubulares". No se flexan tan fácilmente como los pernos y ofrecen a la madera una mayor superficie para repartir la presión en la parte comprimida de la superficie interior del orificio. Su eficacia y buen resultado dependen, sin embargo, asimismo de su ajuste exacto en los orificios abiertos para su alojamiento.

Enlace por perno, deformado por la acción de la carga



Aún más eficaces y además menos debilitadoras de la sección transversal de las piezas son, sin embargo, aquellas llaves que sólo penetran en parte en la sección de la madera, en tanto que la sujeción lateral del enlace de las barras sólo se efectúa con pernos delgados.

Llaves o tacos

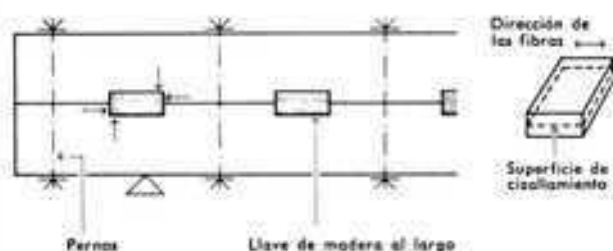
Las llaves sufren solicitaciones en las que suelen predominar las compresiones y los esfuerzos cortantes y, según que su forma sea más o menos alta, también sufren esfuerzos de vuelco. Por si solas transmiten las fuerzas del enlace, mientras que los pernos de sujeción sólo participan en una reducida proporción en la transmisión de los esfuerzos cuando tienen que impedir el vuelco de las llaves.

Hay que distinguir las llaves alojadas, que se introducen en cavidades previamente abiertas para ellas en la madera, y las incrustadas, que, sin previa preparación de la madera, se hacen entrar en ella a la fuerza; hay además llaves que hay que considerar en parte como alojadas y en parte como incrustadas.

Para más detalles acerca del cálculo y la realización de los enlaces con llaves véanse las prescripciones contenidas en la norma DIN 1052, hoja 1, artículo 11.1.

La forma más antigua y aún hoy día utilizada es la de la llave o taco de carpintero. Para asegurar una perfecta y completa transmisión de fuerzas, hay que colocarla entre maderas cuyas fibras sean paralelas a las suyas, es decir, sólo debe emplearse como "llave de madera al largo" de madera dura, como haya o roble. Como máxima tensión de compresión admisible en los cantos de los encajes que contienen las llaves, o como resistencia al cizallamiento, independientemente de la relación entre la longitud de la llave l_d y la profundidad de encaje t_d se tomará en el cálculo

para $l_d/t_d \geq 5$	85 kg/cm ²
para $l_d/t_d < 5$	40 kg/cm ²



Cuando hay que colocar varias llaves difícilmente se logra un alojamiento bien ajustado. En tales casos, es mejor recurrir a las nuevas formas de llaves que fácilmente pueden colocarse con la indispensable precisión.

Las modernas armaduras de madera cuyas secciones están calculadas con vistas a la economía de material y a la perfecta transmisión de los esfuerzos exigen unos enlaces ejecutados con extrema precisión y un ajuste perfecto de todos los elementos de enlace procurando substituir el trabajo hecho a mano, que siempre es algo inexacto, por el realizado con toda precisión por las máquinas-herramienta. Esta necesidad es la que vinieron a llenar las modernas llaves alojadas, que presentan siempre una forma circular y cuyo alojamiento puede ser fresado con una precisión de 1/10 de mm en las barras correspondientes. La fuerza que puede soportar una llave depende de su superficie comprimida, es decir, del diámetro y de la profundidad de penetración. Se fabrican de muy variados tamaños y de diferentes capacidades resistentes.

En la norma DIN 1052 anexo 2 se consigna una lista detallada y completa de formas, dimensiones, fuerza y disposición de los tipos de llaves admitidos como seguros, y de los diámetros de pernos que hay que emplear en cada caso.

Como base para la determinación de las cargas admisibles en las llaves que no están comprendidas en esta norma se efectuarán ensayos de rotura según DIN 4110, hoja 8, en laboratorios oficialmente reconocidos.

Llaves alojadas

Llaves de disco

La casa Kübler A. G., de Stuttgart, fabricó las primeras llaves redondas, en forma de disco, con madera dura. Con objeto de que pudiesen entrar a presión en sus alojamientos en las barras de madera y quedasen bien ajustadas en ellos les dio una forma de doble tronco de cono. Un perno que atraviesa la llave por un orificio practicado en su centro asegura la fijación de aquella en su alojamiento.

Llaves del mismo tipo se hacen también de fundición maleable y sirven para la transmisión de esfuerzos de las barras de madera a planchas o a pletinas de acero. Se suelen hacer, sin embargo, de menor diámetro y de mayor altura que las de madera mencionadas. El mayor peligro de arranque por vuelco que con ello podría correrse queda atenuado por el empleo de pernos más gruesos y por la presencia de las placas de acero en la unión.

Llaves de anillo

Las llaves de forma anular tienen, sobre las rígidas llaves de disco, la ventaja de poseer cierta elasticidad, que les permite adaptarse a las variaciones de forma que experimenta naturalmente la madera cuando trabaja, con lo cual siempre queda asegurada la uniformidad de la presión entre la llave y las paredes de su alojamiento.

Esto se refiere de modo especial al modelo con ranura del tipo que fabrica, entre otras, la casa Tuchscherer.

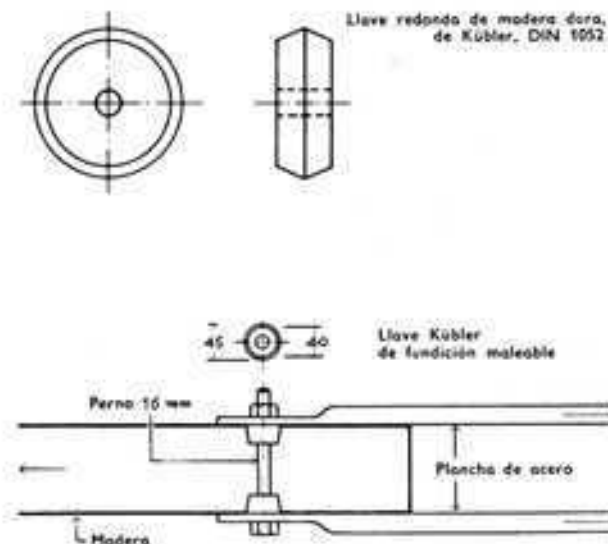
La llave anular se fabrica en tamaños de 10 a 30 cm de diámetro y de 2 a 6 cm de anchura con un grueso de 0,4 a 1,2 cm. Suele hacerse de acero fundido.

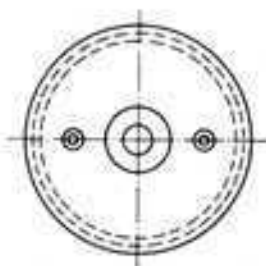
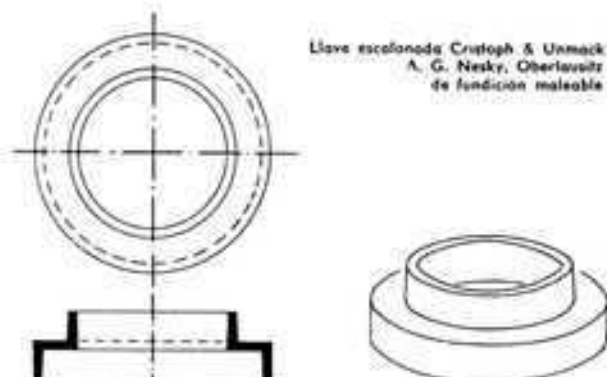
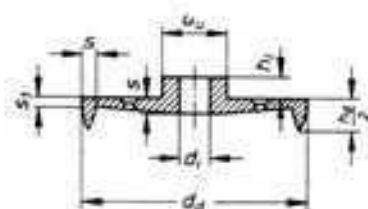
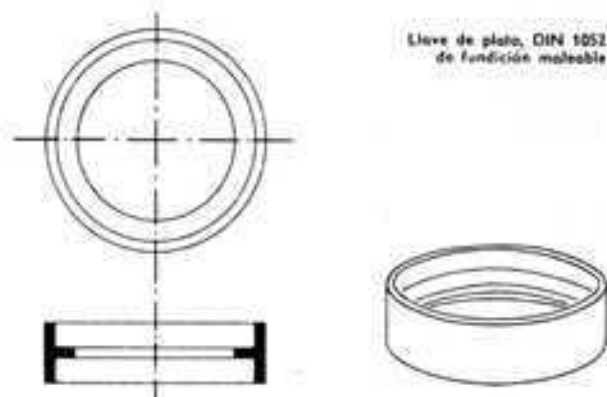
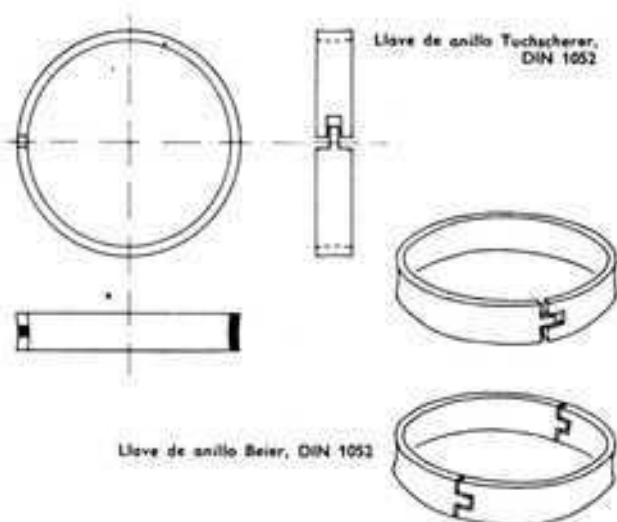
Llaves de plato

Las llaves "Christoph & Unmack" tienen sección en forma de T. El alma de esta T al apoyarse sobre la madera impide que se ladee la llave, peligro que siempre tienen las llaves de anillo simple. Como consecuencia de tal medida sufren muy pequeños desplazamientos aun con fuertes cargas.

Llaves escalonadas

La aptitud de la madera para soportar cargas es distinta según la dirección de la fuerza. Es máxima cuando la fuerza incide con la dirección de las fibras (como p. ej. en una junta o empalme para tracción) y baja a un 75% aproximadamente si incide la fuerza a 45°, llegando a ser de un 60% si la incidencia es perpendicular a las fibras. Estas propiedades de la madera son las que tiene en cuenta, p. ej., la llave de plato con forma escalonada de Christoph & Unmack. El anillo mayor penetra en la pieza con sollicitación oblicua o perpendicular a las fibras y el anillo menor encaja en la pieza sollicitada en la dirección de las fibras. Pueden así transmitirse grandes esfuerzos evitando excesos de escuadrías que de otro modo serían necesarios.





Llave nervada de anillo Appel

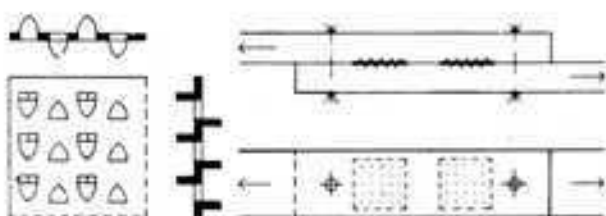
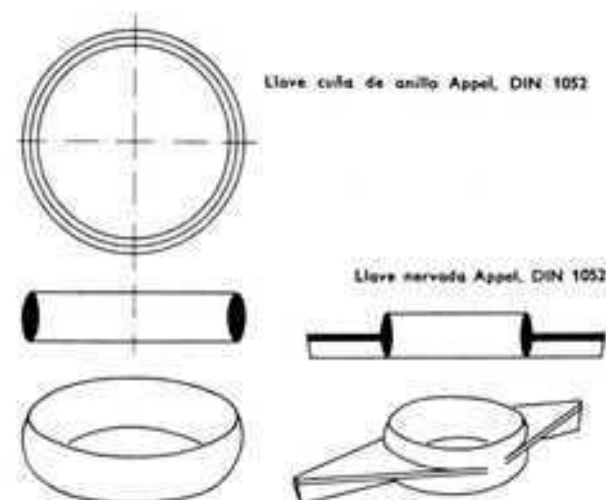
Llaves incrustadas

Las llaves alojadas requieren siempre un cuidadoso trabajo de preparación por medio del fresado de su alojamiento, trátase de orificios o de entalladuras; en cambio, tal operación deja de ser necesaria cuando se emplean llaves incrustadas; éstas ahorran, pues, trabajo y son, por consiguiente, casi las únicas que actualmente se usan.

Todas las llaves incrustadas quedan reservadas tan sólo para la madera de pino, y si son de chapa de acero requieren una pintura o revestimiento de protección.

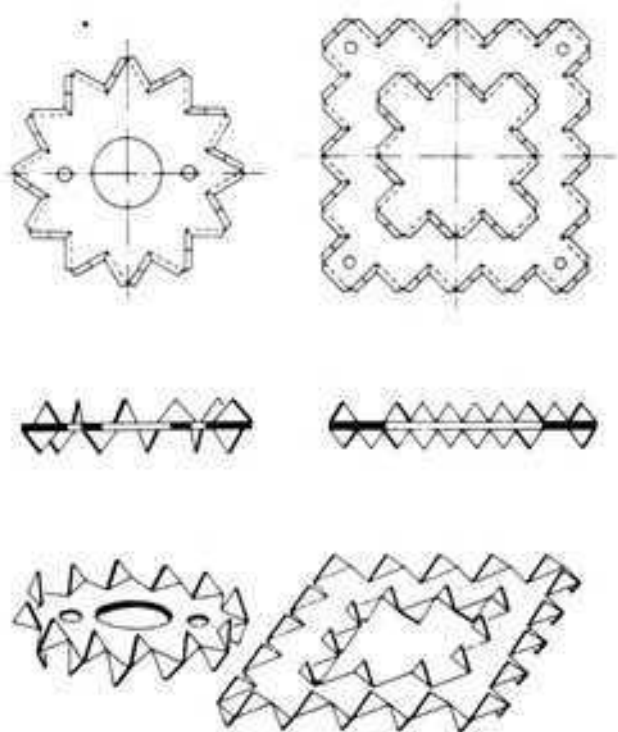
En construcciones expuestas en alto grado a vapores o gases nocivos sólo pueden emplearse llaves incrustadas que tengan un grueso ≥ 4 mm. Suelen ser aros o placas con dientes o púas. El tipo más antiguo de ellas, que ya fue patentado en 1891, era una plancha con dientes o puntas; se utilizaba para aliviar la fatiga de los pernos en los empalmes de tracción.

Las llaves incrustadas entran a presión mediante husillos, prensas hidráulicas o directamente mediante atornilladura por medio de pernos entre las maderas a empalmar. Sin embargo, los pernos sólo deben apretarse de tal forma que los ovalillos no penetren más que 1 mm.



Placas con uña: En 1920 fueron patentadas en Alemania las placas noruegas Bulldog. Son cuadradas, redondas u ovaladas con dientes levantados a lo largo de todo su perímetro. Los dientes suelen formar un ángulo de 100° con la placa, a fin de que tiendan a oponerse a la contracción de la madera.

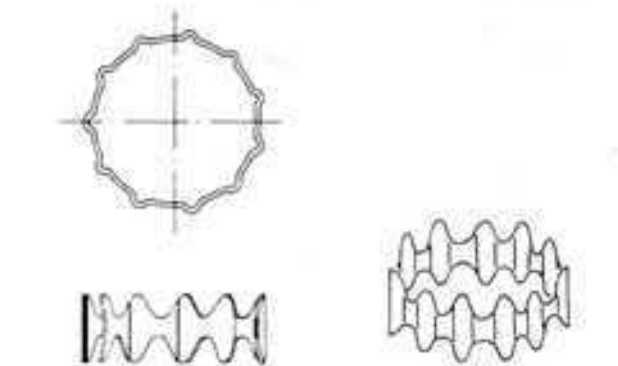
Uñas Bulldog de Heinrich Wilhelm, Bremen, DIN 1052



Llave de aro dentado

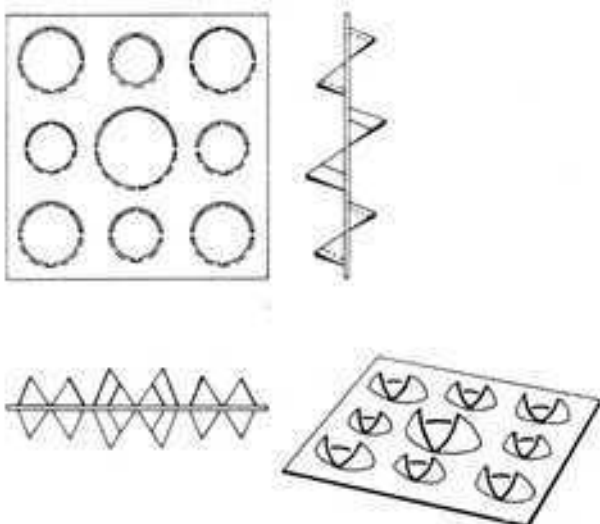
También las llaves "Alligator" de aro dentado son de invención noruega. Para aumentar el esfuerzo resistente, los dientes están algo combados hacia afuera. Caso de no bastar una llave para la transmisión del esfuerzo pueden colocarse dos de ellas de distinto diámetro, dispuestas concéntricamente. La interior sólo debe entonces trabajar a los $4/5$ de su resistencia.

Llave de aro dentado «Alligator» de A. W. Neugebauer, Hamburgo, DIN 1052



Las placas con uñas que fabrica la casa de maquinaria Wilhelm Pfrommer, de Karlsruhe, fueron ideadas por el profesor E. Gaber. En la placa de acero de 90×90 mm y de 1,5 mm de espesor se troquelan 9 orificios, en tal forma que en ambas caras de la placa le queden a cada orificio un par de uñas arqueadas. La forma algo abombada presta a las uñas una gran rigidez contra la flexión.

Placas con uñas «Pfrommer», DIN 1052

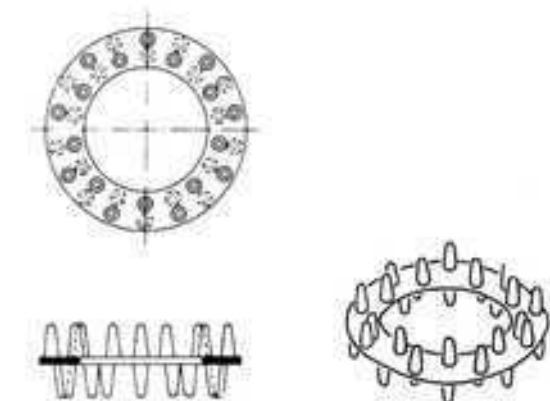


Llaves alojadas y llaves incrustadas

Las llaves de los siguientes sistemas pueden ser utilizadas como llaves alojadas o como llaves incrustadas. Su sección inclinada o en forma de disco debe fresarse previamente, mientras las púas y las uñas sobresalientes serán clavadas.

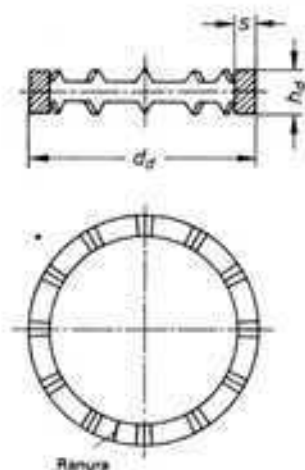
Llave de aro con uñas: La llave "Geka" de Karl Georg consta de un disco de fundición maleable de 3-4 mm de espesor con puntas redondas fundidas en uno o dos lados. Actúa de modo parecido a un grupo de clavos.

Llave «Geka», DIN 1052



Si hoy día la llave Geka es la que más se emplea, es debido a que de todas las conocidas es la más fácil de colocar. En tanto que las otras llaves incrustadas requieren un considerable esfuerzo para clavarlas, la llave Geka puede incrustarse con sólo un martillo algo pesado hasta que el disco se apoye sobre la madera, sin que las puntas sufran perjuicio. En el caso de madera de pino o de abeto, el disco se incrusta en la madera gracias a la presión del perno, cuya tuerca se aprieta lo preciso hasta conseguir tal propósito. Cuando se trata de madera dura como, por ejemplo, la del pino negro, que, por cierto, raras veces se usa, resulta necesario desde luego un fresado previo del alojamiento del disco.

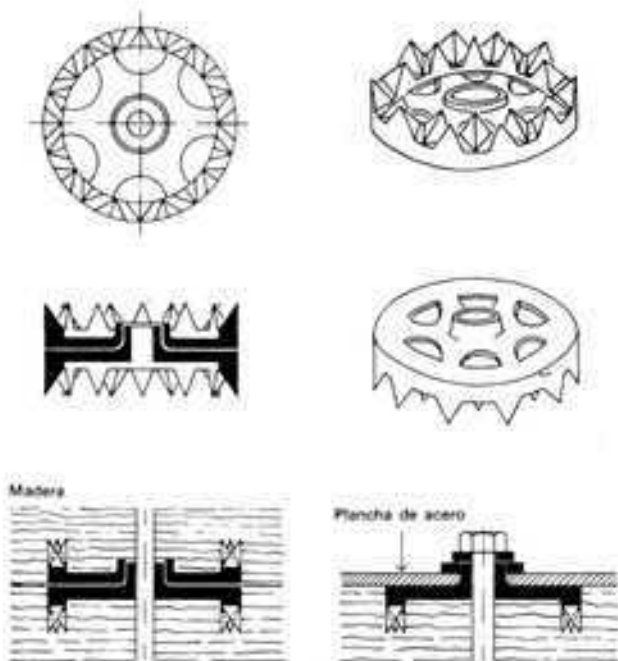
Contrariamente a las llaves planas "Geka", las del sistema Freers & Nilson se componen de un anillo en posición vertical. A media altura del alma debe fresarse previamente una ranura circular en la cual se introducen luego con más profundidad los dientes sobresalientes mediante la presión que provoca la unión.



Disco con uñas: Esta llave, desarrollada por Siemens Bauunion, hecha de fundición maleable, es un enlace aplicable de muchas maneras y puede ser utilizada como llave alojada o como llave incrustada; lástima que desde el exterior no es fácilmente accesible. Consta de 2 discos separados:

Uno lleva muñón o cubo y el otro no. El muñón del primero encaja, con un juego de 0,5 mm, en la abertura que lleva en el centro la otra pieza. Para unir dos barras de madera se empieza por fresar en cada una de ellas un encaje o alojamiento para el disco correspondiente, sin tener en cuenta la altura de las uñas o púas que sobresalen de él. A continuación se golpea o se aprieta la pieza valiéndose de un taco hueco, hasta que los dientes se claven lo preciso para que el disco quede enrasado con la madera. Al juntar las dos barras o piezas, el muñón saliente encaja en el orificio correspondiente y se logra un enlace resistente al esfuerzo de deslizamiento de una barra respecto de la otra. Un perno que entra por el centro de las llaves y atraviesa toda la madera sirve para ligar la unión y asegurar el nudo. Estos enlaces articulados en dos piezas tienen la ventaja de que, al contraerse la madera, poseen siempre un poco de juego sin que por ello se aflojen sensiblemente.

LLAVE CON UÑAS DE SIEMENS BAUUNION GmbH BERLIN-SIEMENSSTADT, SEGUN DIN 1052



La Siemens Bauunion emplea discos de uñas con diámetros exteriores de 55 y 80 mm. Los muñones de ambos tamaños de discos encajan uno en otro de manera que resulta posible, en la unión de barras que difieren en la posición de las fibras y la incidencia de las fuerzas respecto de las mismas, reunir un disco grande con uno pequeño para formar con ambos una llave. Los discos con uñas se conducen muy bien para la transmisión de fuerzas desde barras o piezas de madera a llantas de acero o incluso a placas metálicas dispuestas en los nudos. La Siemens Bauunion ha hecho patentar un nudo articulado en el que no resulta necesaria la división de los cordones o de las barras del alma.

Pernos

Las prescripciones para uniones con pernos (11.2 DIN 1052, hoja 1) comprenden todos los elementos de unión que penetran la madera perpendicularmente a la superficie de cizallamiento y están solicitados principalmente a flexión, sometiendo la madera a una presión sobre las paredes del agujero, como por ejemplo pernos roscados con cabeza y tuerca y espigas de varilla. Debido a la elasticidad de las uniones, en elementos constructivos que requieren rigidez y estabilidad de forma, los pernos roscados no deben aplicarse sin medidas especiales (p. ej. llaves) para la transmisión de los esfuerzos (véase DIN 1052, hoja 1, página 17, 11.2.2). El rozamiento que se produce entre las maderas debido al efecto de apriete de los pernos no debe tenerse en cuenta, ya que no actúa constantemente. En cambio, las espigas de varilla pueden aplicarse según la DIN 1052 en todo tipo de construcción y en todos los elementos constructivos. Sin embargo, en el caso de pernos de sujeción deben disponerse arandelas según DIN 436 o DIN 440; para uniones con espigas y con pernos resistentes se emplearán arandelas reforzadas, según la tabla 11, DIN 1052, tanto en el lado de la cabeza como en el de la tuerca.

Tabla 11. DIMENSIONES DE LAS ARANDELAS PARA UNIONES CON TACOS PARA UNIONES CON PERNOS RESISTENTES

Diámetro del perno	M 12	M 16	M 20	M 22	M 24
Grueso de la placa mm	6	6	8	8	8
Diámetro exterior en placas circulares mm	58	68	80	92	105
Longitud del lado en placas cuadradas mm	50	60	70	80	95

Las uniones resistentes deben componerse como mínimo de 2 pernos ≥ 12 mm $\varnothing$ o de 4 espigas de 8 mm $\varnothing$. Los agujeros de los pernos deben taladrarse con tal exactitud que el juego no sobrepase 1 mm; mientras las espigas se introducen en agujeros que son hasta 0,5 mm menores que su diámetro. Para las distancias mínimas entre pernos y entre espigas rige la tabla 12, DIN 1052 y las figuras expuestas a continuación.

Tabla 12. DISTANCIAS MÍNIMAS ENTRE PERNOS Y ENTRE ESPIGAS

	Pernos	Espigas
Entre sí	$7 \cdot d_p$	$5 \cdot d_{st}$
Al borde solicitado	mínimo 10 cm	$6 \cdot d_{st}$

La carga admisible de un perno o una espiga es, independientemente de la clase de madera y actuando en la dirección de la fibra,

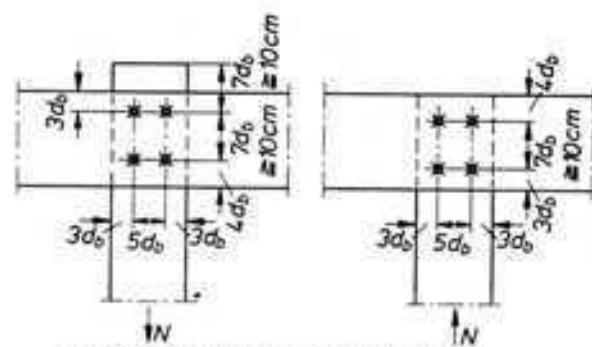
$N_{adm} = \sigma_{adm} \cdot a \cdot d \leq A \cdot d^2$ (kg), en donde:

σ_{adm} = tensión media admisible sobre las paredes del agujero de madera según tabla 13, DIN 1052 (kg/cm²)

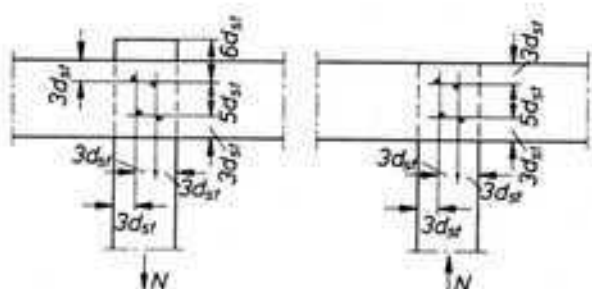
a = el menor grueso de la madera (cm)

d = $\varnothing$ de perno o espiga (cm)

A = valor fijo según la tabla 13, DIN 1052 (kg/cm²)



a) y b) distancias mínimas en pernos resistentes



c) y d) distancias mínimas en espigas de varilla

Distancias mínimas en uniones con pernos y espigas

En el caso de uniones con varias secciones la carga total admisible debe determinarse mediante la suma de las cargas admisibles de todas las maderas solicitadas en la misma dirección. Cuando las fuerzas actúan perpendicularmente a la fibra, estos valores se reducen en un 1/4, mientras en el caso de que las fuerzas actúen en un plano inclinado, los valores intermedios deben interpolarse linealmente. En cambio, al emplear bridas de acero (grueso mínimo 5 mm) en lugar de las maderas laterales, las fuerzas admisibles en la madera maciza pueden aumentarse en un 1/4.

Clavos

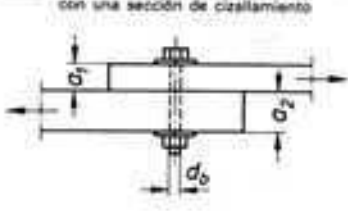
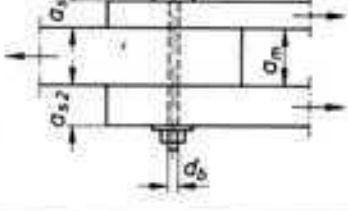
Los clavos, como medios de unión de la madera, tienen una antigüedad que se remonta a los tiempos más remotos. En su aspecto moderno fueron empleados en la construcción de cerchas de tablas: el primero de que hay memoria de haberlos empleado fue el arquitecto francés Filiberto de l'Orme, que en el siglo XVI se hizo célebre por sus atrevidas y airoas construcciones, como p. ej. un proyecto de cubierta de gran luz para un picadero. Sin embargo, aún transcurrieron tres siglos antes de que se estudiase seriamente y con precisión la resistencia de los clavos y de las uniones clavadas y se pudiese valorar de manera cuantitativa la importancia y la capacidad de carga de ese antiguo elemento de unión, aplicable ahora todavía a nuestras armaduras de madera de gran luz. Cuando ya el sistema de uniones clavadas se había acreditado y demostrado su eficacia en el extranjero y especialmente en Norteamérica, fue tardíamente autorizado en Alemania el año 1933. Anteriormente, el empleo de clavos en las piezas cargadas de una obra estaba prohibido. En la hoja 1 de la norma DIN 1052 se hallan fijadas todas las reglas para la ejecución de estructuras clavadas. La construcción característica consiste en el múltiple (y en parte exclusivo) empleo de tablas y tabloncillos, incluso para construcciones de amplias luces.

La escasez de tablas macizas explica la preponderancia de los maderajes ligeros, tanto si son clavados como encolados. La construcción con el sistema de uniones clavadas, al ser factor predominante el coste de la mano de obra, ha experimentado un nuevo impulso debido al desarrollo de las chapas para clavar.

Clavado y dimensiones

Un buen clavado reparte los esfuerzos por puntos pero lo más uniformemente posible sobre la superficie y la profundidad de la sección en contacto. Este clavado tiene casi los mismos efectos que una unión encolada, sin embargo el clavado mantiene tanta elasticidad que las tensiones secundarias son mucho menores que en aquella. Por consiguiente las uniones clavadas y las uniones encoladas no deben emplearse conjuntamente en una misma sección: una unión encolada es rígida y sólo después de su destrucción los clavos cumplirán su función resistente. Al emplear menos clavos pero más gruesos, la unión se parece a una unión con pernos, en la cual el deslizamiento o la elasticidad puede alcanzar dimensiones peligrosas. De este modo queda explicado que una unión con muchos clavos delgados es más resistente que una unión con pocos clavos gruesos. Si una unión

Tabla 13. VALORES DE σ_1 ADM. Y A EN kg/cm^2 PARA EL CÁLCULO DE LAS CARGAS ADMISIBLES EN kg . EN LAS UNIONES CON PERNOS Y ESPIGAS, SEGÚN LA ECUACIÓN EXPUESTA ANTERIORMENTE

	Clase de madera	Perno σ_1 adm.	A	Espeja σ_1 adm.	A
 con una sección de cizallamiento	NH	40	170	40	230
	EI, BU	50	200	50	270
 con dos secciones de cizallamiento	NH	85	Tablón intermedio 380	85	510
	EI, BU	100		100	600
	NH	55	Tablón lateral 260	55	330
	EI, BU	65		65	390

NH = madera de coníferas (europeas) EI, BU = roble, haya

clavada está sobresolicitada por cargas estáticas, los clavos se deforman sin llegar a romperse. De este modo la capacidad de carga se pierde totalmente, ya que los vástagos y las cabezas de los clavos se introducen cada vez más en la fibra de madera y las barras se desplazan unas respecto a las otras.

Los enlaces clavados deben componerse según DIN 1052 de ≥ 4 clavos; sin embargo los clavos de la madera de testa no deben considerarse como resistentes. La capacidad de carga de los clavos, en el plano perpendicular al vástago, se calcula para las maderas de coníferas por superficie de cizallamiento de cada clavo (con un diámetro de vástago d_n en cm), sin tener en cuenta la dirección de la fibra de madera, según

$$N_1 = \frac{500 d_n^2}{1 + d_n} \text{ (kg)}$$

Los clavos que atraviesan varias secciones de tablas se calculan según la siguiente ecuación (en donde m = número de secciones de cizallamiento)

$$N_m = N \times m \text{ (kg)}$$

Debido a la succión del viento a que está expuesta la construcción de la cubierta, ha de tenerse en cuenta que la resistencia de un clavado a la extracción en dirección del vástago es considerablemente menor que a los esfuerzos cortantes por el escaso rozamiento. La resistencia admisible a tracción aumenta con el diámetro y la longitud del vástago (profundidad de clavado) según DIN 1052, de aprox. 3 kg/cm en el caso de clavos de entablado de $\geq 3,1$ mm, hasta 11 kg/cm en el caso de clavos de cabios y de correas con 8 mm $\varnothing$.

Como clavos suelen emplearse exclusivamente unos alambres redondos con punta y cabeza avellanada de acero Thomas estirado en frío. Poseen una alta resistencia a la rotura de 6500 - 8500 kg/cm² y un límite de alargamiento de 90 - 95 %.

Los clavos se venden a peso (no por número de piezas) en paquetes de 1 kg o bien, para cantidades mayores, en cajas. Partiendo de las proporciones normales de los clavos, 1 kg de clavos se compone aproximadamente de

$$\frac{160}{d^2 \times l} \text{ piezas,}$$

y cada pieza pesa aproximadamente

$$\frac{d^2 \times l}{0,16} \text{ g, en donde } d \text{ y } l \text{ están en cm.}$$

La designación de los clavos está determinada de tal forma que el $\varnothing$ de los clavos se expresa en 1/10 mm y la longitud en mm. Por ejemplo, un clavo de 3,4 mm de diámetro y 90 mm de longitud se designa con 34 x 90. En la tabla 14, DIN 1052/1, se exponen las dimensiones más corrientes de clavos, los correspondientes groesos mínimos de las tablas, la profundidad de clavado y las cargas admisibles por superficie de cizallamiento del clavo.

La longitud de los clavos a emplear es función del número de secciones de cizallamiento o cortadura. Sólo para alguno de los más corrientes diámetros de clavos hay varias longitudes de vástago. Cuando un clavo une tres barras o groesos de madera, de los cuales el de en medio trabaja en dirección opuesta a los otros dos, se obtiene una unión clavada de esfuerzo cortante doble con dos secciones resistentes a la cortadura. La fuerza de cada clavo queda duplicada en este caso. A pesar de todo, en la mayoría de los casos es más conveniente emplear clavos cortos y delgados con una sección de cortadura, por las siguientes razones: el clavo abre las fibras y solicita la madera en sentido de desgarrarla tanto más cuanto más grueso es el clavo y más delgada la tabla. Así pues, a cada espesor de madera le corresponde un grueso de clavo. Para uniones de maderas de diferentes groesos deben escogerse los clavos guiándose por el espesor de la madera más delgada.

La naturaleza o clase de la madera también desempeña su papel en este problema.

Las tablas con anillos anuales anchos y blandos o la madera húmeda tienden menos a rajarse que las maderas duras, quebradizas o secas. Una madera algo nudosa, si se hace el clavado con el debido discernimiento, no resulta más desfavorable que la desprovista de nudos. Caso de que sea necesario, los agujeros

de los clavos se barrenarán previamente. La resistencia a la tracción de la madera, sin embargo, desciende si los nudos son muy numerosos. Para barras sometidas a fuertes solicitaciones se escogen, por consiguiente, maderas lo más limpias de nudos posible.

Grueso de la madera y profundidad del clavado

Para evitar que la madera se raje, en función del diámetro d_n del clavo está prescrito un grueso mínimo de la madera de

$$s = d_n (3 + 8 d_n) \geq 2,4 \text{ cm.}$$

En uniones entre placas de madera contrachapada y madera escuadrada se emplean para

groesos de placa $d \leq 8$ mm, clavos $d_n \leq 3,8$ mm
groesos de placa $d > 8$ mm, clavos $d_n \leq 4,2$ mm.

La capacidad de carga de una superficie de cortadura sólo puede considerarse como completamente efectiva cuando las puntas de clavos tienen una suficiente profundidad de clavado s . Para un clavado en ambas caras y que tiene varias secciones resistentes a la cortadura se toma con

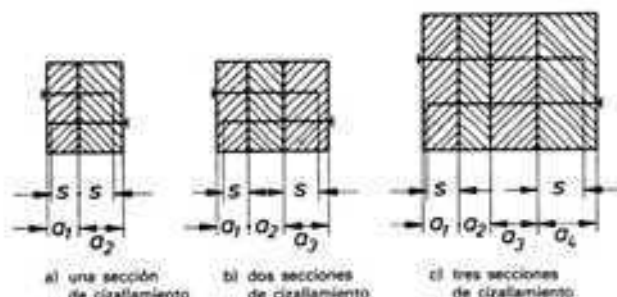
$s \geq 8 d_n$ toda la capacidad de carga N ,
 $s \geq 4 d_n$ la capacidad de carga N , reducida en la relación $s/8 d_n$,
 $s < 4 d_n$ la capacidad de carga $N = 0$, la última superficie de cortadura ya no puede tenerse en cuenta.

Para los clavados con una sección de cortadura se toman como valores límites correspondientes las profundidades de clavado

$$s \geq 12 d_n \text{ hasta } 6 d_n.$$

En maderas con barrenos previos (diámetro aprox. $0,85 d_n$ y profundidad de taladro $\geq$ profundidad de clavado) puede emplearse una capacidad de carga de $1,25 N$ y con clavos $\geq 4,2$ mm el grueso de la madera puede reducirse a $6 d_n$.

Para las uniones con clavos que se realizan con chapas metálicas de un grueso de $t \geq 2$ mm y que ya llevan los orificios para los clavos con el diámetro y la longitud del clavo, también puede contarse con 1,25 veces la capacidad de carga N por superficie de cortadura. Sin embargo, debe emplearse en este caso la profundidad de clavado $s \geq 15 d_n$. En cuanto a las chapas de clavado, debe comprobarse que poseen suficiente capacidad de carga, y en particular seguridad contra abollamiento, y garantizarse una duradera protección anticorrosiva.

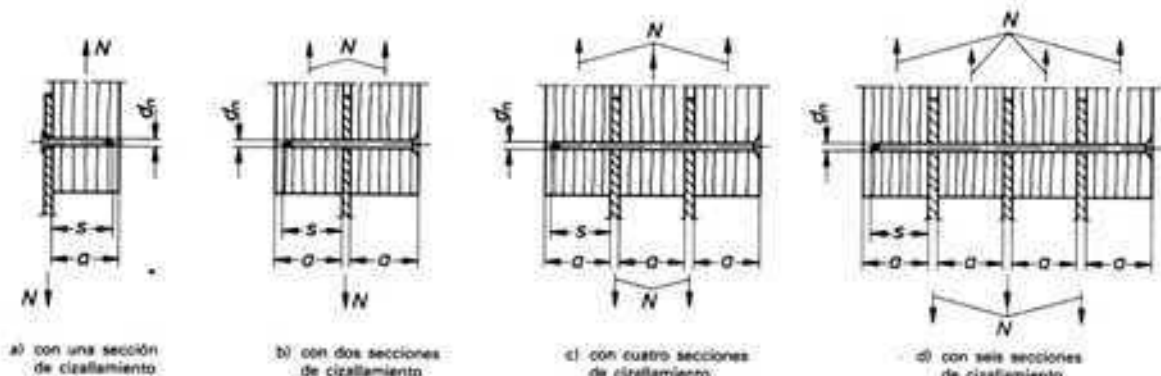


Gruesos de madera y profundidades de clavado en uniones clavadas

Separaciones entre los clavos

Para evitar que la madera se raje y para asegurar el pleno efecto de enlace resistente hay que atenerse a la DIN 1052 para las separaciones mínimas entre los clavos. La dimensión que sirve de punto de partida es el diámetro del clavo d_n . En la dirección de la fuerza los clavos han de estar $\geq 10 d_n$ uno de otro. Transversalmente a la dirección de la fuerza basta que las distancias sean $\geq 5 d_n$. La superficie que para el enlace requiere un clavo es, por consiguiente $\geq 50 d_n^2$.

Si se reparte esta fuerza N sobre una superficie de $50 d_n^2$ se comprueba, haciendo los cálculos, que la fuerza del enlace medida en kg/cm² es mayor con clavos delgados que con clavos groesos.



Gruesos de madera y profundidades de clavado en uniones de madera con chapas metálicas

Tabla 15: SEPARACIONES ENTRE CLAVOS

		Separaciones entre clavos paralelamente a la dirección del esfuerzo como mínimo	
		sin abertura previa	con abertura previa
entre sí	a la dirección de la fibra	$10 \cdot d_n$ $12 \cdot d_n^{(1)}$	$5 \cdot d_n$
	⊥ a la dirección de la fibra	$5 \cdot d_n$	$5 \cdot d_n$
al borde fatigado	a la dirección de la fibra	$15 \cdot d_n$	$10 \cdot d_n$
	⊥ a la dirección de la fibra	$7 \cdot d_n$ $10 \cdot d_n^{(1)}$	$5 \cdot d_n$
al borde no fatigado	a la dirección de la fibra	$7 \cdot d_n$ $10 \cdot d_n^{(1)}$	$5 \cdot d_n$
	⊥ a la dirección de la fibra	$5 \cdot d_n$	$3 \cdot d_n$

¹⁾ para $d_n > 4.2$ mm

Aunque el consumo de acero es mayor al aumentar el diámetro de clavo, se reduce la fuerza admisible de enlace, debido a la consideración del peligro de rajadura con la distancia admisible entre clavos. Si los orificios han sido abiertos previamente, las distancias mínimas pueden reducirse según la tabla 15. Al emplear chapas metálicas y placas contrachapadas son suficientes unas distancias al borde de $2.5 d_n$ y separaciones entre clavos, de $5 d_n$, siempre que no se trate de uniones con madera maciza.

Partiendo de las separaciones mínimas entre clavos en el caso de orificios no acepillados previamente, el número de clavos posible, cuya suma debe absorber los esfuerzos en la barra ($P = n \cdot N$), puede hallarse como se indica a continuación:

número posible de clavos por unión $n = r \cdot s$

número de filas posible

$$r = \frac{b - 5d_n}{5d_n}$$

número posible de clavos por fila con un borde cargado

$$s = \frac{l - 15d_n - 7d_n}{10d_n} + 1$$

número posible de clavos por fila con dos bordes cargados

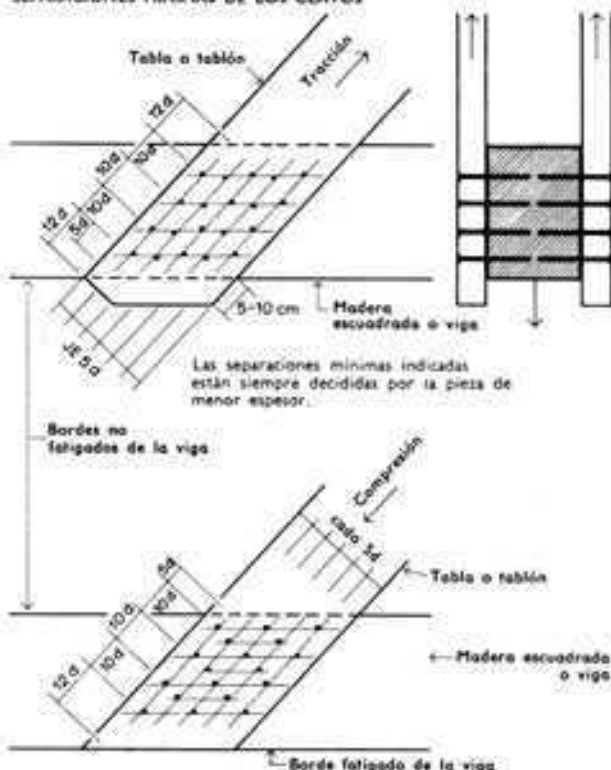
$$s = \frac{l - 15d_n - 15d_n}{10d_n} + 1$$

b = ancho necesario de la tabla

l = longitud necesaria de madera por fila

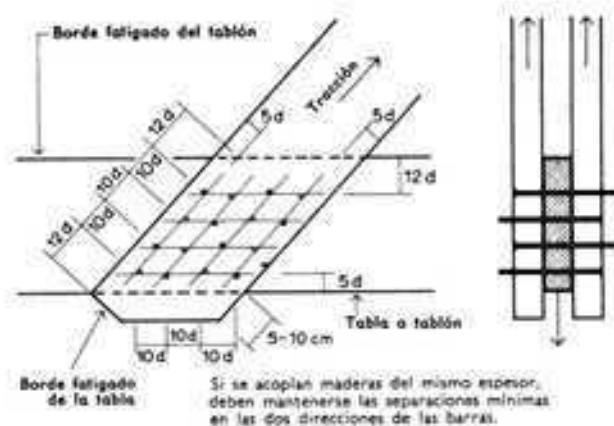
La aplicación de estas dimensiones mínimas requiere que todos los clavos se introduzcan de modo alternado (no axialmente uno tras otro). También en el caso de clavados solapados deben mantenerse determinadas separaciones mínimas en la dirección en que actúan las fuerzas. Dependen de la profundidad de clavado y del grueso de carga de la sección que tienen en común. Respecto a la capacidad de carga de una unión clavada, debe tenerse en cuenta para la disposición de los clavos que ≥ 10 clavos en una fila reducen la capacidad de carga de cada clavo en un 10 %; y a partir de 20 clavos se reduce en un 20 %, ya que no se puede contar con la plena colaboración de todos los clavos. Como distancia máxima entre clavos, tanto de los clavos resistentes como de los no resistentes, que sólo evitan el trabajo aislado de las distintas secciones, así como el pandeo y la deformación, la DIN 1052 prescribe $\leq 40 d_n$ en la dirección en que actúan las fuerzas y $\leq 20 d_n$ en la dirección perpendicular a la anterior.

SEPARACIONES MÍNIMAS DE LOS CLAVOS

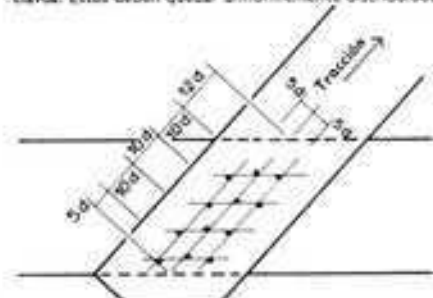


Ejecución y construcciones especiales

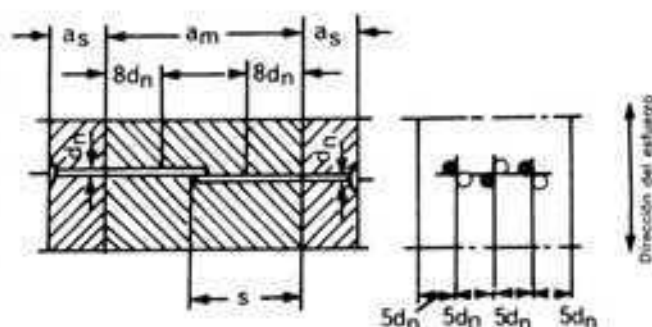
Una vez proyectada una armadura y fijadas las secciones de sus barras, las superficies de los enlaces y las secciones de los diferentes nudos, a base de su estudio estático se calcula en la siguiente forma el clavado de las múltiples e importantes uniones: sobre patrones de tablero delgado de madera contrachapada.



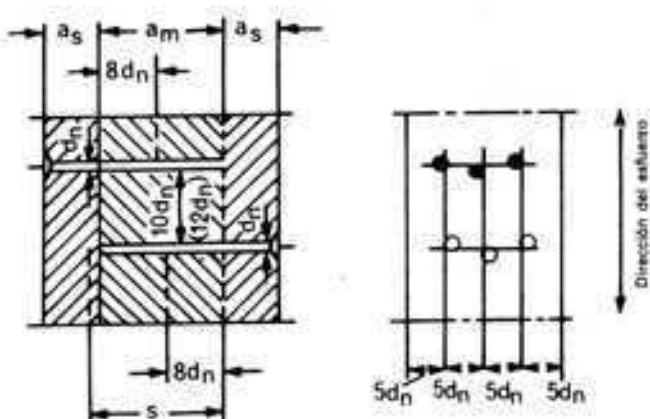
Por lo tanto, esta disposición no es correcta si hay espacio suficiente para los clavos. Estos deben quedar uniformemente distribuidos sobre toda la superficie del acoplamiento.



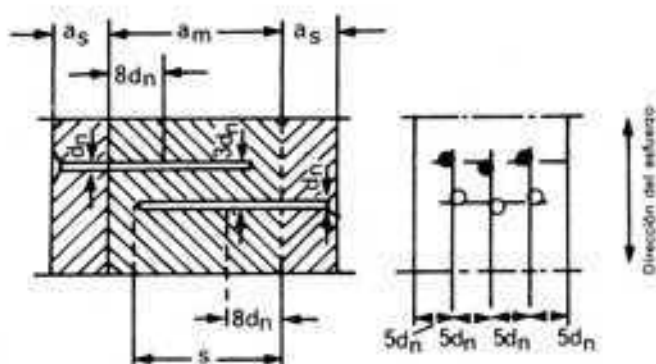
a)
 $a_m \geq (s + 8 d_n)$



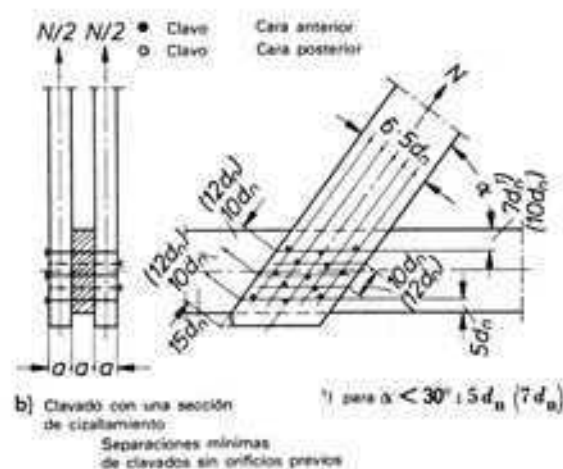
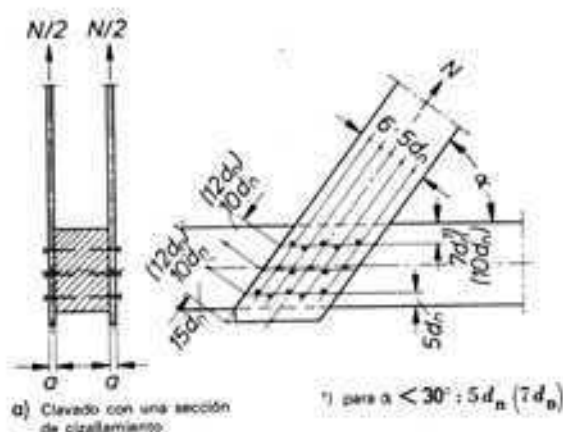
b)
 $a_m \leq s$



c)
 $s < a_m < (s + 8 d_n)$



Separaciones de clavos que se solapan



da se marca la distribución de los clavos mediante orificios y tales patrones o plantillas sirven entonces para marcar a su vez en los puntos de unión la situación de los clavos sobre las maderas. Al llevar a cabo el clavado, el operario procurará que no queden varios clavos seguidos sobre una misma fibra o veta de la madera. Los clavos se clavarán hasta dejar la cabeza al ras de la madera pero de manera que pasando el dedo por encima de sus cabezas estriadas se noten todavía éstas. Se suele renunciar las más veces a clavos mayores que atravesando totalmente la madera permitan remachar y doblar la punta, pues aun cuando esto aumenta la fuerza de retención del clavo, en cambio fácilmente estropea la fibra de la madera.

Las construcciones especiales buscan conseguir que (superando la DIN 1052) resulte un ahorro de material mediante una mayor capacidad de carga de los enlaces clavados y además poder sustituir el trabajo intenso de repartir y clavar a mano los grupos de clavos por un procedimiento mecánico.

Sistema Greim

La construcción Greim se funda en un sistema de enlaces desarrollado por W. Greim y H. Brunotte. En este sistema los esfuerzos en la barra se transmiten a los nudos mediante los clavos y las chapas metálicas. El sistema posibilita un enlace central resistente a la compresión y a la tracción de un número cualquiera de barras, y por consiguiente puede utilizarse para todas las construcciones con barras de madera. Se prescinde de bridas, tacos y otros elementos tradicionales de enlace. La reducción del consumo de madera y del correspondiente trabajo permiten una construcción económica. Debería utilizarse una madera de coníferas semiseca que corresponde como mínimo a la clase de calidad II (DIN 4074, hoja 1). En los puntos de enlace las maderas deben ser de arista viva. Para evitar al máximo la formación de grietas que resultan debido a la desecación, las secciones deben elegirse lo más pequeñas posible. Las cartelas de nudos deben hacerse de St 37-2 (DIN 1623, hoja 2) y han de estar galvanizadas. Las cartelas de nudos del sistema Greimbau deberían ser recubiertas adicionalmente de una materia plástica de alta adhesión, ya que las chapas están expuestas permanentemente a las influencias atmosféricas o al alto porcentaje de vapor de agua de los locales. Las cartelas tienen un grueso de 1,0 a 1,75 mm. Pueden disponerse hasta 6 cartelas de nudos, siempre que se mantenga exacta la separación prescrita (DIN 1052, hoja 1, párrafo 11.3.13/14/15). Al clavar las cartelas se deshíllan y se agarran en la madera como un taco, lo que produce un íntimo enlace, resistente al deslizamiento, entre la madera, el hierro y los clavos. El clavado se ejecuta con clavos de 2,5 - 4,2 mm de diámetro como lo prescribe la DIN 1052, hoja 1, párrafo 11.3.12.

Con una longitud adecuada de clavo puede realizarse un enlace con seis secciones de cizallamiento; esto quiere decir que es posible atravesar con cada clavo hasta tres chapas de nudos, a cuyo efecto resulta en cada chapa un enlace de dos secciones de cizallamiento.

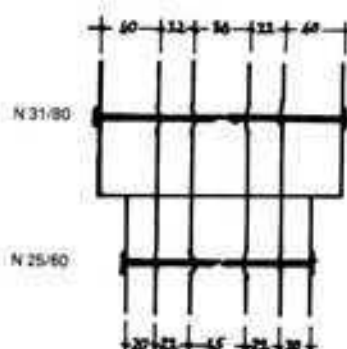
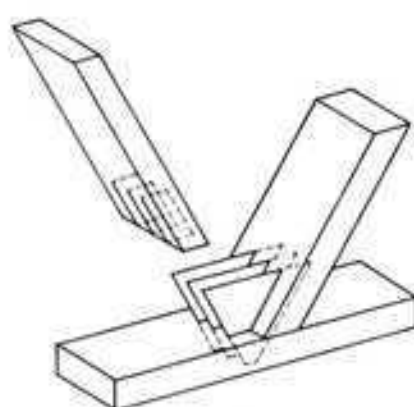
Siempre debe clavarse de ambos lados, sin embargo los enlaces resistentes contra el pandeo y la fuerza del viento forman una excepción. El sistema Greim distingue principalmente dos tipos de construcción:

— Cuando se trata de construcciones de entramado cuyas barras se componen de varias tablas, se colocan las cartelas de nudos entre las capas y luego se clava todo conjuntamente. La ventaja consiste en la posibilidad de poder comprobar la calidad de cada lámina antes del montaje.

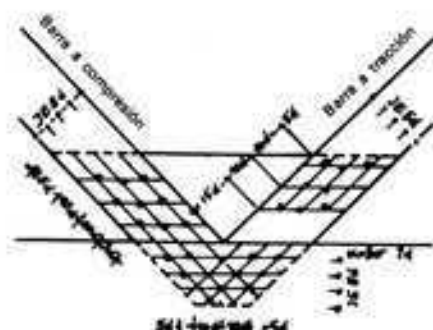
— Cuando se trata de construcciones de entramado con barras macizas, se abren los extremos de las barras mediante una hoja de sierra especial (grueso mínimo 2 mm), para poder introducir las chapas de nudos.

Sistema Gang-Nail

El sistema Gang-Nail trabaja con placas para clavar y ha sido desarrollado en los Estados Unidos durante los años cincuenta. Las placas de acero galvanizado llevan unas ranuras troqueladas y el material sobrante se ha doblado hacia abajo en forma de clavos. Desde ambos lados abrazan las barras unidas a tope. La capacidad de carga de un nudo con una sección de cizallamiento a cada lado está determinada por el grueso de la placa y el nú-



Chapa y clavos 1.5



Separaciones de clavos según DIN 1052 $d \leq 4.2$ mm

mero de espigas de clavos para cada tamaño de placa. Este sistema se adquiere bajo licencia y es muy adecuado para una ejecución totalmente mecanizada de armaduras ligeras de tablas.

Capacidad de carga de las placas Gang-Nail

Placa	para grueso de madera	N_{adm} , por clavo, en kg
GN 14	≥ 50 mm	$\frac{40}{2 \cdot \sin \alpha + \cos \alpha} \geq 20$
GN 18	≥ 40 mm	$\frac{80}{2 \cdot \sin \alpha + \cos \alpha} \geq 9$
GN 20	≥ 30 mm	$\frac{7.5}{1.5 \cdot \sin \alpha + \cos \alpha} \geq 5$

Ver indicaciones más precisas en el documento de autorización

A finales del siglo pasado el carpintero Hetzer de Weimar tuvo la idea de encolar las tablas corrientes con el fin de obtener unas grandes secciones macizas y emplearlas luego como estructura de carga. Con su trabajo Hetzer facilitó las bases para la producción de elementos encolados de madera. Sólo la escasez de madera después de la II Guerra Mundial proporcionó a la construcción con madera encolada su actual importancia. Por el empeño de conseguir con poca madera un máximo de capacidad de carga resultaron, mediante el encolado de tablas, vigas, pórticos y estructuras portantes de tipo entramado. Debido al empleo de resistentes colas de resina artificial y al desarrollo de técnicas racionales de producción, la construcción con maderas encoladas se ha impuesto en campos que hasta hace pocos años estaban reservados exclusivamente para el acero o el hormigón armado.

La producción de construcciones con elementos encolados requiere unos permisos especiales que deben renovarse cada 3 años.

- A. Válido para la ejecución de todos los elementos encolados de construcción.
- B. Válido para la ejecución de simples elementos encolados.
- C. Válido sólo para el encolado de triángulos, tornapuntas, cerchas.

Documentos

Para el proyecto y el dimensionado de elementos encolados de madera rigen respecto a la seguridad, la calidad del material y la ejecución las siguientes normas:

- DIN 1055 Solicitaciones de cargas en obras
- DIN 1052 Construcciones de madera (cálculo y ejecución)
- DIN 68140 Enlaces de madera
- DIN 4074 Madera para elementos constructivos

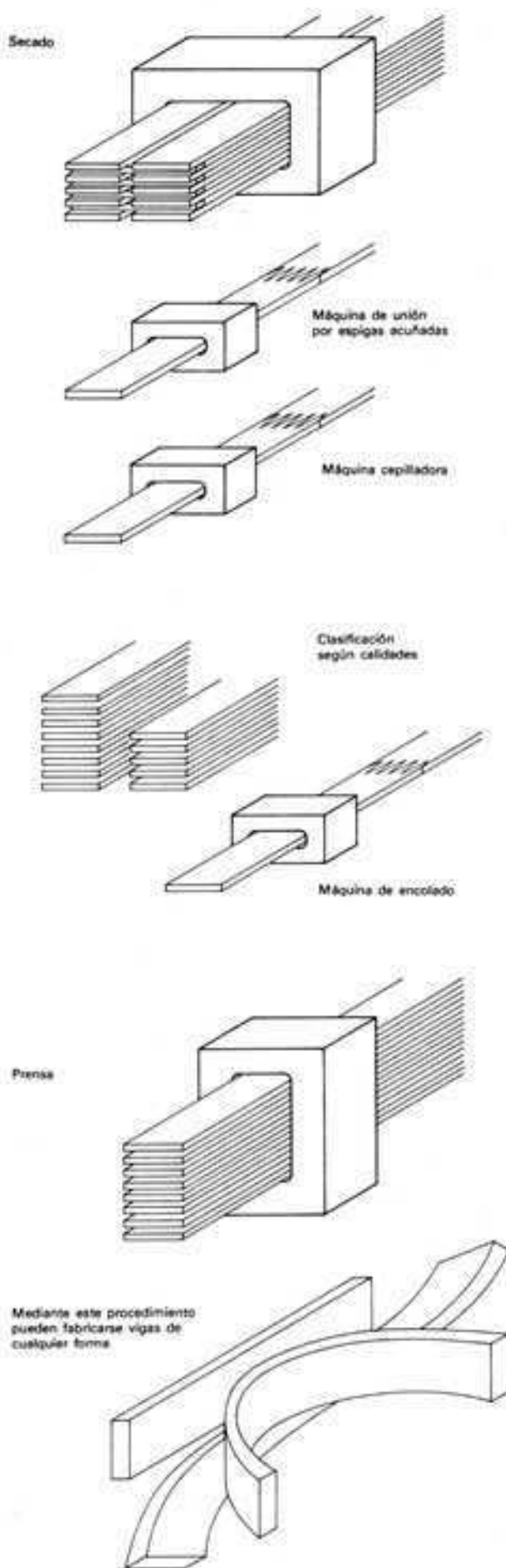
Calidad de la madera

Para los enlaces encolados sólo deben emplearse maderas secas de primera calidad (abeto rojo, pino con 2-15% de humedad). En secaderos de altas temperaturas se secan las maderas artificialmente. El contenido final de humedad de cada elemento depende principalmente del grado de humedad que tendrá una vez colocado en la construcción. De este modo se evita la formación de grietas debido a cambios climáticos. El contenido de humedad debe comprobarse con aparatos de medida eléctricos. La madera seca y apta para la construcción encolada está marcada con una señal al fuego. El calor del proceso de secado (80-100° C) extermina los animales dañinos, mientras los destructores vegetales de madera (hongos, hupe) no crecerán debido a la humedad relativamente baja (menos de 18%).

La calidad de las construcciones de madera encolada también depende de la homogeneidad del material; quiere decir esto que no se admitirán nudos grandes, los cuales han de recortarse de las tablas.

Tipos de cola

La consistencia en una atmósfera húmeda es de importancia decisiva en el empleo de colas. Para los elementos de la estructura portante deben haber sido sometidos a las pruebas que prescribe DIN 68 141 (Uniones de madera, comprobación de las uniones encoladas de elementos de carga en la construcción con madera). Para los elementos que no están expuestos a influencias atmosféricas basta con emplear colas de caseína y colas de resina sintética. Para los elementos que están expuestos a la humedad sólo pocas veces y durante poco tiempo pueden aplicarse colas de resinas sintéticas a base de urato de formaldehído o a base de formaldehído de resorcina. Para los elementos que están expuestos continuamente a la humedad o a climas calientes y húmedos sólo deben emplearse las colas de resina sintética a base de formaldehído de resorcina. Al emplear todas estas colas, deben observarse estrictamente las indicaciones del fabricante. Para controlar las propiedades de las colas empleadas, se realizarán encolados de prueba antes de iniciar cada obra.



Según la temperatura del encolado, distinguimos entre el encolado en frío hasta aprox. 30° C y el encolado en caliente de aprox. 50-80° C. El encolado a temperaturas entre 80° y 130° C reduce los tiempos de endurecimiento o de prensado de 20 a 2 horas. La resistencia al cizallamiento de las juntas encoladas con las colas citadas es mayor que la de las fibras de la madera. Las tensiones de cizallamiento admisibles de las juntas encoladas deben tratarse de la misma forma que las de la madera encolada (DIN 1052, hoja 1, tabla 6). Se evitarán en lo posible las tensiones por tracción que actúan perpendicularmente a la fibra de la madera. Las colas para madera se prueban según DIN 53 251 (Ensayo de colas para madera y encolados de madera, determinación de la fuerza de unión).

Fabricación de vigas encoladas

Las tablas rugosas de aserrado, elegidas especialmente para la construcción con madera encolada, se secan en un secadero a altas temperaturas hasta llegar a un bajo contenido de humedad de 2% a 15%. Las tablas secadas, de distintas longitudes debido a la eliminación de las partes con nudos, pasan por una instalación que las va uniendo en sus extremos por el sistema de "espigas acunadas". De esta forma la tabla se convierte en una "lámina" de la longitud deseada. En la siguiente fase de producción las láminas pasan por una máquina cepilladora.

Las láminas se clasifican en dos calidades (DIN 4047) para proporcionar una calidad lo más uniforme posible de la madera encolada. En una siguiente fase se aplica la cola mecánicamente en ambas caras de la lámina. Las láminas se apilan unas encima de otras o bien yuxtapuestas. Una prensa especial las transforma en un elemento de la longitud requerida. La longitud, la forma y la sección de los elementos encolados pueden adaptarse a las necesidades estáticas. Para las barras rectas de una anchura hasta 20 cm, basta colocar una sola lámina por capa. Cuando, en secciones mayores, se colocan en cada capa láminas a tope, las juntas han de disponerse desplazadas. Las barras de cualquier curvatura se realizan por el mismo procedimiento, para lo que el grueso de la lámina se elige siempre en una relación determinada respecto al radio de curvatura (véase DIN 1052, hoja 1).

Estructuras de entramado con barras de madera

Las estructuras de entramado para las cubiertas representan un avance técnico respecto a las antiguas estructuras suspendidas y de sustentación. Los entramados cubren grandes luces sin pilares y transmiten las cargas de cubierta directamente a las paredes exteriores, de modo que en el caso de un cambio de la distribución de espacios no hay que tener en cuenta aquellas cargas.

Los entramados de cubierta se componen de varias armaduras fijas triangulares de barras de madera. Los nudos se ejecutan como en la construcción de madera. En la mayoría de los casos las barras diagonales están sometidas a tracción y los montantes verticales, más cortos, están sometidos a compresión.

Armaduras triangulares

Son apropiadas para cubiertas de escasa luz y en el caso que tengan que soportar materiales duros como revestimiento de la cubierta, como p. ej.: tejas, placas onduladas de fibrocemento o pizarra. Con las pendientes que en estos casos hay que dar a las vertientes (y dejando aparte los edificios de gran altura), estas cubiertas resultan aún visibles desde el exterior para quien contempla el edificio. No debe, pues, emplearse, por poco que se pueda, el cartón asfáltico, si se trata de construcciones permanentes.

Cuando las luces son grandes, se producen en las piezas que

concurran en los apoyos (par y tirante) fuertes solicitaciones, con lo cual las armaduras obtienen una elasticidad bastante grande. Se construyen armaduras triangulares hasta para luces de 25 m y con inclinaciones del 25 al 33,33%, es decir, de 14° 2' hasta 18° 26'. La pendiente del 25% se suele ver únicamente en cubiertas que no lleguen a 15 m de luz; en las de luces mayores no debería nunca bajarse del 33 1/3% sin alguna razón que obligara a ello.

Pares de una sola pieza

Todos los montantes se apoyan a tope, sin mechas ni espigas, por sus extremos y las diagonales que trabajan por tracción, hechas a base de dos piezas, pueden ser de madera escuadrada con llaves o clavijas en los enlaces, o de tabloneros o tablas clavadas lateralmente sobre los cordones.

Los máximos esfuerzos en los pares se presentan junto a los apoyos. Como los cuchillos de madera, debido a la elasticidad de ésta, se comban algo con el tiempo, se divide el tirante en dos partes y se levanta su empalme central un 1/200 de la luz a modo de peralte, de acuerdo con la DIN 1052 hoja 1, párrafo 10.

La junta a tope donde se empalman las dos piezas se consolida con bridas de madera y llaves o con clavos.

Los cuchillos se apoyan de modo que los puntos de intersección de pares y tirante vengán a caer exactamente sobre el centro de los muros, pilares o pies derechos. Para repartir la presión se utiliza una robusta solera sobre la coronación del muro o placas de madera dura de tamaño suficiente colocadas en los apoyos de la armadura. Los cuchillos no deben ir empotrados en la obra, sino que han de quedar al descubierto para poderlos vigilar y observar siempre que convenga.

Pares y tirantes compuestos de varias piezas

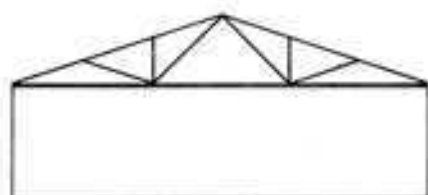
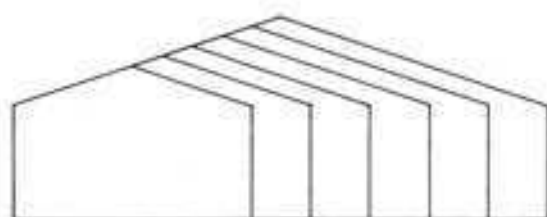
Cuando son difíciles de conseguir con una sola pieza las secciones necesarias para los pares y el tirante, pueden hacerse éstos también con dos piezas o bien empleando tabloneros o tablas, incluso con tres y con cuatro piezas. La longitud de ensambladuras y empalmes y el trabajo en ellos empleado son desde luego mayores, pero hay muchas ocasiones en que se facilita así la preparación del material.

En las armaduras con pares y tirantes de varias piezas, todas las barras que forman el entramado del alma del cuchillo van encajadas entre las piezas que los componen, de manera que las fuerzas que concurren en los nudos y que en ellos deben hallarse en equilibrio neutralizándose mutuamente no sufran ninguna desviación en los empalmes de las barras. Así, las componentes verticales de las diagonales deben poder transmitirse de modo inmediato a los montantes y las componentes horizontales al tirante. Mientras en los cuchillos hechos con madera escuadrada se puede mantener rigurosamente esta ley fundamental constructiva son muchas las veces, en cambio, que es necesario apartarse de ella cuando los cuchillos están hechos exclusivamente de tablas.

Suele ser más sencillo colocar todas las barras del alma en un mismo plano dentro de los pares y el tirante, aun cuando los puntos de intersección de los ejes de dichas barras ya no caigan en los ejes de los pares y del tirante y se produzcan por tal causa flexiones adicionales en las barras que habrá que tener en cuenta en el cálculo de sus dimensiones.

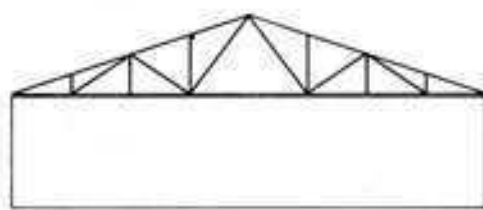
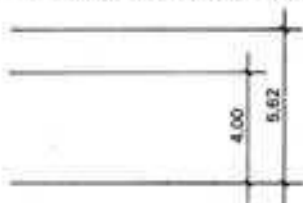
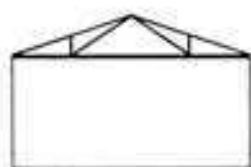
Sistema Greim

Varias chapas de unión delgadas dispuestas en el mismo sentido, introducidas en secciones de madera maciza o colocadas entre láminas, posibilitan el ensamblaje de muchas barras en un nudo de modo resistente a la tracción y a la compresión. Hasta tres chapas de unión pueden clavarse conjuntamente con la madera sin que sea necesario abrir previamente los agujeros; cada chapa cuenta como una unión de dos secciones de cizallamiento. El sistema constructivo se concede en licencia y permite, para un mismo número de clavos y barras, mayores luces o construcciones más esbeltas y un menor consumo de madera.

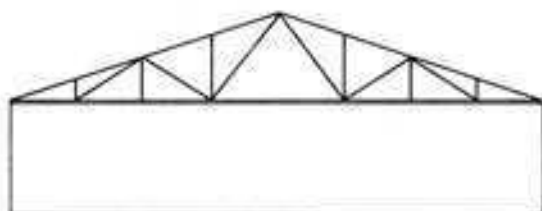
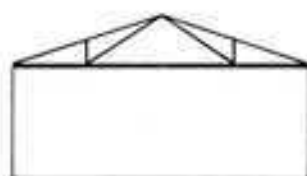


1584

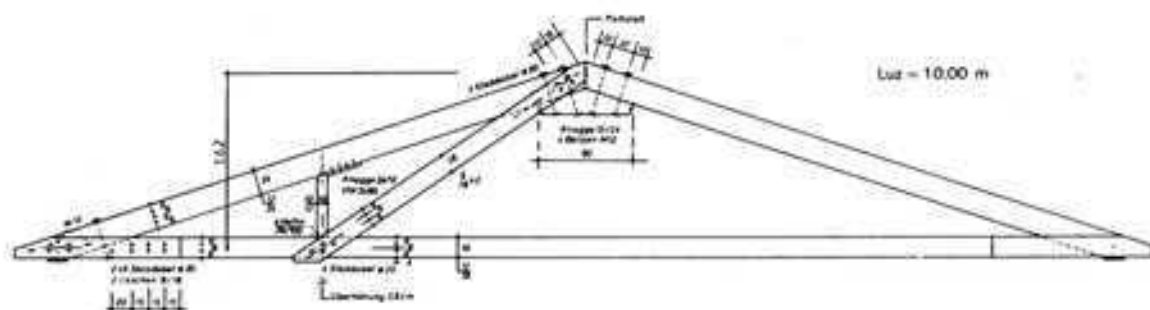
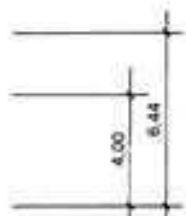
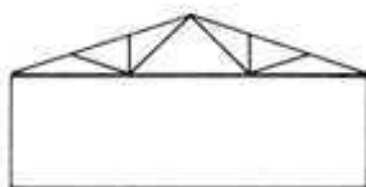
Altura constructiva	1,62	2,03	2,44	2,84	3,25	3,62
Lu*	10,00	12,50	15,00	17,50	20,00	22,50



7,26

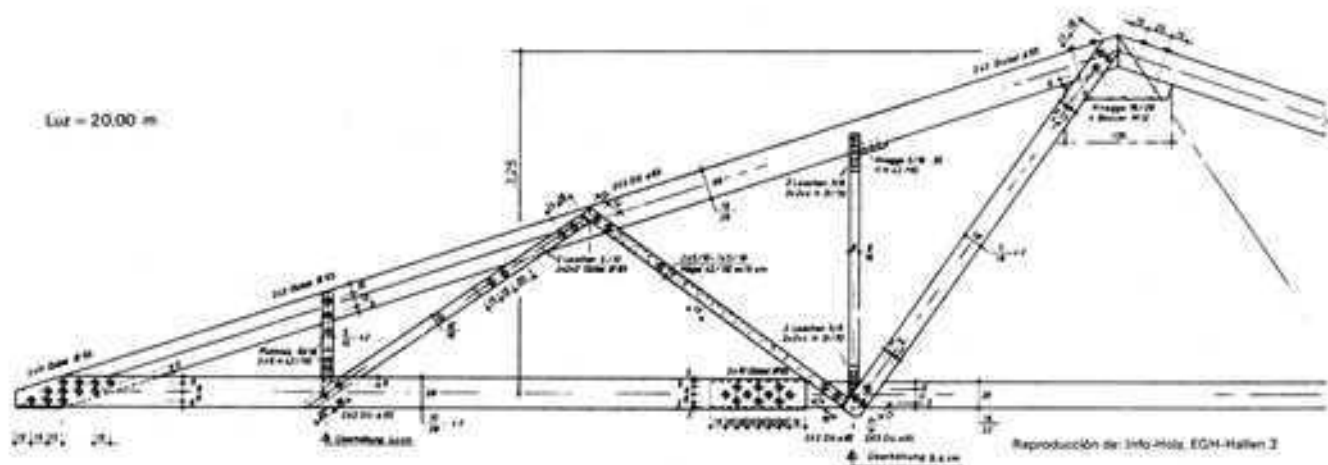


7.62

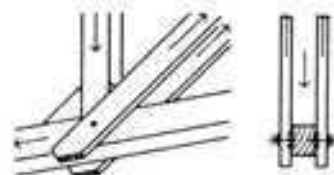


Lug = 10.00 m

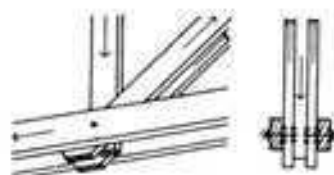
Est = 20.00 mm



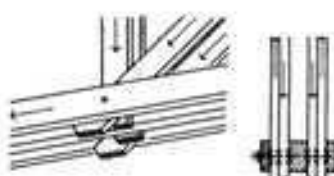
Reproduktion der Info-Holz-EGM-Hallen I



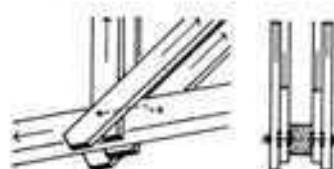
No hay desviación de las fuerzas, sin embargo el asiento del montante se alija al contraerse la madera



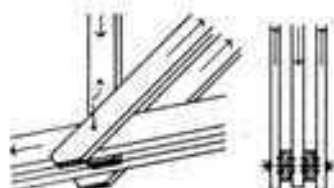
No hay desviación de las fuerzas. Buen asiento de todas las barras



Buena unión con tirante de tres piezas



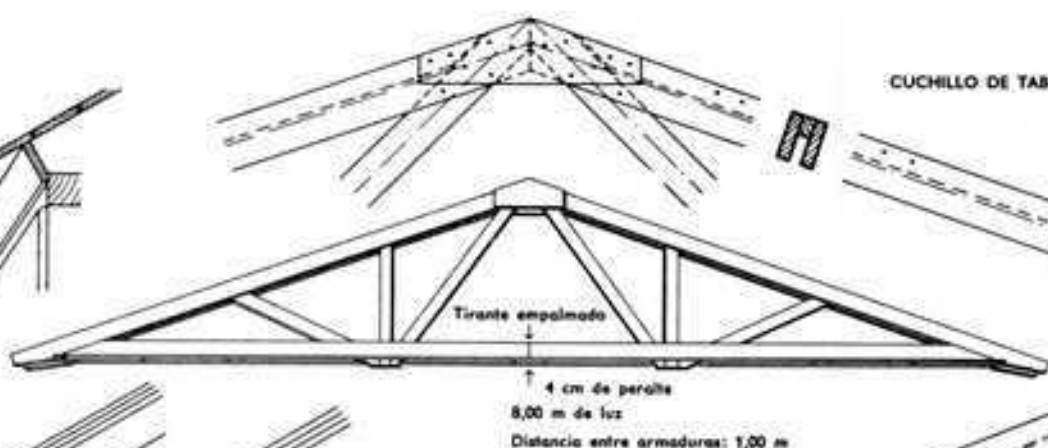
Desviación de la componente horizontal de la fuerza de la tornapunta sobre la barra vertical



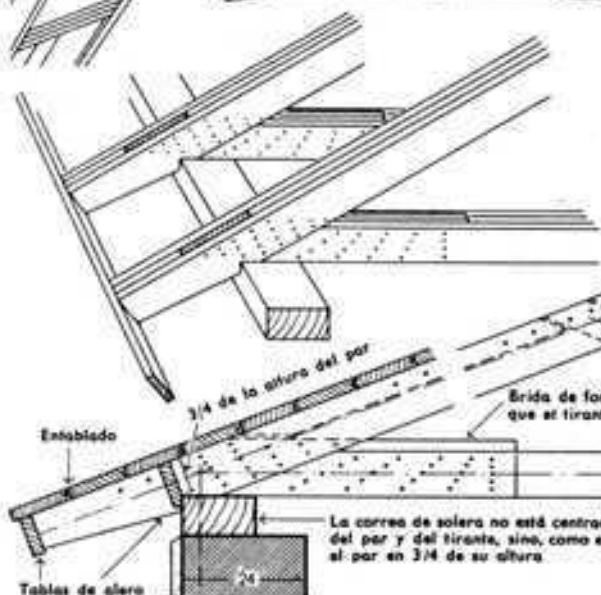
Desviación de la componente vertical de la fuerza de la tornapunta sobre el tirante

VISTA DEL ALERO

CUCHILLO DE TABLAS



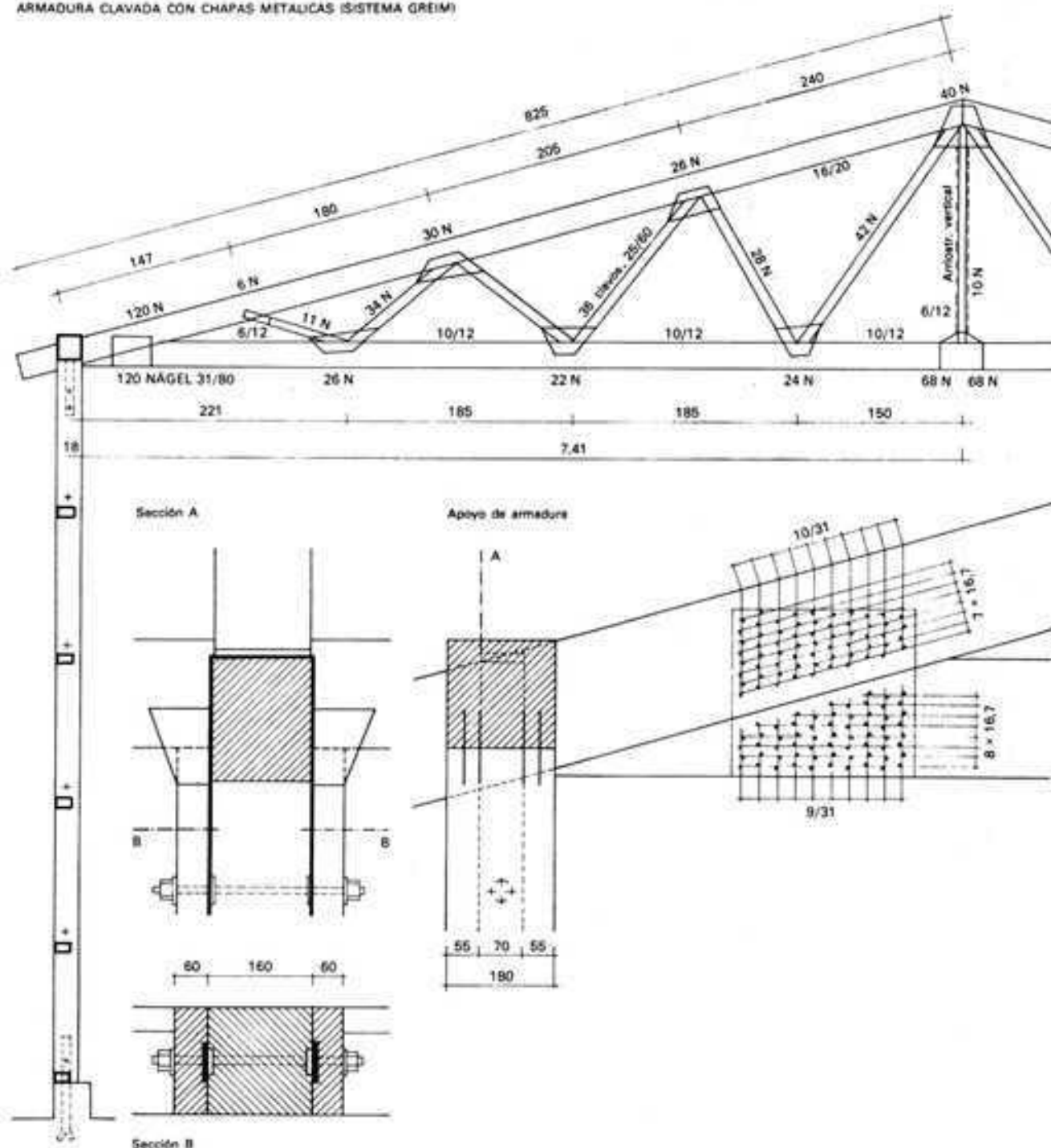
El par volado facilita la formación del alero



Tornapunta de madera escuadrada

Brida de forro: más alta que el tirante, si es preciso

La correa de solera no está centrada bajo el punto de intersección de los ejes del par y del tirante, sino, como en la cubierta de correas, dejando sobresalir el par en 3/4 de su altura



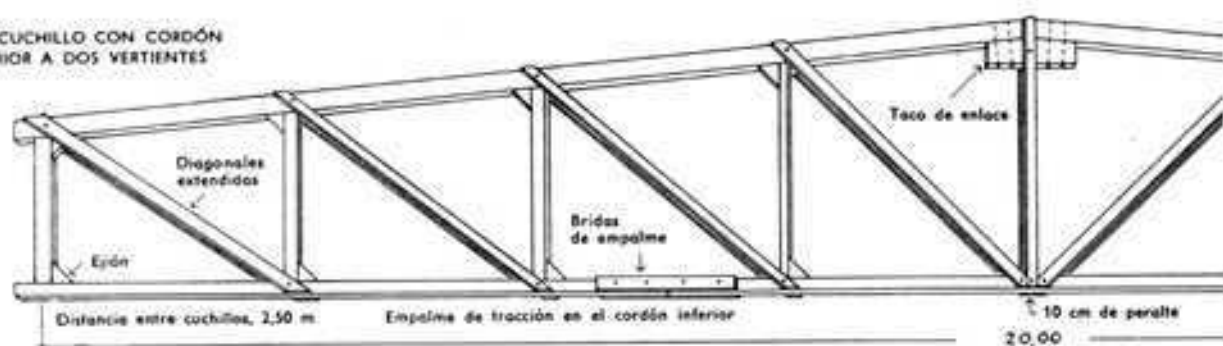
Vigas de celosía de cordones paralelos

Las vigas de cordones paralelos se emplean principalmente como correas de celosía, para cubrir grandes luces en los casos en que resultarían antieconómicas las correas de sección maciza. En tales casos se enlazan con la construcción o entramado de las armaduras y al mismo tiempo proporcionan un excelente arriostramiento longitudinal de la cubierta. Además pueden ser utilizadas como jácenas para envigados y como soportes de las grandes puertas corredizas de cobertizos o barracones. Una forma especial de vigas de celosía con cordones paralelos

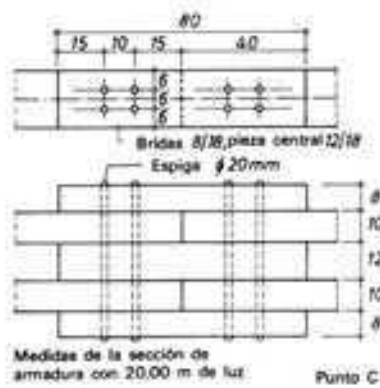
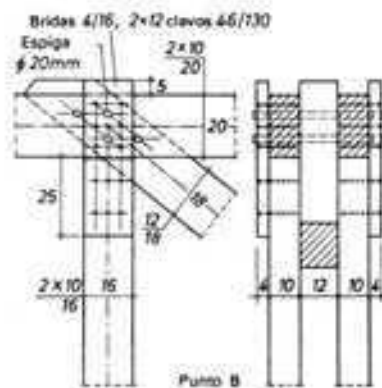
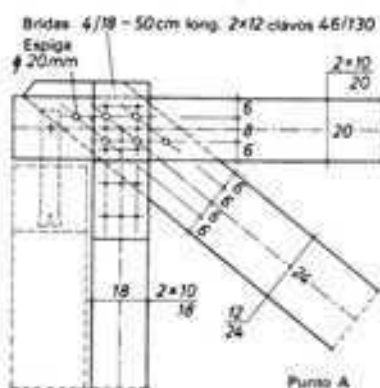
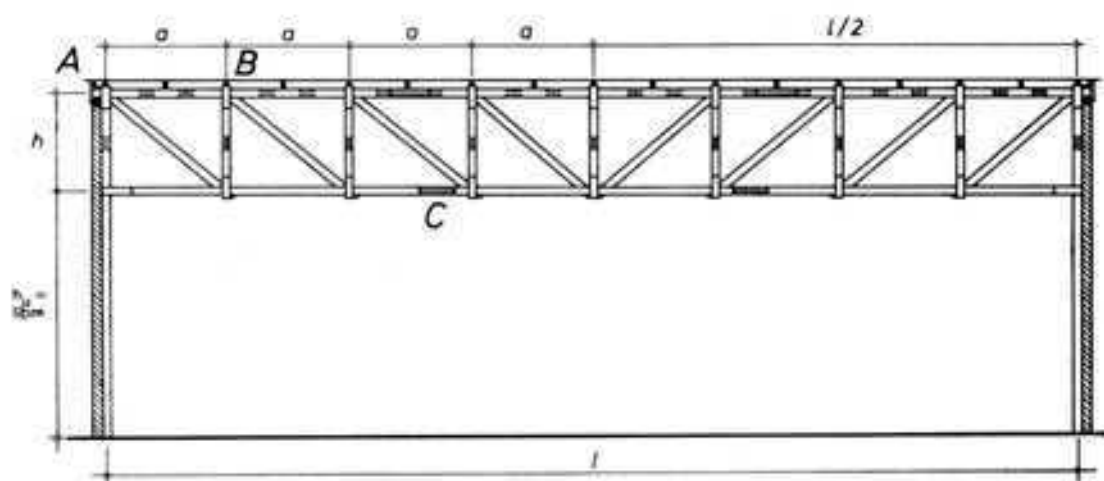
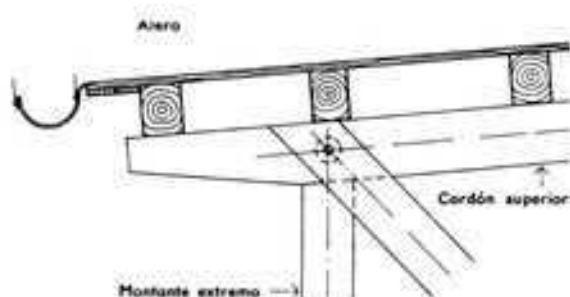
es la viga-cuchillo con cordón superior a dos vertientes. Estructuralmente, transmite los esfuerzos de la barra a los apoyos mejor que las armaduras triangulares. Para los cordones superiores, en previsión de futuros asentamientos se escogieron unas pendientes del 8% y para los tirantes un peralte de 1% como mínimo.

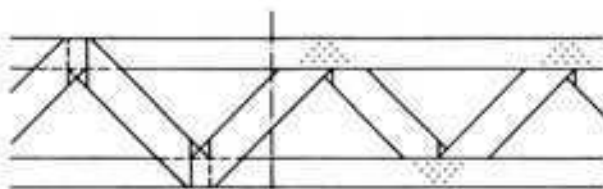
En las vigas de celosía de cordones paralelos suele preferirse el tipo de entramado de diagonales tensadas, y en tal caso se elige la separación entre los montantes aproximadamente igual a la altura de la jácena, con lo cual se logran las inclinaciones de las piezas oblicuas entre 30° y 45°, que son las más favorables.

VIGA-CUCHILLO CON CORDÓN SUPERIOR A DOS VERTIENTES

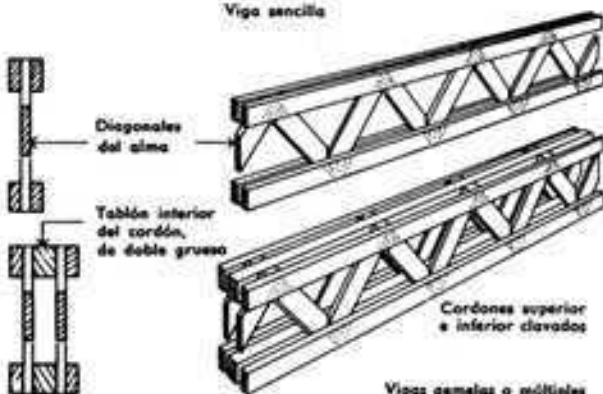


Sistema	Luz l m	Distancia entre cuchillos e m	Dimensiones	
			h m	a m
Viga de flexión entre dos apoyos ejecutada como viga de celosía con cordones paralelos	10,00	5,00 ... 7,50	1,00	2,50
	12,50	5,00 ... 7,50	1,25	3,13
	15,00	5,00 ... 7,50	1,50	2,50
	17,50	5,00 ... 7,50	1,75	2,92
	20,00	5,00 ... 7,50	2,00	2,50
	22,50	5,00 ... 7,50	2,25	2,25
	25,00	5,00 ... 7,50	2,50	2,50
	27,50	5,00 ... 7,50	2,75	2,29

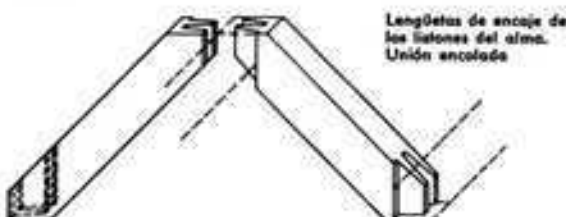




Viga sencilla



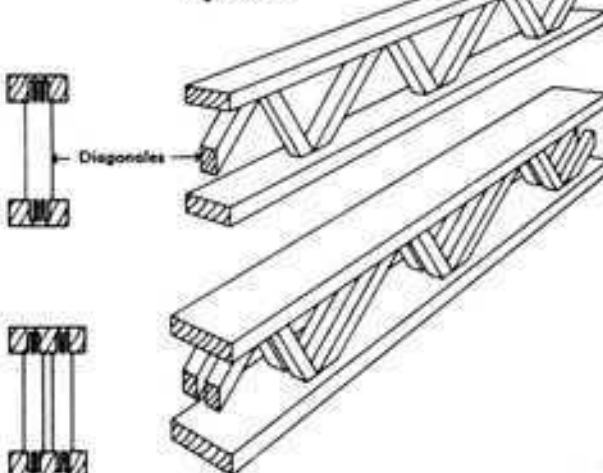
Vigas gemelas o múltiples



Lengüetas de encoleta de los listones del alma. Unión encoleta

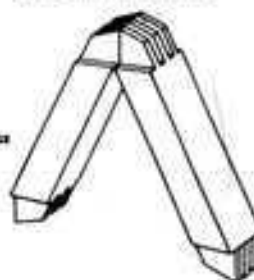
Sistema con diagonales trianguladas

Viga sencilla



Vigas gemelas o múltiples

Diagonales con lengüetas en ambos extremos



Viga «Trigonit» de celosía

La viga «Trigonit» ha sido desarrollada como una viga de celosía de cordones paralelos. Por consiguiente es muy apropiada para cubiertas sin apoyos intermedios y con grandes luces, donde tiene empleo como viga o cable de celosía. Pueden ejecutarse fácilmente faldones, cielos rasos, voladizos de cubierta, etc. Para los elementos fuertemente solicitados se elegirán vigas gemelas. La viga «Trigonit» tiene un alma de diagonales unidas con lengüetas y encoladas. Sobre esta alma encolada se clavan de canto los cordones, a través de los empalmes de las diagonales. De esta manera resulta un empalme céntrico entre las almas y los cordones. Las componentes verticales de las diagonales se transmiten mediante el encolado. El clavado transmite los esfuerzos cortantes y las fuerzas normales a los cordones de la viga. En el caso de vigas gemelas, el cordón interior tiene doble grueso que los cordones exteriores. Para absorber mayores fuerzas transversales, las vigas pueden hacerse de pared llena en los apoyos. Como sólo se encolan las diagonales entre sí, únicamente ellas han de ser secadas artificialmente. Esta construcción mixta a base de encolado y clavado requiere un permiso especial y sólo puede ejecutarse por empresas autorizadas.

Sistema de diagonales triangulares

En este sistema de construcción (DSB) se ensamblan la celosía de diagonales de que se compone el alma de la viga con los cordones dispuestos planamente. Las diagonales se introducen en los cordones mediante dos o tres lengüetas. La transmisión de las fuerzas de las diagonales se efectúa aquí únicamente por encolado.

Debido a la disposición plana de sus cordones, las vigas DSB tienen una gran rigidez lateral. Al igual que en todas las vigas encoladas, la flecha con carga máxima es muy pequeña. Las vigas gemelas con doble fila de diagonales se emplean para elementos con mayores cargas. Los cordones pueden unirse a tope por espigas acufadas, de modo que la longitud de la viga resulta prácticamente ilimitada.

Estas vigas pueden emplearse para techumbres de grandes luces con o sin cables, así como para naves de fabricación y de almacenamiento sin pilares intermedios y de poca altura constructiva. También se emplean como apoyos de celosía. Las vigas de diagonales triangulares se fabrican con máquinas especiales con una exactitud de hasta 0,1 mm. Se emplean colas a base de resorcinaformaldehído. Sólo pueden ser fabricadas —como todas las vigas de este tipo— por empresas con suficiente garantía de medios y de control.

Estructuras de madera de alma llena

De la misma manera que en las construcciones metálicas, se emplean en las construcciones de madera no sólo jácenas de entramado sino también vigas de alma llena compuestas o encoladas. El consumo de materiales y de mano de obra que ocasionan las estructuras compuestas con vigas de alma llena es siempre más elevado que en las estructuras de celosía. Si a pesar de ello se construyen con frecuencia armaduras y vigas de madera de alma llena, es debido principalmente a su aspecto claro y tranquilizador y a la posible reducción de altura en la viga o armadura, que, según el modelo que se elija, puede llegar a ser de un 25 a un 50% respecto de las estructuras de celosía. Además, en caso de incendio, se considera la viga de alma llena como más favorable. Otra de las ventajas es la mayor rigidez de las vigas de alma llena, que hace que baste darles, al construirlas, un peralte de 1/200 a 1/300 de la luz. Las luces se fijan entre 6 m y 15 m; la altura más económica de estas vigas viene a ser de 1/10 a 1/12 de la luz.

Una diferencia importante entre las vigas de alma llena clavadas y las vigas de celosía clavadas es el hecho de que el clavado de las vigas de alma llena no se concentra en los nudos sino que se reparte sobre toda la superficie. Para el ensamblaje de las vigas

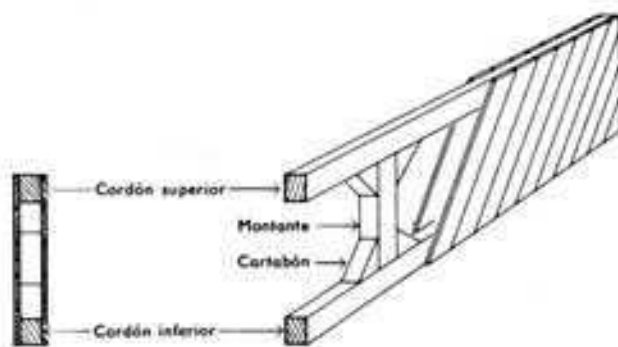
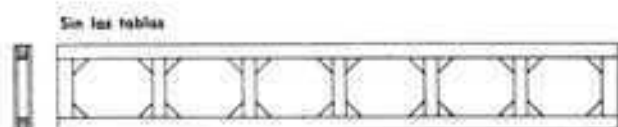
de alma llena se emplean maderas escuadradas y tabloncillos de las calidades I y II. Las prescripciones para el cálculo y el dimensionado de vigas de alma llena se hallan en la DIN 1052, hoja 1, párrafo 5.7 y 8. Las prescripciones para uniones clavadas de vigas de celosía se encuentran en la DIN 1052, hoja 1, párrafo 11.3. Distinguimos entre estructuras de madera con alma llena clavadas y las encoladas. Se emplean como vigas huecas, vigas en T y vigas de sección maciza rectangular.

Vigas huecas

Suponiendo carga simétrica uniformemente repartida, la disposición de estas vigas huecas es como sigue: Entre los cordones macizos de una sola pieza van colocados montantes de compresión que se aseguran mediante cartabones o tacos triangulares. Las tablas van clavadas sobre ambas caras de la viga de manera que queden inclinadas con dirección ascendente del centro hacia los apoyos, actuando así a modo de diagonales de tracción, de sección aplanada.

Un revestimiento de grandes dimensiones de las vigas huecas con placas de madera contrachapada o con planchas de viruta en vez de un entablado proporciona mayor capacidad de carga, mayor rigidez y sobre todo resulta más económico.

VIGA HUECA CON TABLAS CLAVADAS POR AMBOS LADOS



Vigas con sección doble T

De la misma manera que la sección hueca, también la sección doble T ofrece la posibilidad de aprovechar mejor la capacidad de carga de las maderas que en una sección maciza. Sólo encolar los tabloncillos, cortados de un tronco macizo, y fabricar así una viga de sección doble T representa, para la misma capacidad de carga y la misma luz, un 40% de ahorro de madera en comparación con una sección rectangular.

Vigas compuestas de madera con sección doble T

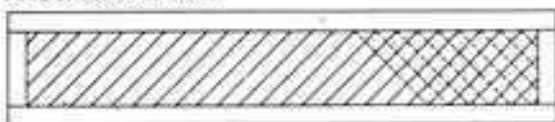
Cuando se juntan dos tableros con las direcciones de las tablas cruzadas para formar un alma de viga y se encajan por sus bordes con cordones formados cada uno por dos piezas se obtiene una viga de forma de doble T. Una vez clavada, esta estructura trabaja como una celosía de diagonales cruzadas, de malla muy estrecha. Las fuerzas normales que se producen por efecto de la flexión son, también en este caso, absorbidas únicamente por los dos cordones; el alma no tiene participación en dicha resis-

VIGAS DOBLE T CON ENTABLADO CRUZADO

Las vigas de poca altura pueden llevar el alma sin reforzar



Alma con cordones dobles



Vigas altas con alma reforzada



Alma con cordones dobles y montantes de refuerzo



tencia (DIN 1052, hoja 1, párrafo 5.5.1.). Los tableros que forman el alma se clavan entre sí en los puntos de cruce, de manera que las tablas que trabajan por tracción afiancen las que trabajan por compresión y las aseguran contra el pandeo. Las barras verticales, sobre todo en las vigas de poca altura, no son indispensables, pero siempre resultan convenientes para la repartición de las cargas concentradas por toda la altura del alma y como arriostramiento.

Si la viga doble T con alma de tableros cruzados se acopla mediante encolado, puede admitirse, siempre que la calidad de la madera sea suficientemente buena, que el alma absorbe parte de los esfuerzos normales producidos por la flexión. Esta solución se aproxima a la de las vigas formadas con placas de alma, capaces de participar en la resistencia de las tensiones debidas a la flexión. Sin embargo, en el presente caso, al determinar los momentos de inercia sólo hay que contar con la mitad (como máximo) de la sección del alma, porque las fuerzas normales actúan sobre la madera del alma con un ángulo de 45° respecto a la dirección de las fibras.

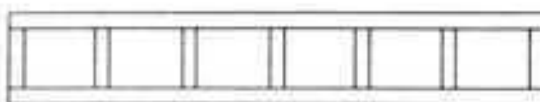
Vigas con almas de placa

Las vigas de alma llena hechas de placas de viruta o de madera contrachapada sólo pueden fabricarse por empresas autorizadas. A pesar de que son las vigas que necesitan menor cantidad de madera tienen una gran rigidez, que permite disminuir la altura de la viga hasta 1/18 de la luz. El cálculo estático viene a ser análogo al de las vigas de acero compuestas de alma llena. El alma se forma con placas de madera contrachapada o con placas prensadas de fibra de madera. Con montantes de refuerzo, se aseguran estas placas contra el alabeo o abolsamiento y se las hace participar en la resistencia de acuerdo con la relación de los módulos de elasticidad del alma y de los cordones. La distancia entre montantes depende del grado de seguridad contra el alabeo y también de la disposición de las correas de la cubierta o de otras cargas concentradas que haya que conducir y repartir. Las juntas del alma son al tope con cubrejuntas encoladas. Para hacer los cordones pueden usarse piezas de madera maciza hasta los 15 m de luz; para luces mayores es mejor recurrir a cordones de tabillitas o chapas superpuestas, encoladas. Hay que dis-

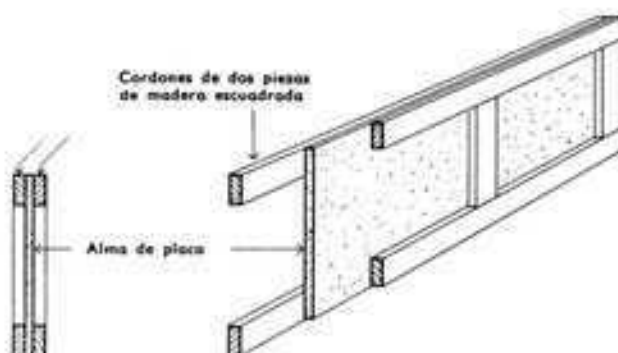
tinguir entre tablillas encoladas vertical u horizontalmente, en la confección de los cordones; siempre hay que colocarlas, en ambos casos, adosadas albura contra albura y duramen contra duramen a fin de reducir al mínimo los efectos desfavorables de la contracción. En todo caso es recomendable el empleo de chapas o tablillas de recubrimiento superiores e inferiores, que sirvan para proteger los cordones y las almas contra deficiencias del encolado.



Alma de placa

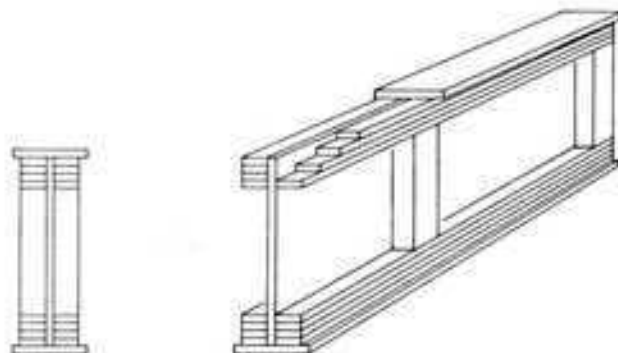


Alma de placa con cordones y montantes dobles



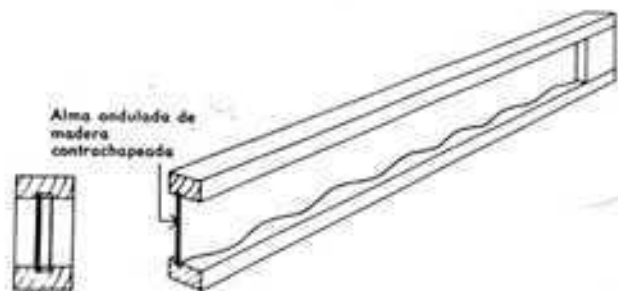
Cordones de dos piezas de madera escuadrada

Alma de placa



Vigas de alma ondulada

A partir de las vigas de alma maciza de madera contrachapada se estudiaron las vigas de alma ondulada. Estas vigas constan de dos tablas rectangulares, o cordones de tablillas a modo de alas, a las que se encola un alma ondulada de tablero de madera contrachapada de 4 a 6 mm de espesor. Las ondas del alma impiden alabeos y aumentan la resistencia como viga a torsión,



Alma ondulada de madera contrachapada

ayudándola a mantener su forma. Con ello se consigue una notable disminución del peso propio en comparación con las vigas de alma llena de tablero contrachapado plano.

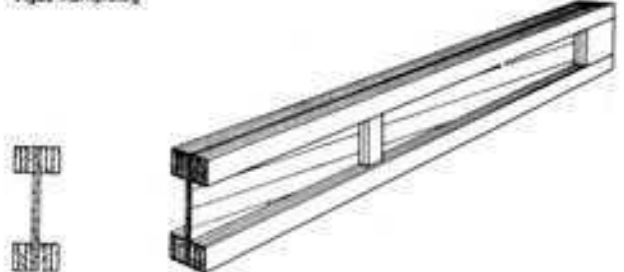
Las vigas de alma ondulada se emplean generalmente en las construcciones de madera corrientes, como por ejemplo en cubiertas a una sola vertiente con luces hasta 15 m y sin apoyos intermedios, en estructuras de tres articulaciones que cubren luces hasta 25 m, así como en voladizos. A causa del perfil de gran onda del alma, estas vigas suelen emplearse para estructuras en las que el aspecto visual es considerado como cosa secundaria.

Vigas Kämpfsteg

Este tipo de vigas es una derivación de las de tablillas horizontales combinada con la forma clásica de las vigas en doble T de alma llena. Se componen de alas formadas por dos o tres tablillas largas encoladas de plano. El alma está formada por tablas con una inclinación de unos 10°. Estas almas pueden llegar a ensamblarse, con máquinas especiales, hasta 1,20 de altura y 5 m de longitud.

Los cordones que forman las alas se pegan lateralmente de plano al ala en varias capas de tablillas. Las tablillas no deben ser más gruesas de 3 cm.

Vigas Kämpfsteg

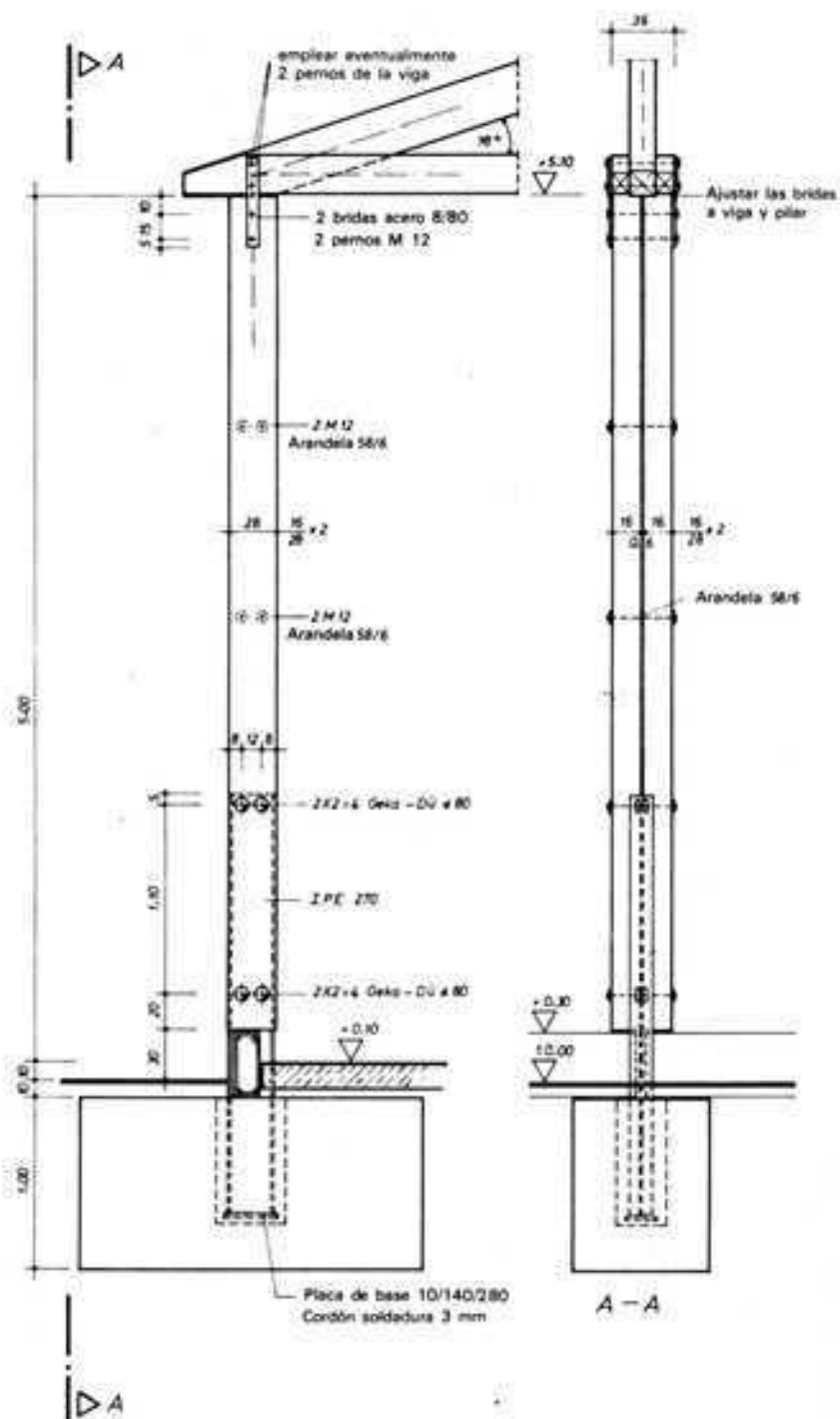
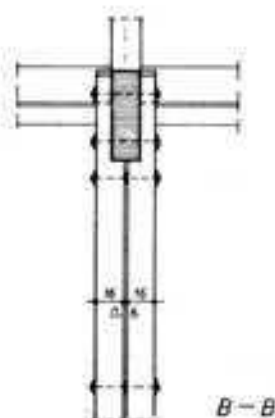


El alma puede calcularse exactamente a partir del momento de inercia y del momento resistente. Se destina, por tanto, a la absorción de esfuerzos de flexión. Mientras que en las vigas Hetzer se limitaba la fatiga de desgarramiento a 9 kg/cm² el alma de las vigas Kämpfsteg puede absorber hasta 18 kg/cm² a esfuerzo cortante. Gracias precisamente a lo apropiado del perfil doble T y a la mayor resistencia al esfuerzo cortante, este tipo de vigas permiten notables ahorros de sección. En general se utilizan como barras de sección constante, pero pueden tener forma trapecial, siempre que la inclinación de un ala respecto a la otra no sobrepase los 15°. Por ello este tipo de vigas permiten formar pórticos de dos y tres articulaciones en los que el canto de la viga en su empotramiento con el pilar se determina de acuerdo con el momento.

A la construcción de estas vigas se dedican tan sólo unas pocas empresas autorizadas y especializadas.

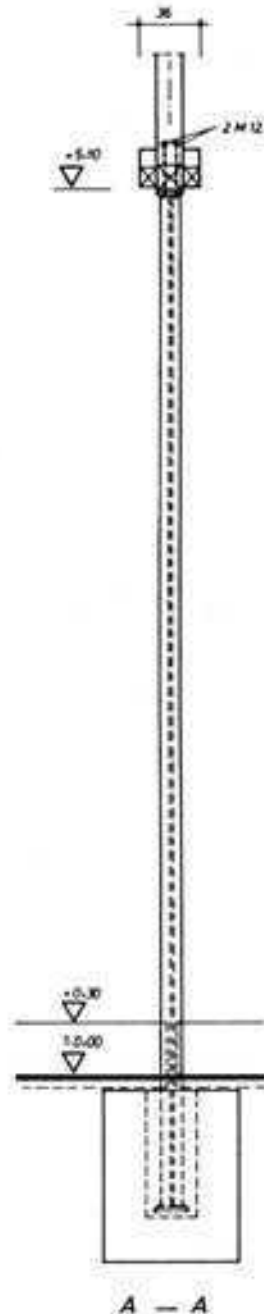
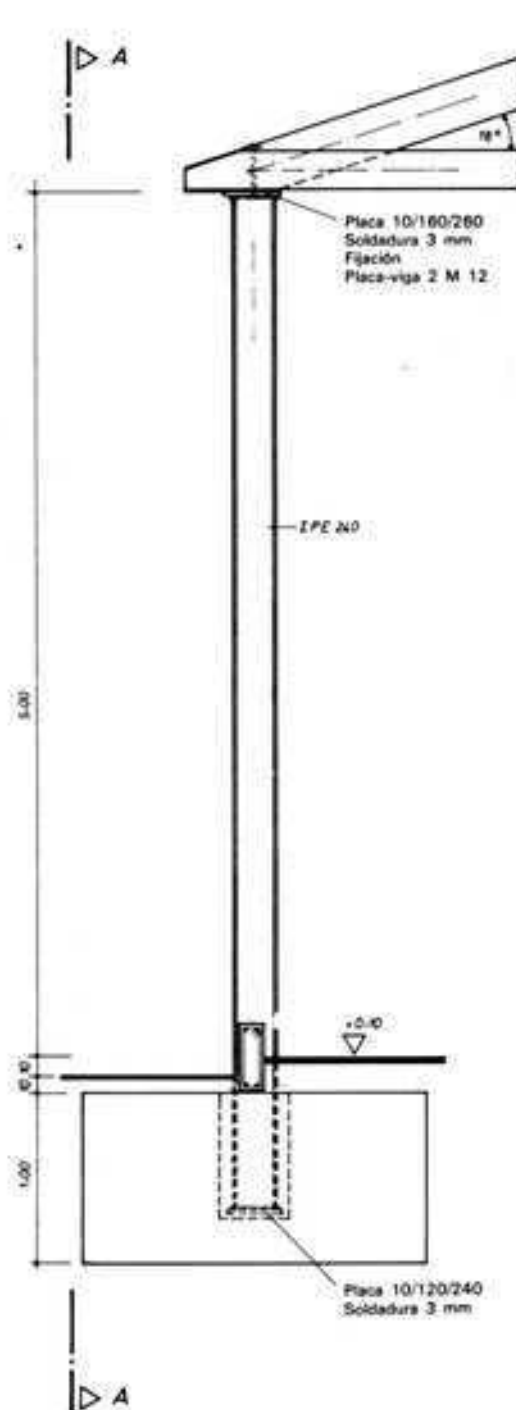
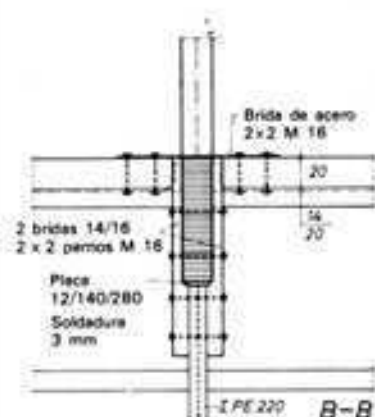
Vigas con alma de tablillas horizontales encoladas de plano

Ocupan un lugar especial entre esos tipos de construcciones las estructuras encoladas de alma llena, propuestas por O. Hetzer. Están hechas con tablas de 18 a 20 mm de espesor, encoladas horizontalmente formando secciones rectangulares y de doble T. Las almas de dichas vigas tienen espesores de 5 a 10 cm. Para prevenir defectos de encolado se colocan pernos verticales que atraviesan por el eje de la sección. En la mayoría de los casos se prefieren las secciones rectangulares totalmente encoladas por su aspecto más despejado y sencillo que el de las vigas doble T. Las vigas y armaduras requieren desde luego un mayor consumo de trabajo mecánico, pero en cambio pueden construirse de manera relativamente sencilla y empleando tablas de la longitud que se quiera. En esta forma es posible utilizar tablas de calidades muy variadas y emplear sólo las maderas de las calidades mejores en las zonas en que las solicitaciones son más elevadas.



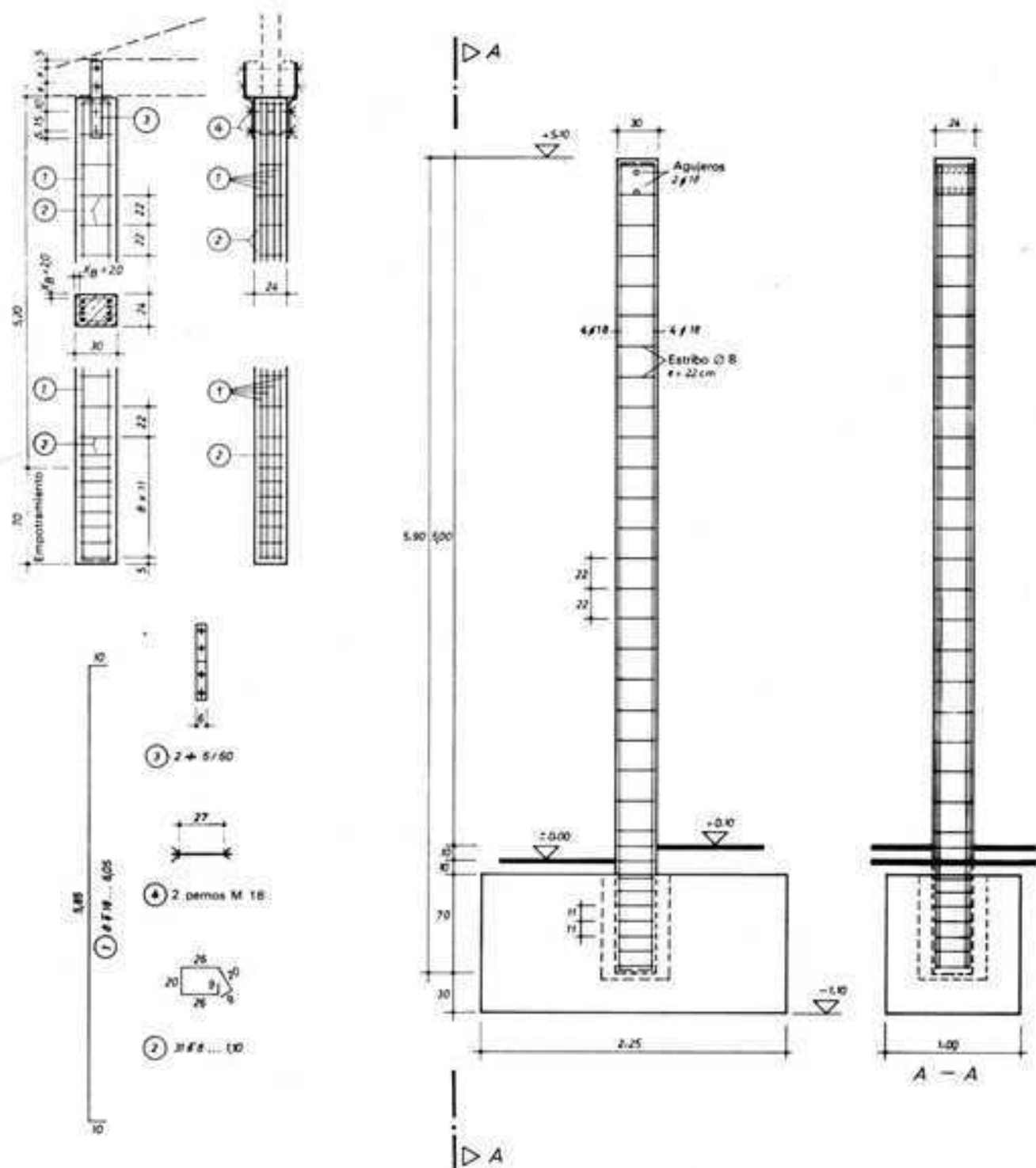
DIMENSIONES DE PILAR 6/6 PARA 6.25 m DE DISTANCIA ENTRE CÚCHILLOS

Edificio	Altura de alero m	Luz de la armadura en m						
		10,00	12,50	15,00	17,50	20,00	22,50	25,00
cerrado	4,00	2 x 12/22	2 x 12/24	2 x 12/24	2 x 14/24	2 x 16/24	2 x 16/24	2 x 16/24
	5,00	2 x 14/26	2 x 14/28	2 x 14/28	2 x 16/28	2 x 18/28	2 x 8/28	2 x 18/28
	6,00	2 x 14/30	2 x 16/30	2 x 18/30	2 x 18/30	2 x 18/32	2 x 18/32	2 x 18/32
abierto	4,00	2 x 16/22	2 x 16/22	2 x 16/24	2 x 16/24	2 x 16/26	2 x 16/28	2 x 18/28
	5,00	2 x 16/26	2 x 16/28	2 x 16/28	2 x 16/30	2 x 16/30	2 x 18/30	2 x 18/32
	6,00	2 x 16/30	2 x 18/30	2 x 18/32				



PERFILES DE PILARES PARA 6.25 M DE DISTANCIA ENTRE CUCHILLOS

Edificio	Altura de alero - m	Luz de la armadura en m						
		10.00	12.50	15.00	17.50	20.00	22.50	25.00
cerrado	4.00	IPE 200	IPE 220	IPE 220	IPE 220	IPE 220	IPE 240	IPE 240
	5.00	IPE 240	IPE 240	IPE 240	IPE 240	IPE 270	IPE 270	IPE 270
	6.00	IPE 240	IPE 270	IPE 270	IPE 270	IPE 300	IPE 300	IPE 300
abierto	4.00	IPE 270	IPE 220	IPE 220	IPE 220	IPE 240	IPE 240	IPE 240
	5.00	IPE 240	IPE 240	IPE 240	IPE 270	IPE 270	IPE 270	IPE 270
	6.00	IPE 270	IPE 270	IPE 270	IPE 300	IPE 300	IPE 300	IPE 330



DIMENSIONES DE PILAR d/d PARA 6.25 m DE DISTANCIA ENTRE CUCHILLOS

Edificio	Altura de alero m	Luz de la armadura en m						
		10.00	12.50	15.00	17.50	20.00	22.50	25.00
cerrado	4.00	24/24	24/24	24/24	24/24	24/24	24/24	24/24
	5.00	24/30	24/30	24/30	24/30	24/30	24/30	24/30
	6.00	30/30	30/30	30/30	30/30	30/30	30/30	30/30
abierto	4.00	24/24	24/24	24/24	24/24	24/24	24/24	24/24
	5.00	24/30	24/30	24/30	24/30	24/30	24/30	24/30
	6.00	30/30	30/30	30/30	30/30	30/30	30/30	30/30

Pórticos

Los pórticos de madera se emplean frecuentemente en la construcción de naves y graneros. En las construcciones de pórticos los cuchillos y los pies derechos están unidos en un sistema cerrado. Las cargas del viento que actúan sobre las paredes exteriores se transmiten a los pórticos.

Estáticamente se distinguen entre pórticos de dos y de tres articulaciones; y constructivamente entre pórticos de celosía y pórticos de pared llena.

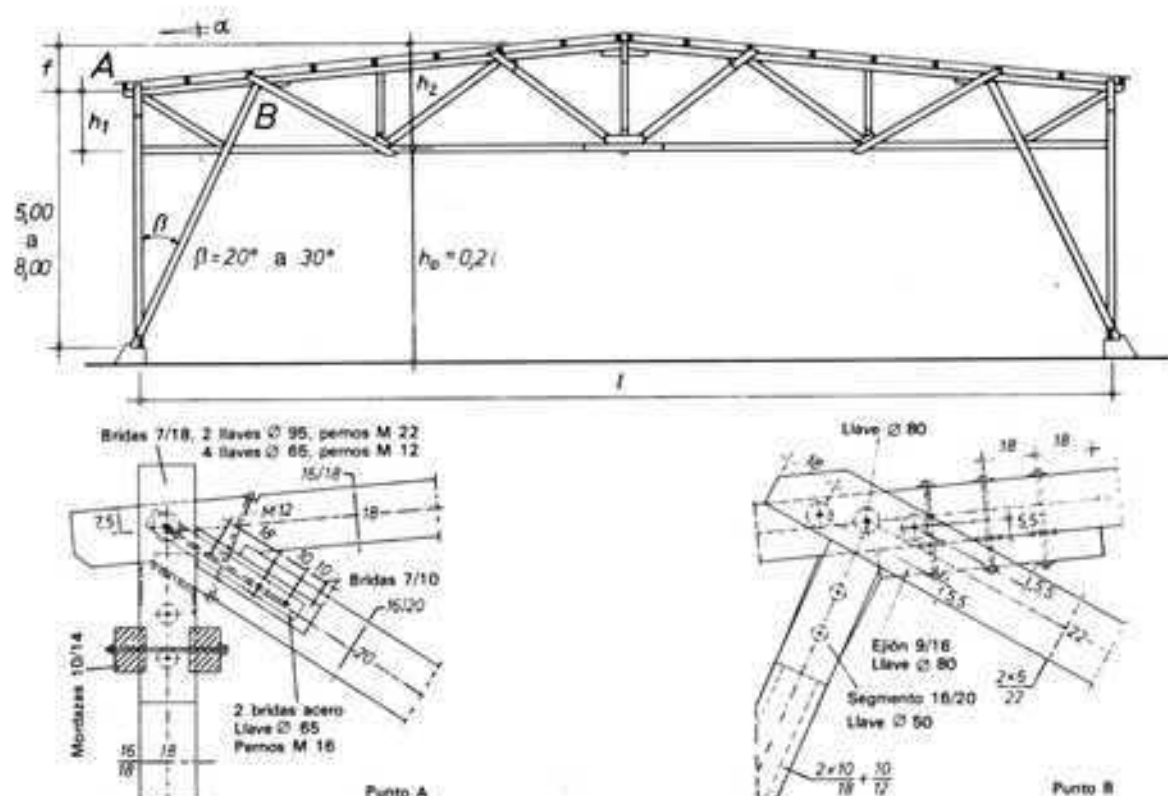
Pórticos de celosía

Para la ejecución constructiva de los pórticos de celosía se aplican las mismas reglas que para las armaduras de dicha clase. Pueden hacerse con cordones de una o de varias piezas y las barras que los forman pueden ir enlazadas tanto con pernos y llaves como con clavos. En contraposición con las armaduras de cubierta, en los pórticos, los cordones inferiores (que en este caso se llaman interiores) tienen que soportar, con frecuencia, esfuerzos de compresión y han de asegurarse contra el pandeo que tendería a desplazar sus elementos fuera de su plano; por otra parte, los cordones exteriores tienen que sufrir frecuentemente esfuerzos de tracción (especialmente en la parte de las esquinas del pórtico). Al ejecutar los nudos hay que tener en cuenta que las barras del alma en muchas ocasiones tienen que trabajar con fatiga alterna. Esas barras, por consiguiente, deben tener sus enlaces adecuados tanto para resistir tracciones como para soportar compresiones y además deben estar calculadas contra el pandeo. Se ha procurado siempre construir los pórticos

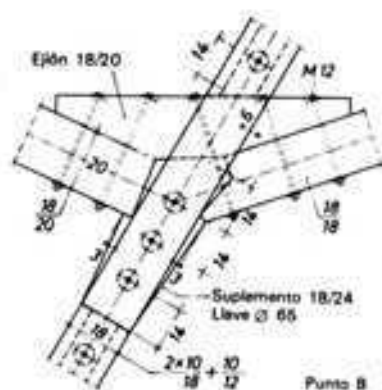
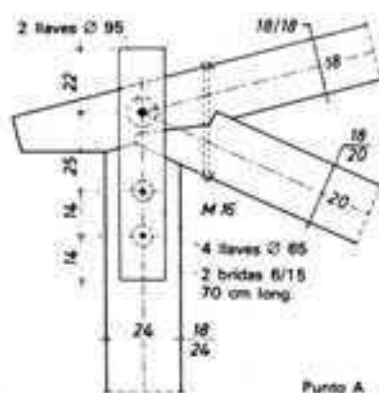
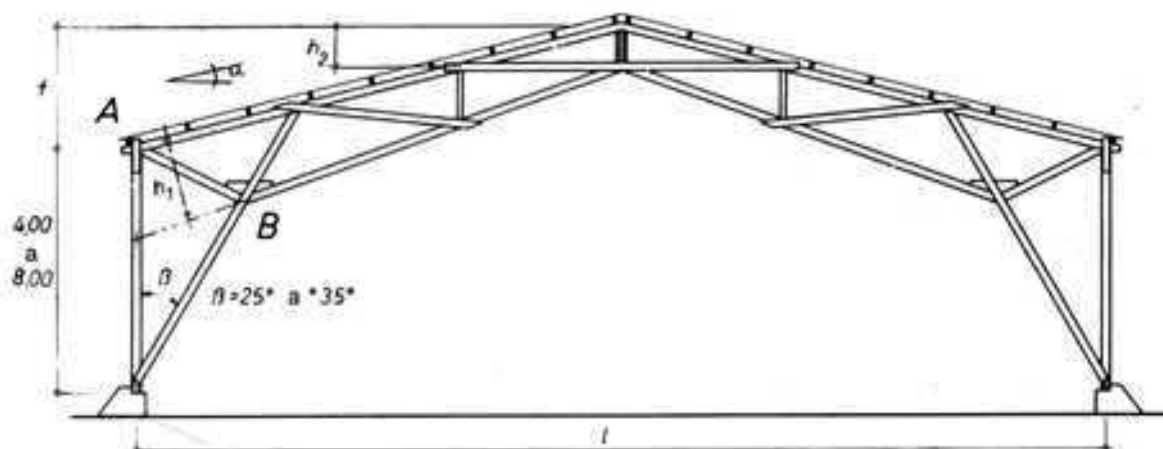
de manera que resulten estáticamente determinados, es decir, hacerlos con tres articulaciones, pero también se construyen con simple indeterminación (dos articulaciones). La luz entre apoyos varía para los pórticos entre 10 y 35 m. Cuanto más se aproxima la forma del pórtico a una línea de presiones, tanto más reducidas son las dimensiones que hay que dar a las barras. Los pies de los pórticos transmiten a sus apoyos esfuerzos de dirección inclinada, por lo que, al construir los cimientos, y sobre todo si el terreno de cimentación no es de muy buena calidad, hay que procurar neutralizar con tirantes las componentes horizontales de las reacciones (empuje).



Las figuras adjuntas muestran pórticos de celosía de dos y de tres articulaciones. Junto con las tablas, han sido reproducidas de documentos de Entwicklungsgemeinschaft Holzbau (EGH).



Sistema	Luz l m	Distancia entre cuchillos e m	Pendiente de cubierta α	Dimensiones	
				h_1 m	h_2 m
Pórtico de dos articulaciones en celosía y con maderas escuadradas	17,50	5,00 ... 7,50	5,5°	1,00	1,85
	20,00	5,00 ... 7,50	5,5°	1,15	2,10
	22,50	5,00 ... 7,50	5,5°	1,30	2,35
	25,00	5,00 ... 7,50	5,5°	1,45	2,65
	27,50	5,00 ... 7,50	5,5°	1,60	2,90
	30,00	5,00 ... 7,50	5,5°	1,75	3,15
	35,00	5,00 ... 7,50	5,5°	2,00	3,70



Sistema	Luz l m	Distancia entre cuchillos e m	Pendiente de cubierta α	Dimensiones	
				h_1 m	h_2 m
Pórtico de tres articulaciones con maderas escuadradas	15,00	5,00 ... 7,50	14°	1,05 ... 1,20	0,60
	17,50	5,00 ... 7,50	14°	1,25 ... 1,40	0,70
	20,00	5,00 ... 7,50	14°	1,40 ... 1,60	0,80
	22,50	5,00 ... 7,50	14°	1,55 ... 1,80	0,90
	25,00	5,00 ... 7,50	14°	1,75 ... 2,00	1,00
	27,50	5,00 ... 7,50	14°	1,90 ... 2,20	1,10
	30,00	5,00 ... 7,50	14°	2,10 ... 2,40	1,20

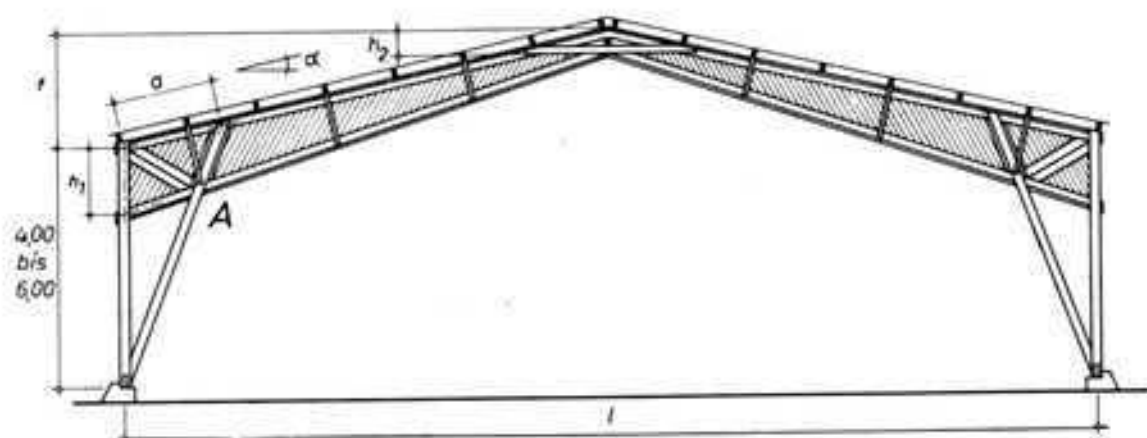
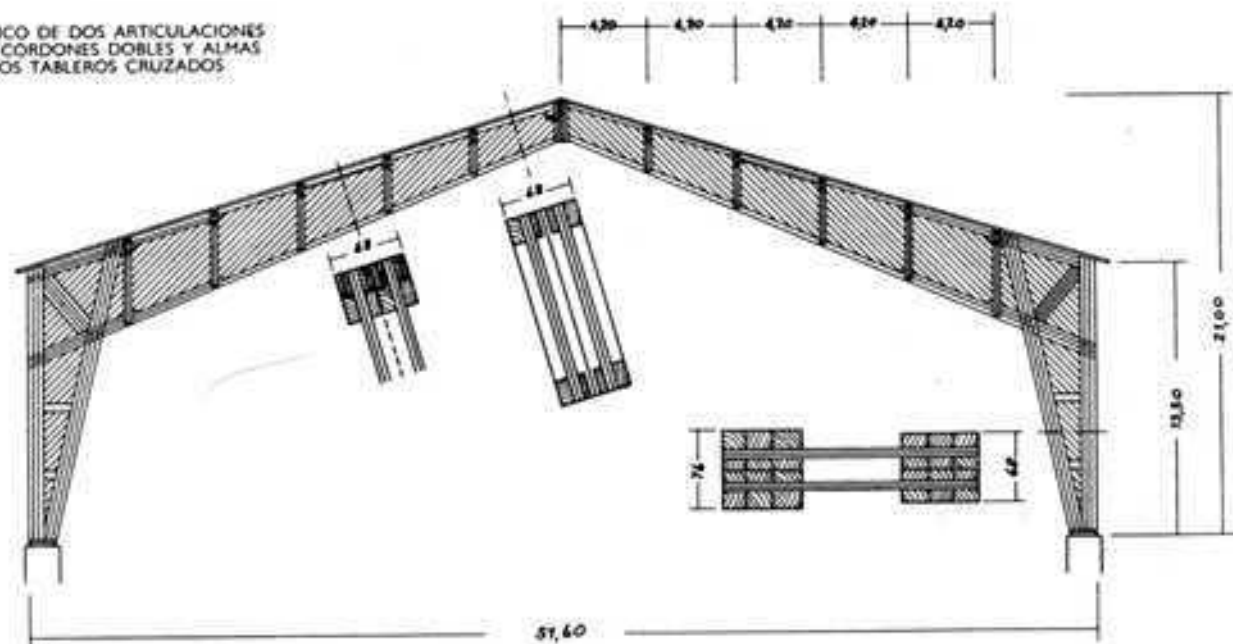
Pórticos de alma hueca y de doble T

Lo mismo que en las vigas, los cordones de los pórticos de alma llena pueden ser de madera maciza o de chapas o tablas; las almas se hacen de tablero, de madera contrachapada, de placas de madera prensada o de placas de chapas encoladas. El espesor del alma se regula de acuerdo con las solicitaciones admisibles a esfuerzo cortante y con arreglo a la indispensable seguridad contra el alabeo. Exige gran cuidado la formación de las esquinas del pórtico. Con frecuencia es preciso reforzar las juntas del cordón extendido con placas de nudo. Primero se empleó para estas placas el acero, pero se ha visto que también pueden emplearse placas de chapas de haya encoladas, de tabillitas cruzadas y encoladas o de placas duras de madera prensada y que con ellas pueden obtenerse ángulos o esquinas de pórtico de suficiente rigidez. Para mayor seguridad se pueden encajar y encolar en la junta del cordón extendido placas triangulares con la dirección de sus fibras perpendiculares a las diagonales de la

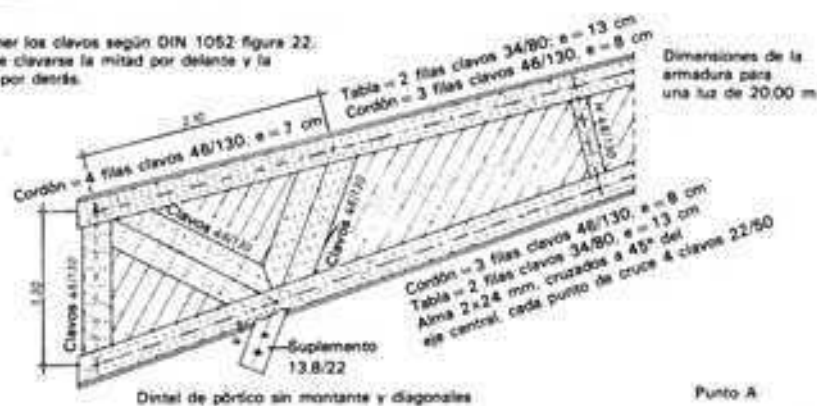
esquina del pórtico. Además puede aumentarse la fuerza de las esquinas en ángulo vivo (sin redondeamiento) de un pórtico mediante la colocación de cartabones de madera dura en la cara interior, es decir, por la parte del cordón comprimido.

Con objeto de hacer transportables las estructuras principales de una obra, es a veces necesario dejar algunas juntas para realizar en obra. Estas se disponen en el dintel o cabecero del pórtico y en los puntos de momento nulo o, por lo menos, con escaso momento. Las juntas en los pórticos con alma de tablas, que se hacen preferentemente con sección hueca, quedan recubiertas por los tableros. En los pórticos con alma de placas, que en la mayoría de los casos tienen sección doble T y cuyos cordones permanecen visibles con sus juntas, se hacen éstas por medio de bridas de doble cufía. Estas ofrecen suficiente superficie de unión para la cola y los pernos sin perjudicar su aspecto.

En las figuras siguientes puede verse un pórtico de dos articulaciones con cordones dobles y almas de dos tableros, así como un pórtico de tres articulaciones de alma llena.



Disponer los clavos según DIN 1052 figura 22.
Han de clavarse la mitad por delante y la
mitad por detrás.



Sistema	Luz l m	Distancia entre cuchillos e m	Pendiente de cubierta α	Dimensiones h_1 m	h_2 m	a m
Pórtico de tres articulaciones de pared llena, con almas de tablas cruzadas	10.00	5.00	14°	0.70 . . . 0.75	0.30	1.00
	12.50	5.00	14°	0.85 . . . 0.90	0.35	1.25
	15.00	5.00	14°	1.00 . . . 1.05	0.40	1.50
	17.50	5.00	14°	1.15 . . . 1.25	0.45	1.75
	20.00	5.00	14°	1.30 . . . 1.40	0.50	2.00
	22.50	5.00	14°	1.45 . . . 1.60	0.55	2.25
	25.00	5.00	14°	1.60 . . . 1.75	0.60	2.50

Pórticos encolados en capas

La posibilidad de encolar láminas rectas y curvadas y conseguir una sección prácticamente homogénea con mayor resistencia a esfuerzos cortantes ha predestinado este tipo de construcción a la formación de nudos rígidos y por consiguiente es muy apropiado para la elección de pórticos.

Como la madera no se corroe y además aguanta altos porcentajes de humedad del aire y las influencias del agua condensada o de la lluvia, siempre que esté instalada correctamente, es también muy apropiada para elementos constructivos expuestos a la intemperie o ambientes extremadamente húmedos (p. ej., piscinas cubiertas). Al proyectar elementos curvados hechos de madera encolada en capas, debe tenerse en cuenta que el radio de curvatura no sea menor que $200d$, en donde d es el grueso de la lámina. Sin embargo, un gran radio para el redondeado en la esquina limita el espacio libre de la nave. Los radios menores requieren láminas más delgadas, que a su vez significan mayor gasto de material y trabajo.

Existen dos posibilidades para evitar un radio de curvatura demasiado grande:

- Unir con espigas pasantes los soportes a los dinteles de los pórticos.
- Unir directamente por espigas acuñadas y encoladas los soportes y dinteles o con una pieza intermedia colocada en la esquina.

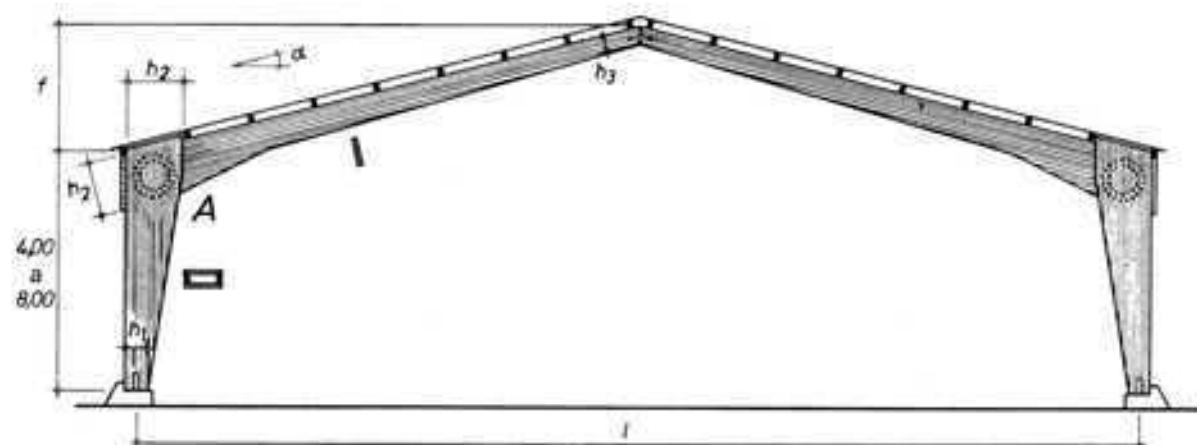
En el sistema con espigas pasantes el soporte se compone generalmente de dos planchas de alma encoladas. Las maderas escuadradas colocadas a tope en el lado exterior dan al soporte una sección de cajón; sin embargo, sólo tienen como objeto la rigidez y no pueden ser solicitadas estáticamente. Este tipo de construcción tiene la ventaja importante de que el soporte y el dintel del pórtico pueden ser suministrados por separado a la obra.

En las uniones por espigas acunadas, en las esquinas del pórtico se disponen generalmente piezas intermedias para proporcionar un mejor cambio de dirección de las fuerzas. El dintel también puede ejecutarse con una sección de cajón, componiéndose los cordones de diferentes láminas y los lados de placas de alma encoladas.

Las figuras siguientes exponen pórticos de tres articulaciones encolados en capas, con uniones por espigas acunadas y con uniones por espigas pasantes en las esquinas del pórtico.

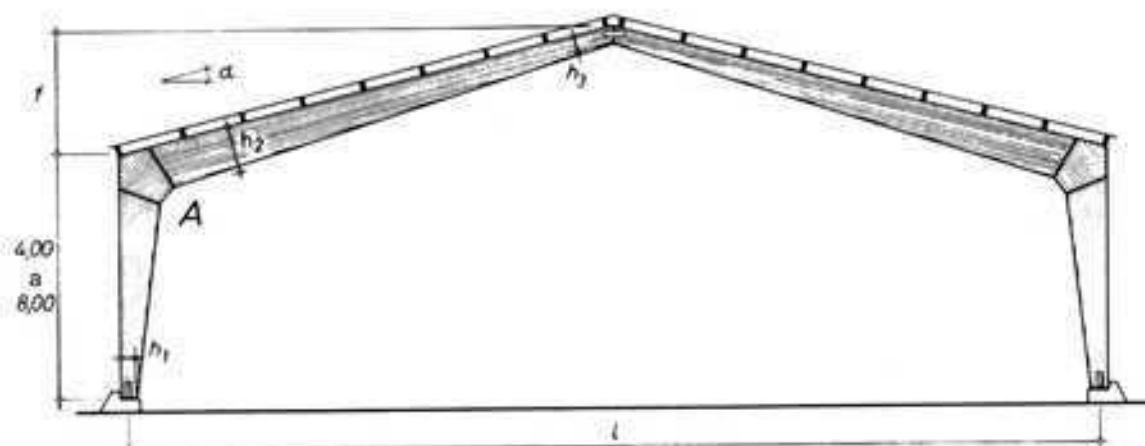
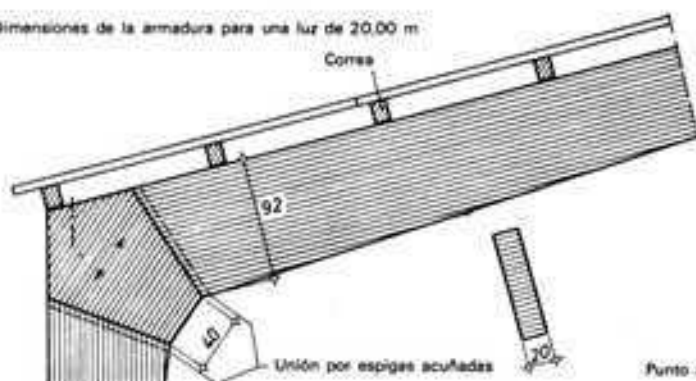


Extraído de los documentos de la Entwicklungsgemeinschaft Holzbau (E.G.H.)



Sistema	Luz: l m	Distancia entre cuñillos e m	Pendiente de cubierta α	Dimensiones		
				h_1 m	h_2 m	h_3 m
Pórtico de tres articulaciones a base de tablas encoladas; unión por espigas pasantes	15,00	5,00 ... 7,50	14°	0,40	0,90 ... 1,35	0,25
	17,50	5,00 ... 7,50	14°	0,45	1,00 ... 1,45	0,30
	20,00	5,00 ... 7,50	14°	0,50	1,10 ... 1,55	0,35
	22,50	5,00 ... 7,50	14°	0,55	1,20 ... 1,65	0,40
	25,00	5,00 ... 7,50	14°	0,60	1,30 ... 1,75	0,45
	27,50	5,00 ... 7,50	14°	0,65	1,35 ... 1,85	0,50

Dimensiones de la armadura para una luz de 20,00 m

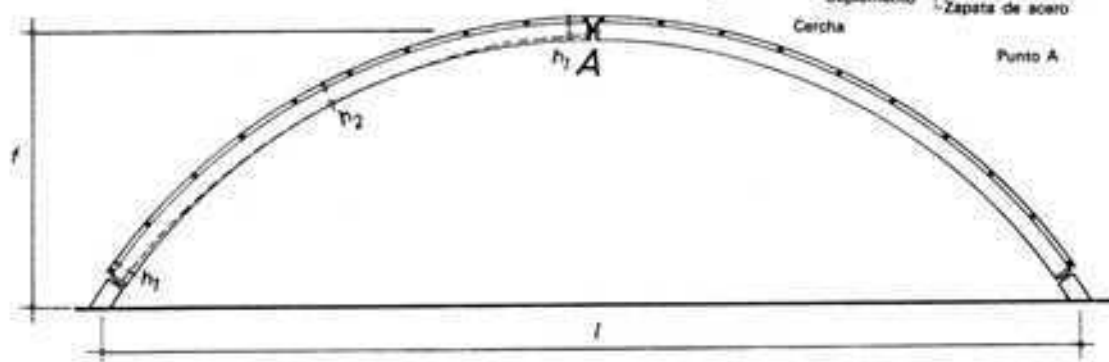
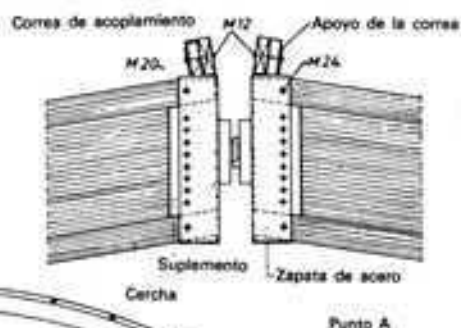


Sistema	Luz l m	Distancia entre cuchillos e m	Pendiente de cubierta α	Dimensiones h_1 m	h_2 m	h_3 m
Pórtico con tres articulaciones de tablas encoladas: unión por espigas acufadas	15,00	5,00 ... 7,50	14°	0,30	0,70 ... 0,82	0,25
	17,50	5,00 ... 7,50	14°	0,35	0,78 ... 0,90	0,30
	20,00	5,00 ... 7,50	14°	0,40	0,85 ... 1,00	0,35
	22,50	5,00 ... 7,50	14°	0,45	0,93 ... 1,10	0,40
	25,00	5,00 ... 7,50	14°	0,50	1,00 ... 1,20	0,45

Estructuras en arco

Las estructuras en arco son muy apropiadas para cubrir grandes luces. Debido a la forma estáticamente muy favorable, se han realizado ya luces mayores de 100 m. La curvatura óptima de un arco adopta exactamente la línea de presiones para carga uniformemente repartida, y como inversión de un cable colgado proporciona la sección menor posible de cercha en relación a la luz. En cuanto al transporte, el que mejor se adapta es el arco de tres articulaciones.

Estas articulaciones no pueden ser solicitadas por esfuerzos de tracción.



Sistema	Luz $l = m$	Distancias entre cuchillos $e = m$
Pórtico de tres articulaciones de madera encolada	25,00	5,00 ... 7,50
	30,00	5,00 ... 7,50
	35,00	5,00 ... 7,50
	40,00	3,50 ... 15,00
	45,00	3,50 ... 15,00
	50,00	3,50 ... 15,00
	60,00	3,50 ... 15,00
	80,00	3,50 ... 15,00
	100,00	3,50 ... 15,00

Dimensiones		l m
h_1 m	h_2 m	
0,25	0,50	6,25
0,30	0,60	7,50
0,35	0,70	8,75
0,80	0,80	10,00
0,45	0,90	11,25
0,50	1,00	12,50
0,60	1,20	15,00
1,60	1,60	20,00
1,00	2,00	25,00

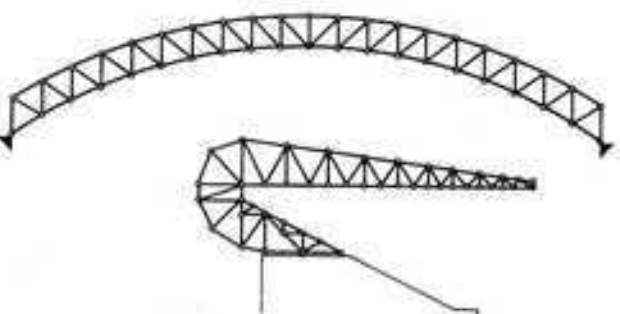
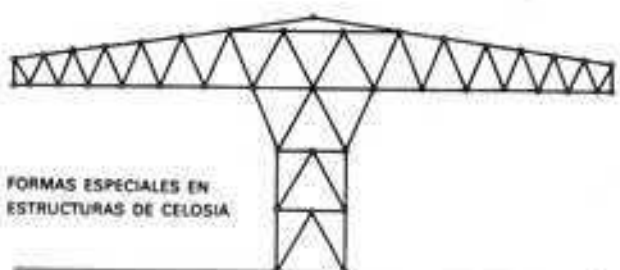
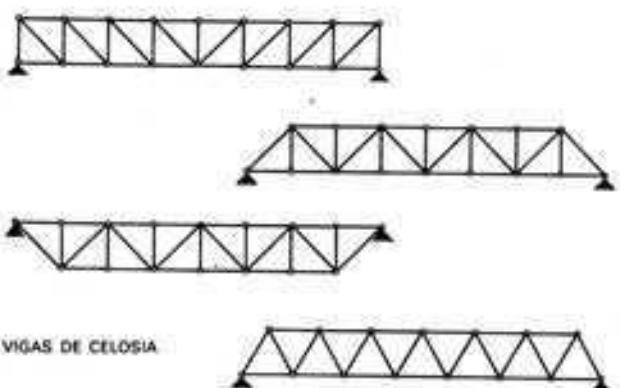
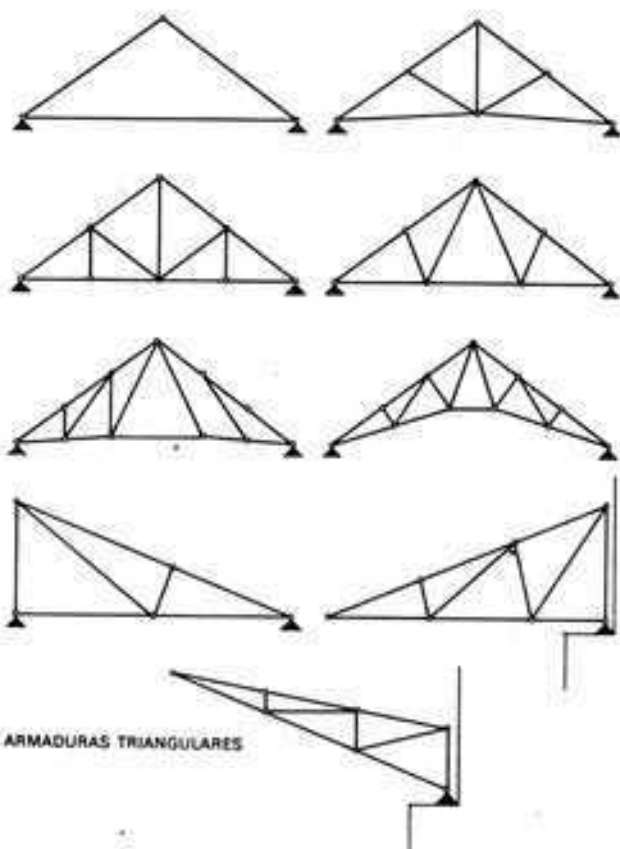
Estructuras metálicas para cubiertas

La elección del material, madera o hierro, para la estructura de una cubierta depende del objeto o finalidad a que se destina la construcción y de la economía con que quiera llevarse a cabo. El acero, con sus elevadas resistencias a la tracción y a la compresión, hace posible la construcción de ligeras y decorativas armaduras. El curso o trayectoria de las fuerzas puede ser seguido con facilidad y precisión de forma que el cálculo de dimensiones de las secciones de cada barra puede hacerse con arreglo a los esfuerzos exactos que debe soportar y en cada caso puede ser aprovechado útilmente todo el material. Los cordones y las barras del entramado se unen mediante tornillos o soldadura, de manera que los ejes de las fuerzas correspondientes a las barras concurren exactamente y en forma bien centrada en los puntos de los nudos. De esta manera es posible enlazar en la misma forma tanto las barras de tracción como las de compresión y hacerlas concurrir en el número que se quiera.

Estas numerosas ventajas del acero en la construcción están, sin embargo, disminuidas por algunos inconvenientes: el acero resulta más caro que la madera; no es tan resistente a los agentes químicos, especialmente a los ácidos, y, por consiguiente, en muchas industrias, como p. ej. las de productos químicos, debe excluirse como material para la construcción de las cubiertas. Además, el acero conduce mejor el calor y aísla menos que la madera.

Como la resistencia del material disminuye rápidamente bajo el efecto de fuego, se requieren —excepto en construcciones industriales con poco peligro de incendio— unas medidas adicionales de protección contra incendios. Para otros detalles sobre las características y la elaboración del material véase el apartado "Construcciones de entramado metálico".

También en las estructuras metálicas de cubiertas debe distinguirse entre las construcciones de celosía y las de pared llena. A continuación se expone detalladamente la ejecución de ambos sistemas y se presentan algunos ejemplos de sistemas constructivos de naves.



Estructuras de celosía

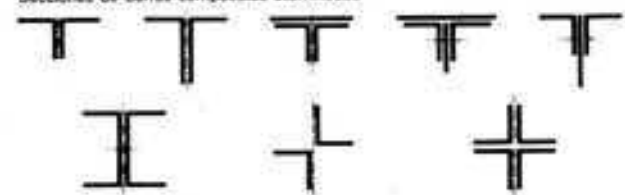
Las vigas de alma llena, que pueden presentarse como estructuras soldadas, laminadas o remachadas, sólo aprovechan totalmente los esfuerzos en dos puntos: en los cantos exteriores de la cabeza superior y de la cabeza inferior. En cambio, la viga de celosía ofrece la ventaja de que cada barra puede ser solicitada en toda su sección con las cargas admisibles. Esta posibilidad está limitada un poco por el hecho de que las barras solicitadas a compresión deben dimensionarse para resistir también el pandeo, y que para las barras solicitadas a tracción —cuando se trata de una construcción remachada— debe tenerse en cuenta los efectos del remachado.

Generalmente las armaduras metálicas de celosía o bien se sueldan y se atornillan o bien sólo se sueldan. Los tipos de uniones de armaduras metálicas se tratan detalladamente en el apartado "Construcciones de entramado metálico".

Armaduras metálicas atornilladas

Para las armaduras atornilladas se emplean secciones simétricas de dos piezas (dobles ángulos o simple ángulo) que, en caso necesario, pueden reforzarse interponiendo una alma o recubriendo las alas con una tabla.

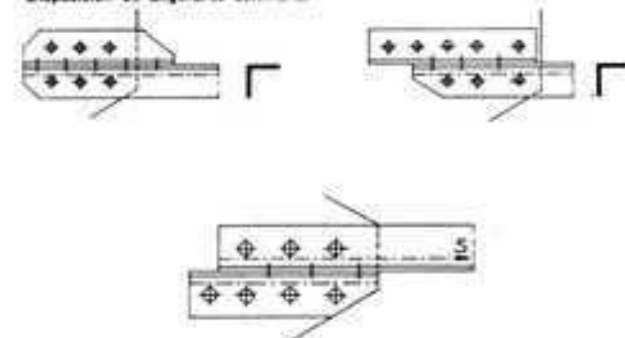
Secciones de barras compuestas atornilladas



La separación de los perfiles se regula según el espesor de la plancha empleada en los nudos y del tamaño de los perfiles. Los angulares de alas desiguales, en general, se colocan con el ala larga adosada a la plancha del nudo. En toda la armadura hay que procurar no emplear más que un solo diámetro de tornillo, en cuanto sea posible. Las barras de triangulación se fijarán cuando menos con 2 tornillos. Deben evitarse los empalmes de barras entre dos nudos.

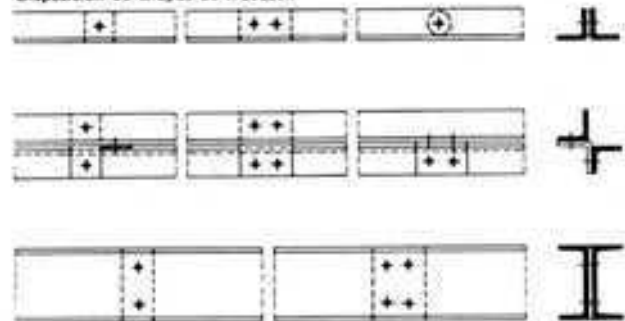
En los pares se disponen los angulares en tal forma que las alas salientes queden hacia la parte de arriba, para mejor apoyo de las correas. Para formar los pares se emplearán por lo menos ángulos de $50 \times 50 \times 5$ (y si son de alas desiguales, de $30 \times 60 \times 5$). Esta exigencia es consecuencia del diámetro mínimo de los tornillos (M 10) y la correspondiente distancia mínima al borde. Únicamente para armaduras muy ligeras se admitirán angulares de 35 mm de lado. Cuando las barras que forman el par abarcan varios tramos, se escoge para toda su longitud un solo perfil cuyas dimensiones han de corresponder al máximo esfuerzo que ha de soportar o bien a la máxima longitud de pandeo. Puede también resultar económico utilizar un perfil de menor sección a todo lo largo de la barra, reforzando luego con planos supletorios de alma o de ala aquellas secciones o tramos en que los esfuerzos que hay que soportar son mayores.

Disposición de angulares auxiliares



En los tirantes, las alas salientes de los perfiles se disponen hacia abajo. Con el fin de acortar la longitud de los perfiles necesaria para los remaches y economizar plancha en los nudos se suelen colocar angulares auxiliares en los empalmes. Estos angulares deben unirse rigidamente a los principales (es decir, unión mediante tornillos de alta resistencia) para que los tornillos que los unen a la plancha del nudo trabajen uniformemente. En las barras formadas por dos angulares, para asegurar la distancia entre ambos perfiles y contribuir al trabajo de la pieza como barra única, se disponen rellenos o forros de chapa con forma redonda o rectangular a distancias de 1,50 a 2,00 m. Para la aplicación de planchas de unión en las barras sometidas a compresión rige la norma DIN 4114.

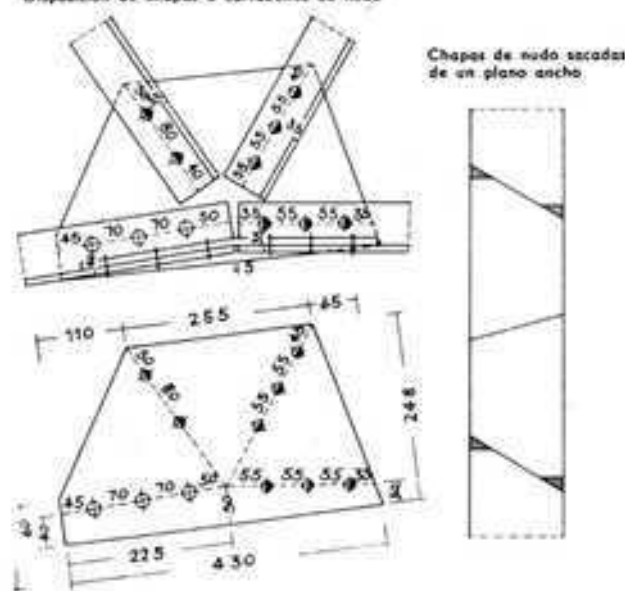
Disposición de chapas de trabazón



Como las barras de triangulación soportan esfuerzos longitudinales menores que los pares y el tirante, pueden tener estructuras más ligeras. En los nudos se procura terminar la barra de triangulación con un corte perpendicular al eje de la misma. La distancia en los nudos entre las barras de triangulación y las de par o tirante, o bien entre dos barras de estos últimos debe ser de unos 5 mm. Las longitudes de barra deben redondearse hasta el múltiplo próximo de 5 mm (5, 10, 15, 20 mm).

La forma usual de la plancha de nudo es la forma rectangular; si no es posible emplearla se procurará que dos de sus bordes sean paralelos y que el desperdicio sea el menor posible. Los espesores corrientes en las construcciones metálicas suelen variar entre los 8 y los 14 mm. Las dimensiones de las planchas para los nudos vienen dadas por las distancias a que han de estar separados los tornillos. Al escoger las dimensiones de las planchas se procura emplear siempre números redondos. Todas las esquinas de las planchas de nudo tienen que quedar protegidas con laminados que las cubran o han de coincidir con aristas de barras. Hay que evitar ángulos o esquinas salientes porque pueden dar lugar a sobretensiones.

Disposición de chapas o cartabones de nudo



Chapas de nudo sacadas de un plano ancho

Armaduras soldadas

Para los pares de las armaduras soldadas, suelen emplearse perfiles T normales o de ala ancha y, para las barras de triangulación, perfiles T de nervio alto o dos angulares acoplados formando sección de T o de cruz.

Perfiles para barras de celosía



Para las construcciones soldadas de acero rige la norma DIN 4100.

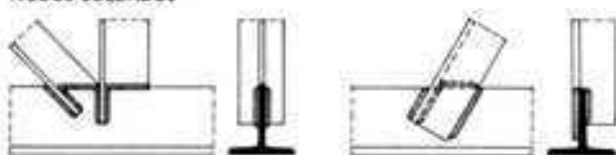
Las construcciones soldadas tienen entre otras las siguientes ventajas:

Menor plazo de recepción de los trabajos hechos en taller; un 15 a un 20% de economía en el peso, economía en el coste, dando por sentado que se dispone de los talleres necesarios; menores gastos de conservación (10% menos de superficie a pintar, que en las armaduras remachadas) y presentación exterior de mejor aspecto.

Para lo referente a la soldadura véase el capítulo "Construcciones de entramado metálico".

Las placas de nudos sobran en la mayoría de los casos, porque las barras de la celosía van soldadas directamente al alma de pares y tirantes.

NUDOS SOLDADOS



Correas

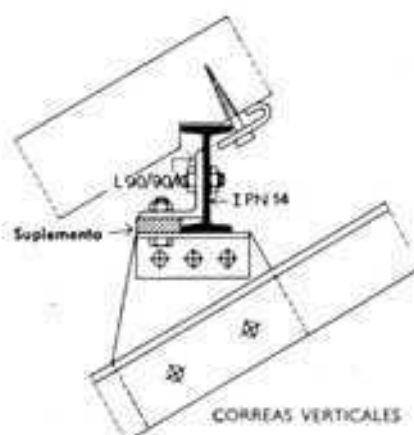
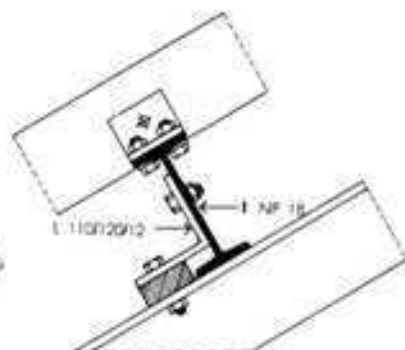
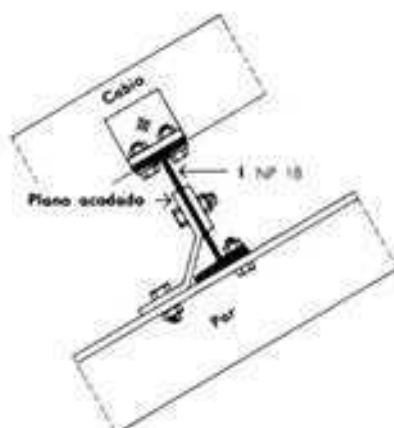
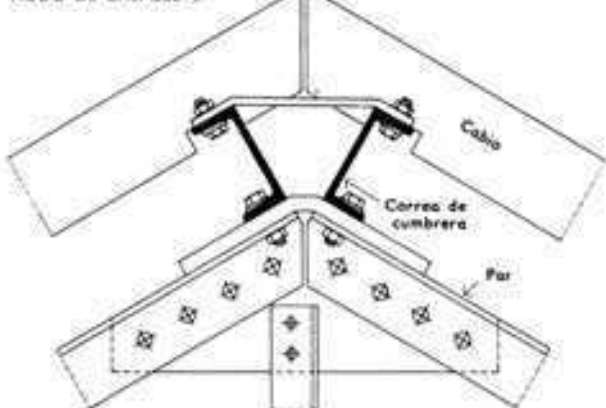
Las correas, en la mayoría de los casos, son de acero, y, en contadas ocasiones, de madera. Las correas de madera solamente se emplean para casos en que la distancia o separación entre los cuchillos no excede de 4,00 m y en cubiertas de poca pendiente

cuando el entablado se clava directamente a las correas. Las correas de acero, según la luz, son perfiles laminados o vigas de celosía. Para luces de más de 10 m, se suelen hacer de esta última clase, por razones de economía. Las correas de vigas laminadas se colocan en forma de vigas continuas con articulación o sin ella, o con jabalcones o acartelamientos en sus extremos; las correas de celosía se disponen como vigas apoyadas, excepcionalmente como vigas continuas. En las correas con articulaciones, por la simetría de la disposición articulada ofrece ventaja adoptar un número impar de tramos. Para la formación y situación de las articulaciones, así como para las dimensiones de las correas articuladas, se aplicarán las hojas de normas DIN 1009 a DIN 1012.

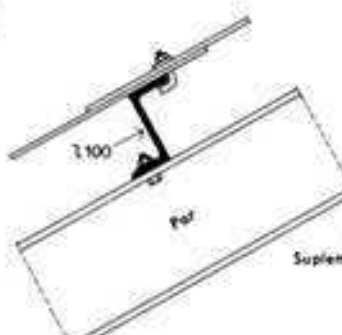
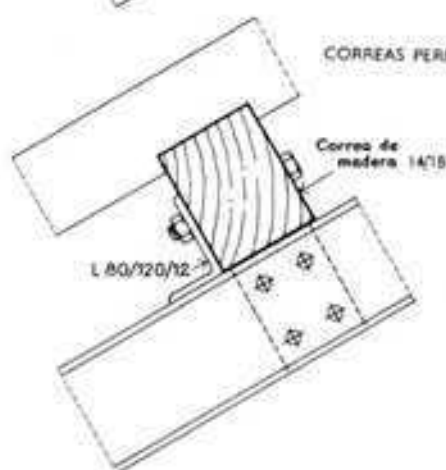
Los jabalcones o acartelamientos de los extremos sólo se colocan, en general, en el caso de correas montadas con el alma vertical. Las correas van empalmadas sobre las armaduras y ligadas únicamente con una brida de alma. Las correas de celosía se hacen generalmente en forma de vigas de cordones paralelos y se suelen colocar con sus almas verticales. Se logra un buen apoyo cuando se hace descansar el cordón superior de las correas en los pares de las armaduras.

FIJACIÓN DE LAS CORREAS

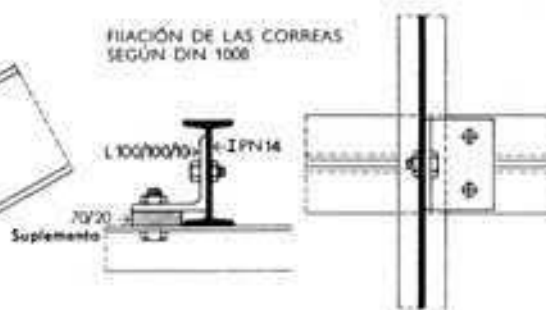
NUDO DE CABALLETE



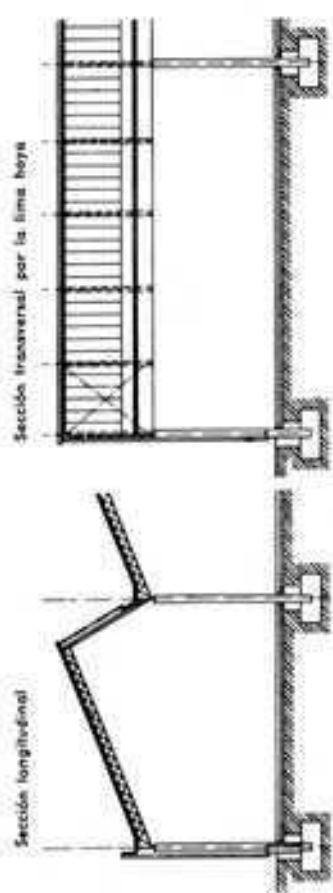
CORREAS PERPENDICULARES A LA VERTIENTE



FIJACIÓN DE LAS CORREAS SEGÚN DIN 1008

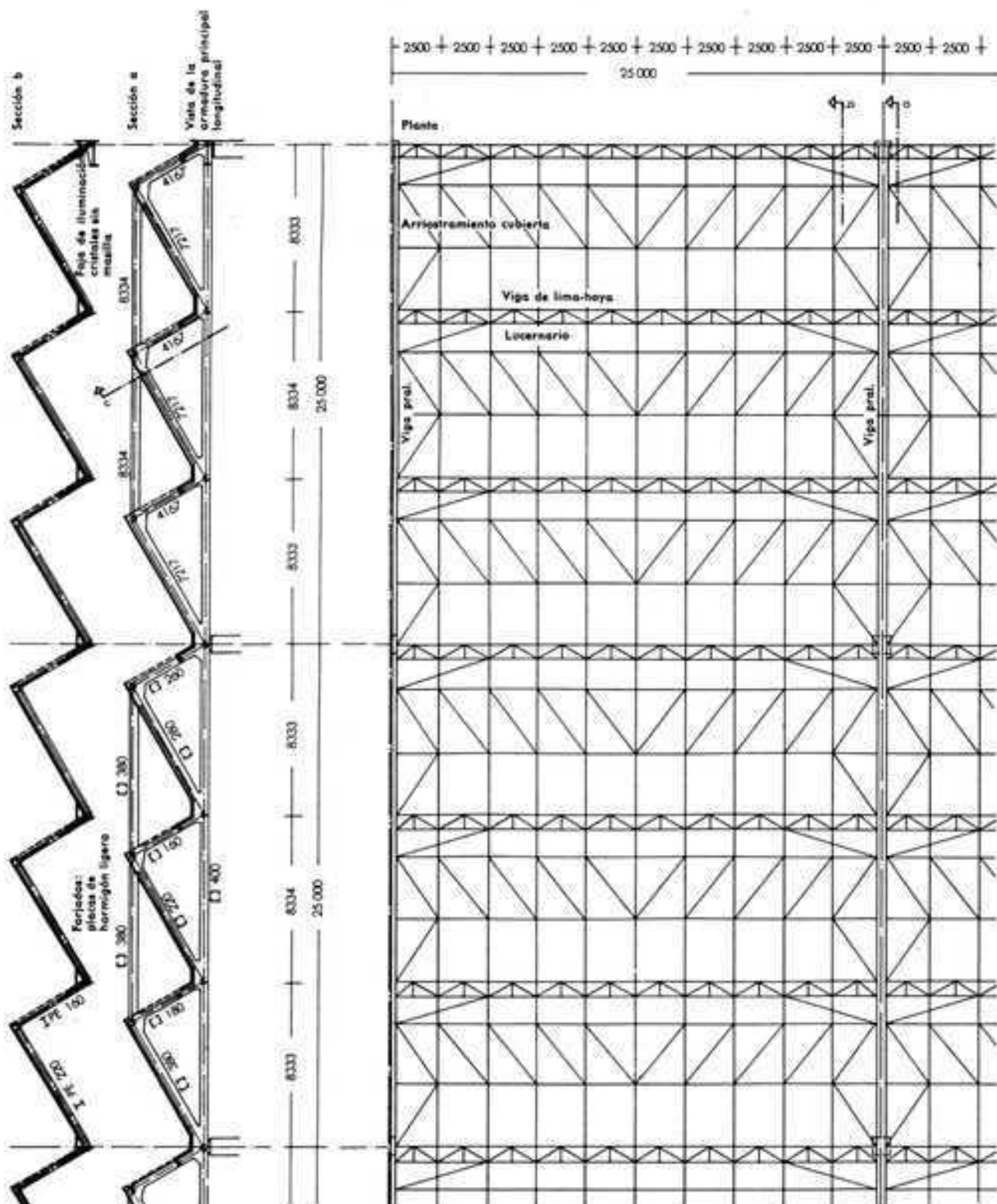
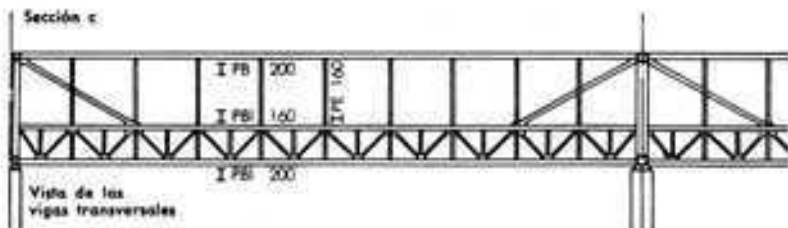


VIGAS PRINCIPALES TRANSVERSALES: VIGAS DE PLANCHAS DE ALMA LLENA. VIGAS LONGITUDINALES: ARMAJURAS DE SHED, CON VIGAS R



VIGAS PRINCIPALES LONGITUDINALES: ARMADURAS DE CELOSÍA
VIGAS TRANSVERSALES: DE CELOSÍA EN LA LIMA HOYA, DEBAJO
DEL LUCERNARIO

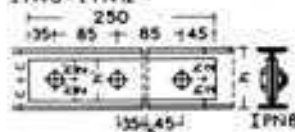
Sección c



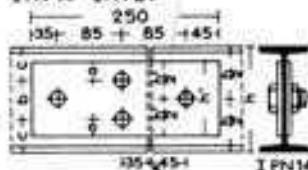
ARTICULACIONES DE CORREAS GERBER, DIN 1009

Con bridas de planas

IPN 8 - IPN 12

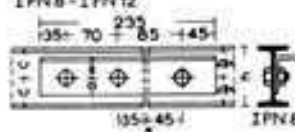


IPN 14 - IPN 24

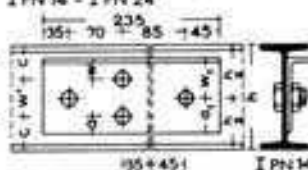


Con bridas de angulares

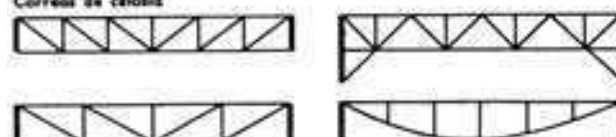
IPN 8 - IPN 12



IPN 14 - IPN 24



Correas de celosía



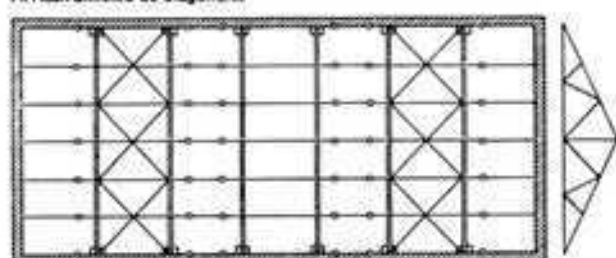
Las correas pueden colocarse verticales o perpendiculares a la superficie de la cubierta y deben quedar, en el último caso, bien aseguradas contra el vuelco y el deslizamiento.

La separación o distancia entre las correas dependerá de la luz que admiten los cables y el revestimiento de la cubierta; viene a ser de 2,00 a 4,00 m.

El empuje de la cubierta, que crece con la inclinación de ésta, se transmite a la cumbrera debidamente reforzada o a una correa de alero especialmente acondicionada, o también se compensa por medio de tirantes directamente unidos a los nudos de la cumbrera.

Las indispensables diagonales de arriostramiento longitudinal o transversal son angulares o hierros planos, que en la mayoría de los casos no se calculan, sino que se eligen a estima. Como secciones se emplean angulares de 45 x 45 x 5 a 60 x 60 x 6 o bien planos de 50 x 6 a 60 x 8. Las riostras diagonales van colocadas en los tramos extremos o en un tramo de cada tres o de cada cinco. Con las correas articuladas sólo deben colocarse riostras en tramos sin articulación. Las riostras diagonales de acero se unen casi siempre a las planchas de los nudos y por medio de ellas al par de la armadura correspondiente o a las correas.

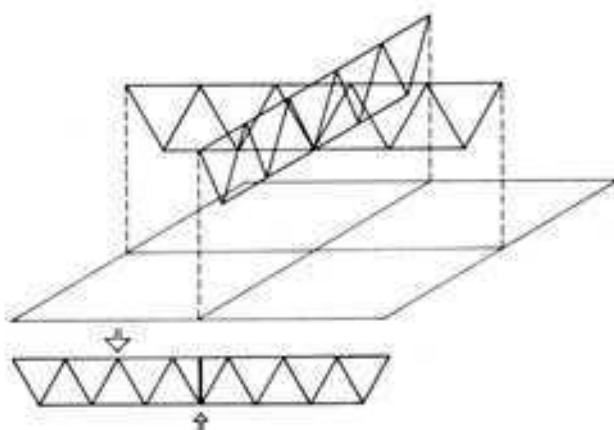
Arriostramiento de diagonales



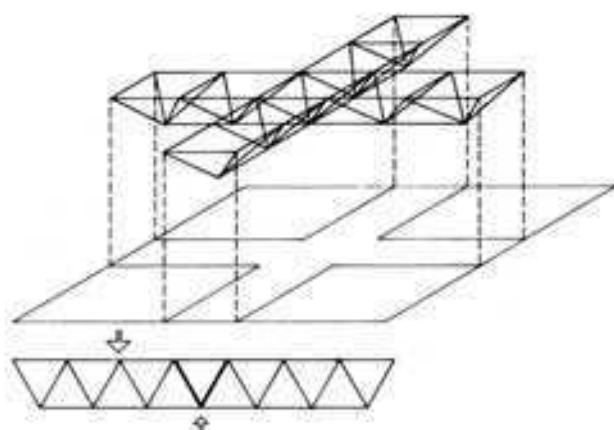
Mailas espaciales

Al contrario de lo que ocurre en los entramados planos, en las mailas espaciales las cargas no sólo se transmiten en las direcciones señaladas por las vigas principales, sino que se reparten, a través de sus numerosas barras y de las uniones de las mismas, en múltiples direcciones. Estas mailas son sistemas de alto grado de hiperestatismo, lo que explica que sólo hayan encontrado un gran desarrollo paralelamente al del cálculo electrónico.

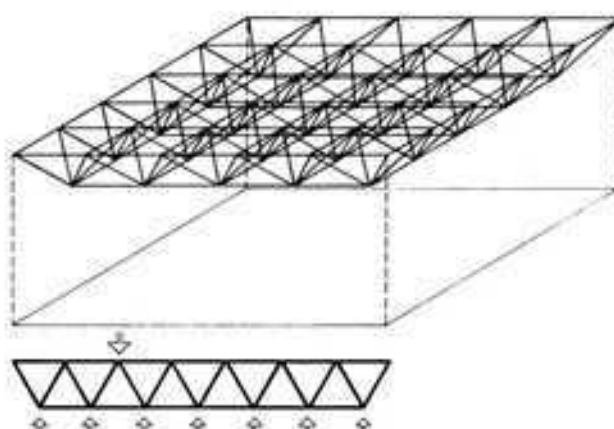
Sistema de sustentación del entramado especial
(de la obra de Heinrich Engel: Tragssysteme)



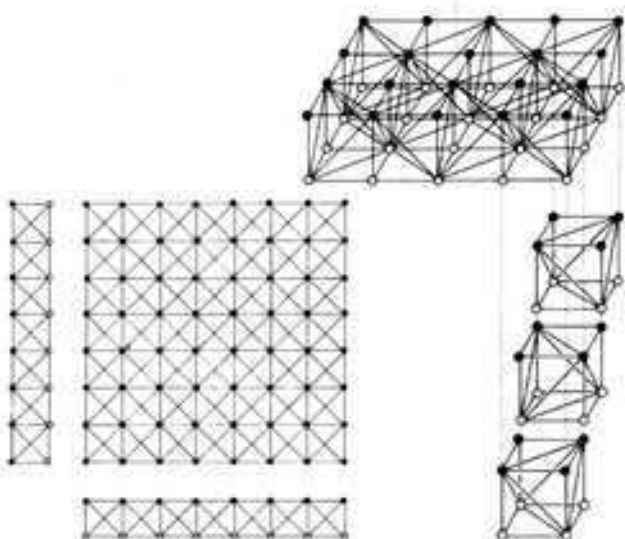
Participación en la resistencia de una viga paralela no directamente cargada



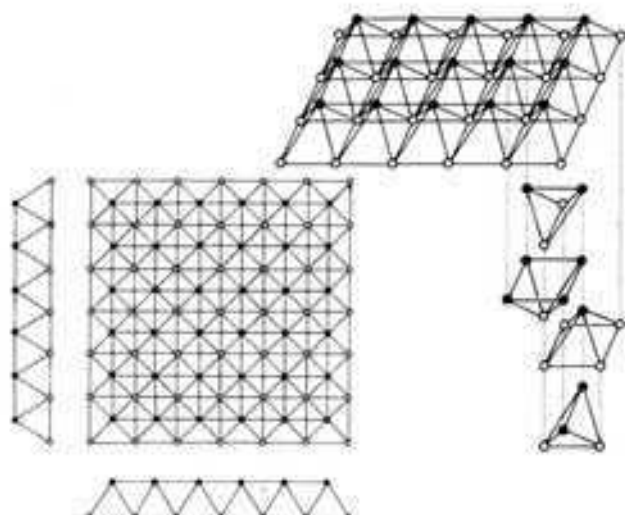
Aumento de la eficacia mediante el empleo de varias vigas paralelas, a veces unidas



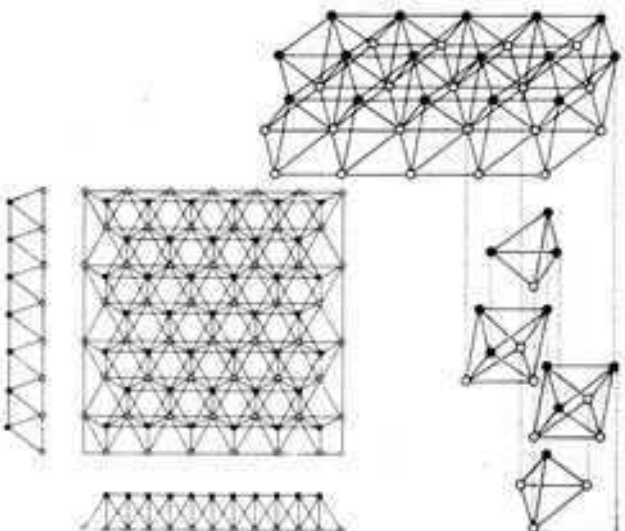
Máxima eficacia por la transmisión continua de fuerzas no ya sólo de viga a viga, sino de barra a barra en toda la extensión tridimensional



Sistema sustentante compuesto por cubos



Sistema sustentante compuesto por semioctaedros y tetraedros



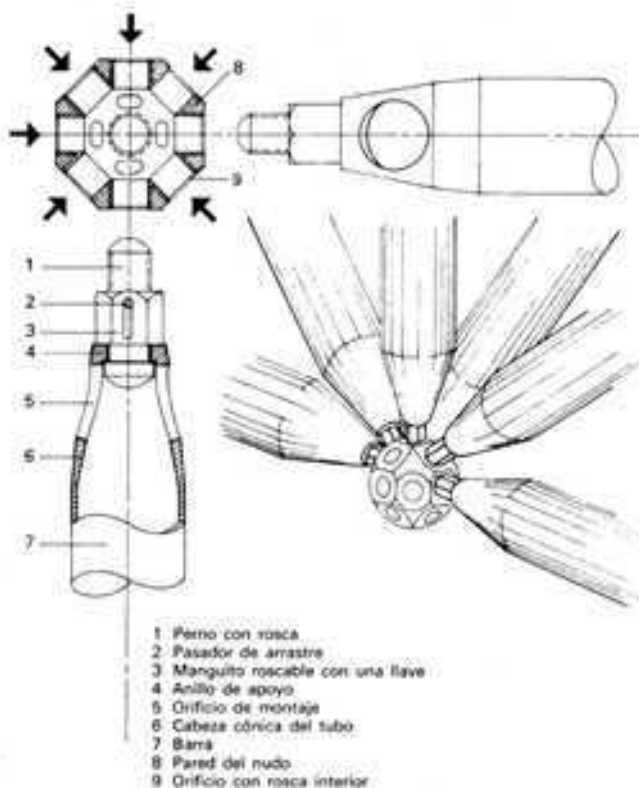
Sistema sustentante compuesto por octaedros y tetraedros

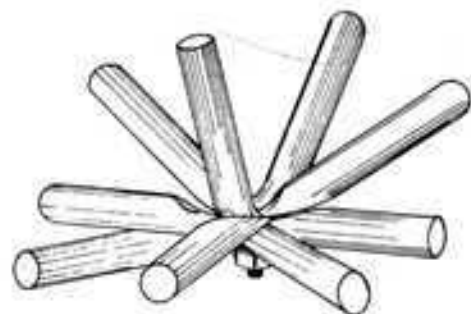
Seguindo las leyes estructurales de la Naturaleza se salvan aquí grandes luces con una mínima cantidad de material mediante un conjunto de barras huecas relacionadas regularmente unas respecto a otras, en las tres dimensiones. Las longitudes y secciones que deben tener las barras no dependen sólo de las luces a salvar y de la altura de que se dispone para el entramado, sino sobre todo de la posición y la estructura de los elementos-base geométricos de los cuales se compone el enrejado espacial. Las condiciones para que el montaje sea lo más fácil posible y para que sea factible una construcción industrializada a base del acoplamiento de elementos prefabricados vienen dadas, aparte de por las relaciones estáticamente óptimas, por la normalización de las longitudes de las barras y la disposición de sus uniones.

Composición de las mallas espaciales

De todos los sistemas el más generalizado es el sistema MERO, el realizado por Mengeringhausen ya en los años treinta. Su formulación de las leyes constructivas y de las reglas de composición para entramados regulares hizo posible componer un catálogo de mallas espaciales. Estas se basan en la geometría del cubo y sus partes regulares, los llamados segmentos del cubo. Los tres sistemas más importantes son acoplamientos:

- de cubos:
Las diagonales en las seis caras forman un tetraedro. Al unir estos cubos las barras y nudos de cada una de las caras coinciden.
- de semioctaedros y tetraedros:
Con esta combinación se produce un prisma triangular con los extremos cortados oblicuamente, que se completa mediante un prisma dispuesto simétricamente.
- de octaedros completos y tetraedros.
Según el elemento geométrico fundamental, les corresponde un reticulado rectangular, diagonal o triangular; sin embargo, la planta de una estructura sustentante no está ligada incondicionalmente a un reticulado como éste.





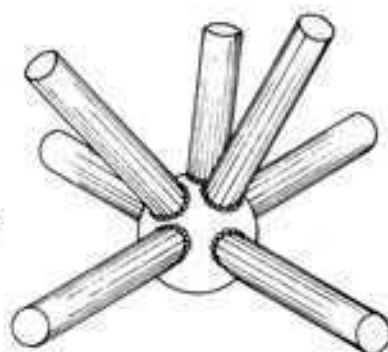
Ejemplo de unión por aplastamiento de los extremos de los tubos



Bola hueca



Elemento tubular atravesado en una bola de unión y soldado



Unión por soldadura de las barras

Unión de otras barras

Uniones de las barras en las mallas espaciales

El sistema más sencillo para la unión de las barras de una malla espacial es el de Mengerhausen, a base de uniones roscadas entre la rótula y las barras. Los nudos, con un cierto número (en general, 18) de enlaces iguales, tienen desde el punto de vista matemático la forma de un poliedro. Los ejes de los huecos roscados se cortan exactamente en el centro de la pieza. Las barras son perfiles huecos, pero en los extremos llevan soldada una pieza cónica con un perno roscado y un manguito llave unido mediante un pasador hendido con el cual se acciona el perno.

Otras posibilidades de unión empleadas en otros sistemas son:

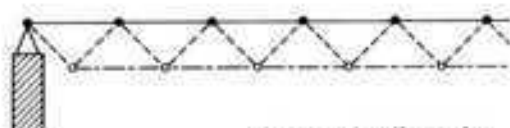
- uniones mediante tubos;
- uniones por enchufe;
- uniones soldadas.

Apoyo de las mallas espaciales

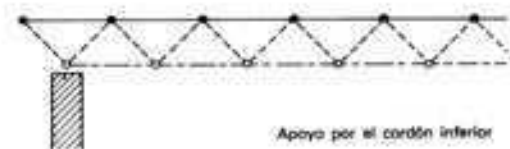
Las mallas planas pueden descansar sobre apoyos de muchos tipos distintos, pues en principio todo nudo puede ser un punto de apoyo.

Entre las posibilidades de apoyo tenemos:

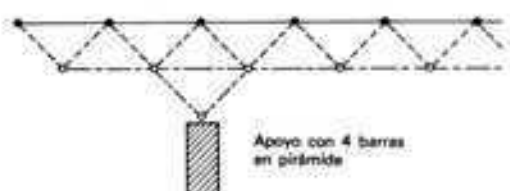
1. Apoyo por el cordón superior
2. Apoyo por el cordón inferior
3. Apoyo en 4 puntos por la zona de las esquinas
4. Apoyo en 4 puntos por la zona comprendida de las esquinas
5. Apoyos constituidos por una o más barras
6. Apoyo por dos lados paralelos
7. Apoyo por todo el contorno



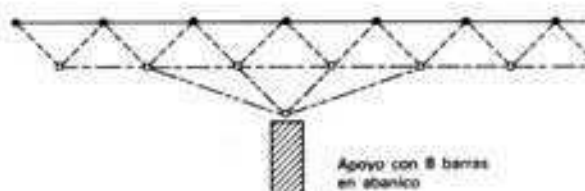
Apoyo por el cordón superior



Apoyo por el cordón inferior



Apoyo con 4 barras en pirámide



Apoyo con 8 barras en abanico

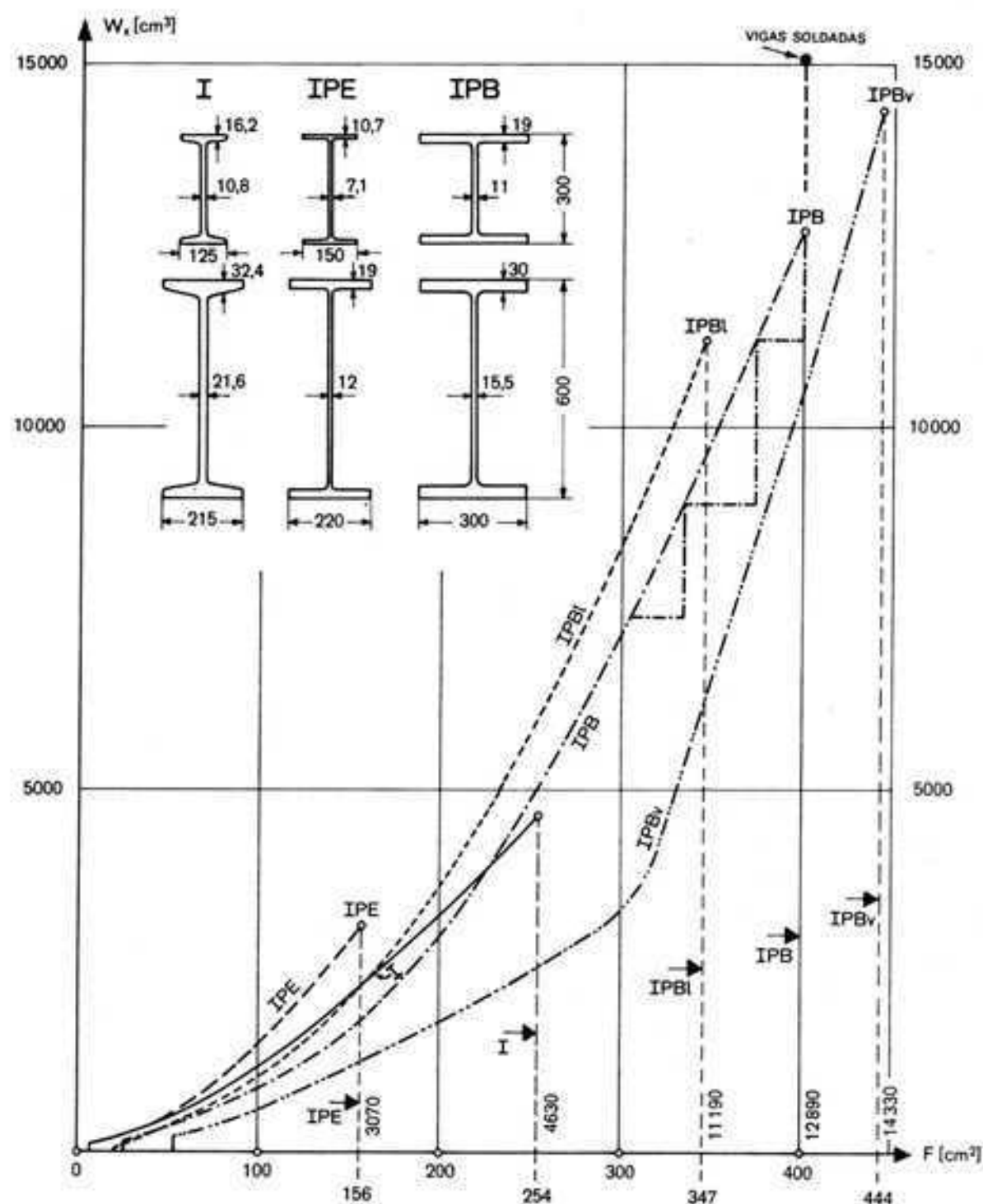
La forma de apoyo más económica para las mallas espaciales extendidas en dos direcciones es aquella en que, sosteniéndose por todo el perímetro, todos los nudos del contorno transmiten cargas. Pero en muchos casos, como en edificios para industrias, talleres, ferias, etc., se desea que el número de apoyos sea lo menor posible. Por esto se han desarrollado cubiertas típicas, que pueden estar apoyadas por los ángulos, como antes indicábamos, o bien descansar, en forma de estructuras en voladizo o continuas, sobre un sistema de cerchas sustentantes.

Cerchas de alma llena

Las cerchas de cubierta de alma llena, atornilladas o soldadas, tienen un aspecto más regular que las estructuras de entramado, ofrecen generalmente menor superficie, con lo cual los gastos de conservación son menores, y tienen menor altura. Tienen el inconveniente de requerir mayor cantidad de acero.

Vigas laminadas

En el año 1849 se presentó por primera vez, en la exposición industrial de París, una viga laminada de acero con sección doble T, de alas estrechas con las caras interiores inclinadas. Actualmente disponemos de un abundante surtido de perfiles de acero con alturas entre 100 y 1000 mm, que tienen empleo inmediato en la construcción de naves industriales, locales comerciales, pabellones deportivos, etc. En la DIN 1025 se indican los diferentes perfiles con sus características, sus dimensiones y sus datos estáticos; véase también el apartado "Construcciones de entramado metálico".

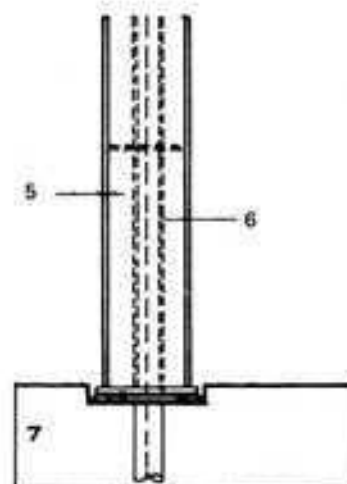
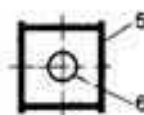
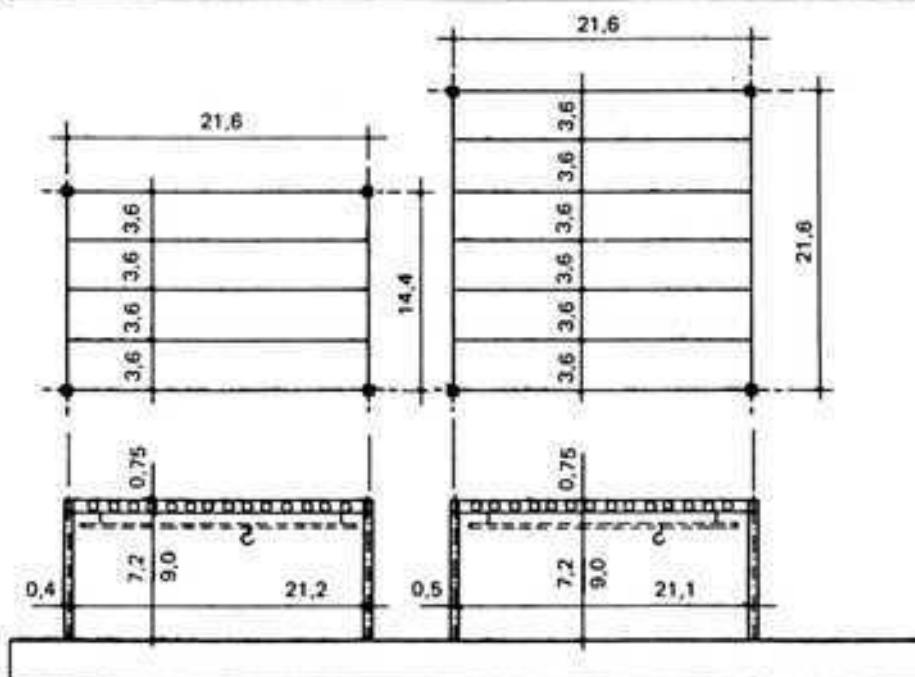
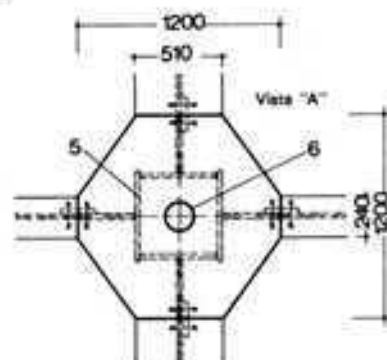
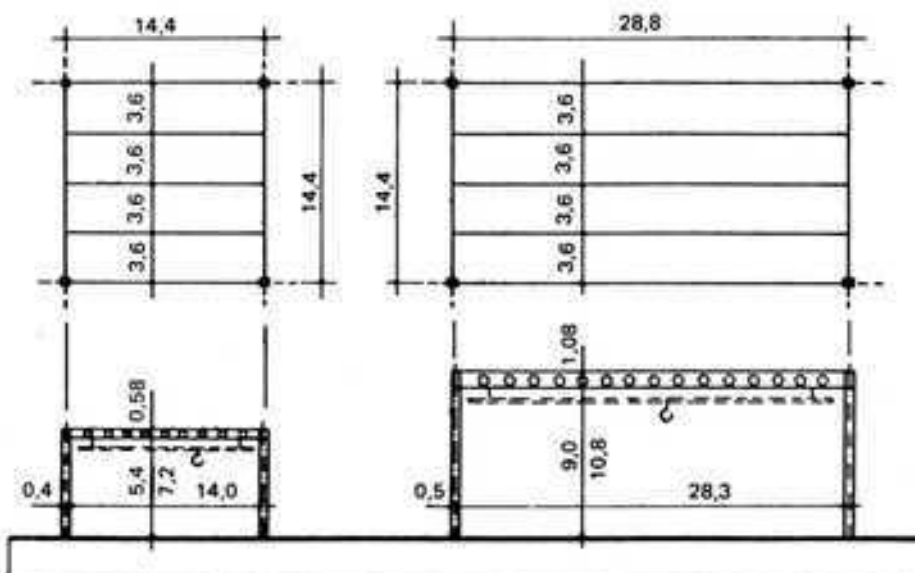
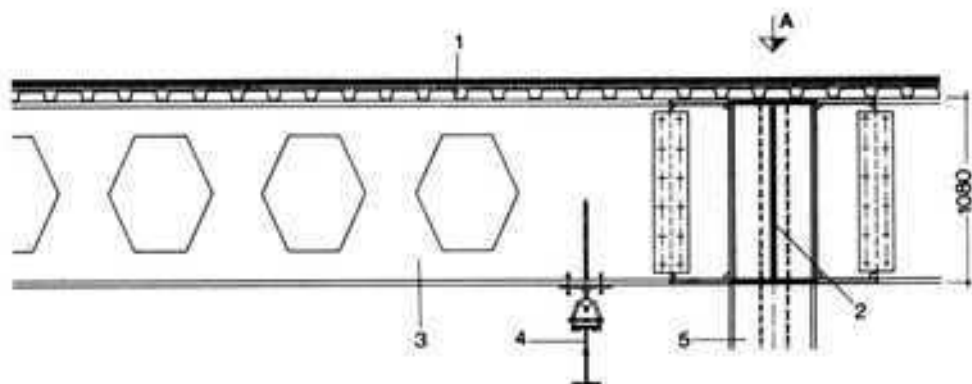


Estos tipos de perfiles difieren en sus momentos resistentes por unidad de sección transversal, o lo que es equivalente, difieren por la cantidad de acero requerida. El inconveniente de su peso propio relativamente elevado y de su gran flecha se contrarresta por pretensado, o sea dándoles en taller una cierta contraflecha, de modo que incluso con grandes perfiles IPB es posible salvar luces de hasta 30 veces la altura de la viga.

Vigas alveoladas

A fin de hacer más favorable la relación entre la carga admisible y la cantidad de acero, a veces se ahueca el alma de las vigas, con lo cual se reduce el peso propio de la viga, conservándose invariable el momento resistente. Una manera de hacer esto es la que ofrecen las vigas alveoladas. Se obtienen estas vigas dividiendo el alma de una viga doble T mediante un corte en forma

- 1 Cubierta de plancha de ondulación trapezoidal con aislamiento térmico
- 2 Jácena perfil I
- 3 Viga de sostenimiento de cubierta, alveolada
- 4 Carril para la grúa suspendida
- 5 Apoyo (perfil de cajón cuadrado)
- 6 Tubería de bajada de aguas
- 7 Cimentación

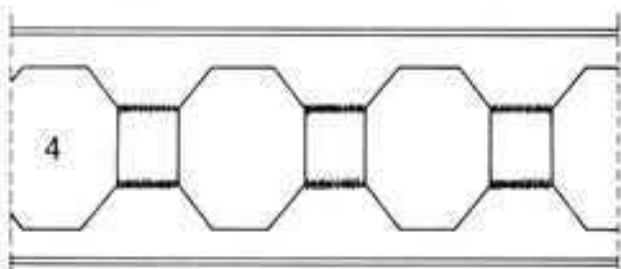
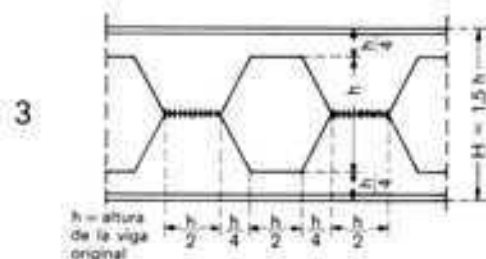
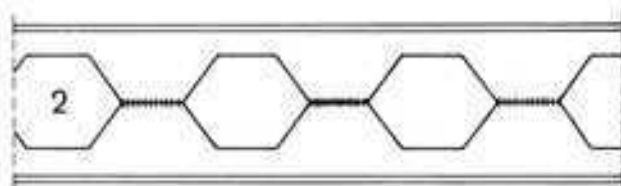
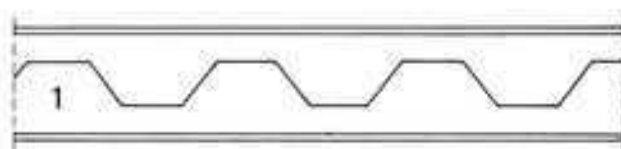


NAVES NORMALIZADAS DIMENSIONES

Sección E. 1:40

Tabla 2. Vigas alveoladas

Perfil	g kg/m	Wx cm ³	Aumento de Wx cm ³
IPB 600	212	5700	—
Viga alveolada simple	212	7750	36%
Viga alveolada sobreelevada en 200 mm	220	10000	75%



de dientes de sierra y volviendo a soldar las dos mitades, desplazadas en la mitad del ancho de un diente. Con ello el momento resistente W_x de las vigas laminadas puede aumentarse hasta un 35-50%. Soldando unas placas entre las dos medias vigas se aumenta todavía el momento resistente hasta más del 200% en los pequeños perfiles y hasta cerca del 100% en los perfiles grandes, según la altura del alma. El mayor peligro de abollamiento se evita por procedimientos constructivos.

El coste de los trabajos para la ejecución de estas vigas, cuando se hace por medios automáticos, queda más que compensado por el ahorro en acero (siempre hay que relacionarlo con el precio del acero). Pero además del aspecto económico pueden ser recomendables las vigas alveoladas por motivos constructivos como la reducción del peso de la estructura de cubierta, o la posibilidad de hacer pasar canalizaciones por sus huecos.

Formas especiales

Con mayor altura que las vigas laminadas pueden componerse también vigas con planchas de acero de los gruesos necesarios, de perfil en doble T o de cajón, aptas para las cargas requeridas. La necesaria seguridad contra el abollamiento se logra por medio de rigidizadores.

Los perfiles de cajón son los que tienen la mejor relación entre capacidad de sustentación y cantidad de acero, entre todas las estructuras de alma llena. Además pueden cumplir otras funciones como servir de canales de desagüe de las cubiertas o de conductos del aire acondicionado.

Las planchas de acero también son apropiadas para estructuras plegadas y laminadas. Las mejores condiciones económicas son las que ofrece la estructura laminar cónica, sometida sólo a tracción, aunque sólo puede emplearse para el caso especial de naves de planta circular. Contra las oscilaciones dinámicas del acero tendido entre la capa de apoyo y estribo periférico hay que precaverse mediante un pretensado o una sobrecarga adecuada.

NAVES PREFABRICADAS RHEINSTAHL

PROGRAMA DE TIPOS					
Tipo	Módulo de la retícula	Altura libre	Distancia entre vigas	Altura de las vigas	Sección de los pilares
1	14,4x14,4 m	5,4 v 7,2 m	3,6 m	0,58 m	0,4x0,4 m
2	21,6x14,4 m	7,2 v 9,0 m	3,6 m	0,75 m	0,4x0,4 m
3	28,8x14,4 m	9,0 v 10,8 m	3,6 m	1,08 m	0,5x0,5 m
4	21,6x21,6 m	7,2 v 9,0 m	3,6 m	0,75 m	0,5x0,5 m

Estructuras de hormigón armado para cubiertas

Las estructuras de cubierta de gran luz hechas con hormigón armado por el ingeniero italiano P. L. Nervi, y un gran número de edificios con estructura laminar, cuyo espesor sólo es comparable con el grueso de una cáscara de huevo, pueden contarse entre las grandes realizaciones de nuestro siglo en el campo de la construcción.

En comparación con la madera y el acero, el hormigón armado se distingue, según el grueso de la capa de hormigón que recubre las armaduras, por una mayor seguridad contra la acción del fuego y una mayor resistencia a los agentes atmosféricos. Esto hace innecesarios los revestimientos protectores y reduce considerablemente los gastos de conservación. Tiene como inconveniente el elevado peso, pero puede reducirse considerablemente la masa de la sección sustentante mediante una acertada organización constructiva, una forma adecuada y una buena disposición de las armaduras, y en algunos casos el pretensado. Así el hormigón armado es un material apropiado incluso para estructuras de cubierta de gran luz, de hasta más de 100 metros.

A causa de las propiedades de este material, se ha generalizado hoy en la construcción de edificios de una planta, especialmente en la construcción por montaje, el empleo de elementos en forma de vigas y barras de hormigón armado, habiendo encontrado allí las losas, láminas y estructuras plegadas, esto es, los elementos espaciales que sirven a la vez como elementos de sustentación y cerramiento, su típico campo de aplicación. Las construcciones macizas y de superficie cerrada son las que están más conformes a las propiedades del material y a las condiciones formales; sin embargo, para reducir el peso propio, se emplean muchas veces elementos de sección perfilada, o hueca, y estructuras de entramado.

Hormigón pretensado

Cuando las luces a salvar son grandes, las estructuras de cubierta de hormigón armado que trabajan a flexión sólo pueden emplearse si se reduce el peso propio y se aumenta la tensión a que se somete el material. Con el llamado pretensado se somete el hormigón a compresión a fin de compensar su falta de resistencia a la tracción y evitar la formación de grietas y fisuras. Con ello la homogeneidad del hormigón aumenta hasta tal punto que pueden absorberse tensiones de tracción sin que se formen grietas, y se produce en las vigas una contraflecha que se compensa con la flecha que se produce en estado de carga. Esto permite, al contrario de lo que ocurre con el hormigón sin pretensión, que se aprovechen totalmente los aceros de alta resistencia, lo que hace posible una reducción de la sección de hormigón y, con ello, del peso propio.

Junto a la norma DIN 1045 para el hormigón armado, para el dimensionamiento y la ejecución de elementos de hormigón pretensado se aplica la norma DIN 4227. El hormigón pretensado puede ejecutarse por diversos métodos, en lo cual hay que distinguir:

Grado del pretensado

- pretensado total (no se producen fisuras de ninguna clase en el hormigón bajo las cargas de uso)
- pretensado limitado (se limitan las tensiones de tracción bajo las cargas de uso)

Tipo de anclajes

- anclaje por adherencia
- anclaje por los extremos

Acción recíproca entre el acero y el hormigón

- Pretensado con adherencia
- Pretensado con adherencia producida posteriormente
- Pretensado sin adherencia

Momento de efectuar el tesado de las armaduras

- Tesado de la armadura antes de verter el hormigón, o cuando el hormigón se ha endurecido entre determinados puntos (lecho de pretensado), con lo cual la solidaridad entre los dos materiales sólo se produce con el endurecimiento del hormigón.

- Tesado de la armadura después de endurecido el hormigón, con lo cual la armadura al principio está floja en los conductos que la envuelven, en los que se inyecta a presión mortero de cemento después del tesado.
- El postesado sólo es posible cuando las armaduras están fuera de la masa de hormigón o bien cuando no hay adherencia entre ellas y el hormigón.

Para producir las elevadas presiones que requiere el pretensado se emplean gatos hidráulicos, que para fuerzas de anclaje de por ejemplo 4-75 t trabajan con una presión de 240-290 kg/cm². Hay gatos especiales que trabajan con presiones de más de 500 kg/cm². Según los procedimientos de pretensado y los casos, se alcanzan fuerzas de pretensado de hasta 250 toneladas.

Las armaduras pueden estar constituidas por alambres aislados, cordones compuestos por varios alambres, o cables de gran sección. La fuerza de pretensado que se requiere para cada armadura determina el mínimo de elementos que el anclaje reúne en un haz. Estos elementos se unen con manguitos atornillados; cada cordón, formado por alambres, se adquiere en rollos de la longitud que se desea. El acero empleado para los cordones es generalmente acero estrado en frío, con una resistencia a la rotura de 15 000 a 18 000 kg/cm²; para los alambres sueltos, acero Sigma de calidad entre 60/90 y 80/105, en diámetros entre 8 y 31 mm.

Como una parte del pretensado se pierde por las posteriores retracciones y fluencias del hormigón, las armaduras deben ser tesadas con una tensión notablemente por encima de la efectiva tensión definitiva, lo que explica las grandes exigencias en la resistencia del acero. Una retracción de entre 0,5 y 1,5 mm/m (con buen secado) representa para el acero tesado una pérdida de resistencia de entre 1000 y 3000 kg/cm².

Cerchas

Las cerchas de hormigón armado no se generalizaron definitivamente hasta que se ha desarrollado la técnica del hormigón pretensado. Mientras al principio, para disminuir el peso propio, las cerchas de hormigón armado se construían también en forma de entramados de barras, ahora, a causa del gran coste de los encofrados y su gran altura, se ha desistido de su empleo aunque en los países socialistas europeos sean todavía absolutamente usuales.

Lo mismo puede decirse de las estructuras en forma de pórtico, que ciertamente son adecuadas al material, pero que por su forma angular, cuando son de grandes dimensiones presentan dificultades de transporte; sólo son usuales en piezas de pequeñas dimensiones, por ejemplo, elementos angulares para cubiertas en shed.

A causa de la dificultad de lograr que las uniones de montaje sean rígidas, en la construcción de naves con elementos prefabricados de hormigón armado domina el principio estático de emplear pilares empotrados y vigas con apoyo articulado. Los soportes pendulares con arriostramiento por las losas verticales que constituyen las paredes se emplean raramente. También las desiguales condiciones de las cimentaciones abogan, en la construcción por acoplamiento de elementos prefabricados, en favor de las uniones articuladas y los sistemas isostáticos. Las cubiertas a base de cerchas con planos de cubierta inclinados y desagüe en los exteriores son posibles en edificios de una sola nave de hasta 25 m de ancho. Para dimensiones mayores y para edificios de varias naves, la superficie de la cubierta toma forma de cubeta, con desagües junto a los pilares interiores. Una sobreelevación obligada estáticamente es suficiente para evitar la formación de bolsas de agua.

Formas de cerchas

Es típica la cercha con sección en doble T, de hormigón armado, que con su alma delgada y sus cordones robustos y con su sección rectangular en los apoyos se adapta a la distribución de tensiones en el cuerpo de la viga, tal como ocurre con los perfiles laminados en la construcción en acero. Mientras la viga de sec-

Elementos estructurales de hormigón armado para cubiertas			
Sistema estático		Luces corrientes L en m	Altura del elemento
	Viga de un tramo sobre dos apoyos	5-15	
	Viga de un tramo sobre dos apoyos	12-50	
	Cercha a dos vertientes; viga de alma hueca	12-50	
	Elemento en forma de caja	9-12	h=50-60
	Losa nervada, en T o en TT	15-35	h=50-90
	Losa con estructura sustentante de sección hueca	20-35	h=50-100
	Elemento plegado en V	hasta 24	h=60-100
	Elementos en forma de canal sin reborde	hasta 20	h=60
	Láminas HP pretensado o sin pretensar	hasta 25	h=40-60
	Viga en dos piezas articuladas, o sea pórtico en ángulo	20-40	
	Vigas en voladizo con un centro sobreelevado	12-20	
	Viga central con voladizos y dos vigas simplemente apoyadas	25-40	
	Pórtico de tres articulaciones con tirante	20-40	
	Estructura en diente de sierra con vigas rectas	6-12	
	Vigas canal que sostienen elementos angulares en diente de sierra	5-10	
	Arco de tres articulaciones, con tirante	20-50	$h = \frac{L_1}{10} - \frac{L_2}{2}$
	Arco de tres articulaciones, con estribos	20-50	$h = \frac{L}{6}$
	Arco formado por elementos laminares	hasta 100	

ción rectangular no pretensada sólo es económica para luces entre 5 y 10 m, la viga de hormigón pretensado con sección doble T resulta para luces entre 10 y 30 m económicamente equivalente a la viga de acero soldada y a la viga de madera laminada. La anchura más económica de un gran número de naves normalizadas está alrededor de los 15 m; la distancia entre cerchas, según el sistema de cubrición empleado, está entre 5 y 15 m.

Las cerchas en arco, debido a que sólo están expuestas a esfuerzos de compresión, son muy apropiadas para este material y permiten luces de hasta 50 m. Pero incluso en el caso de estar dispuestas en forma de arco con tres articulaciones dividido en dos piezas, su empleo resulta muy problemático por sus grandes dimensiones y por las dificultades de transporte.

Correas y losas de cubierta

Según la estructura de la cubierta y según el material que se emplea en el recubrimiento y las luces que con este material se han de salvar, resulta o no conveniente el empleo de correas. Igualmente están relacionadas con el material de cubrición la luz y la distancia entre cerchas.

Las losas de cubierta de hormigón celular colocadas directamente de cercha a cercha son apropiadas para cubiertas con cerchas separadas de 3,00 a 6,00 m de distancia, según el grueso del material, que a su vez depende del grado de aislamiento térmico deseado.

Las planchas de ondulación trapecial deben ser sostenidas por correas. Para las distancias entre correas de 2,50 m convenientes para la plancha de ondulación trapecial sobre correa de acero laminado, resultan óptimas económicamente unas longitudes de correa de 7,50 m; para correas de hormigón pretensado, todavía longitudes mayores, de hasta 12,00 m.

Con planchas onduladas de fibrocemento, que según la altura de las ondulaciones y la longitud de las planchas requieren un apoyo cada 0,90 a 1,45 m, se suele elegir un sistema de sustentación de madera o de acero. Las losas de cubierta autosustentantes, nervadas, de hormigón armado o pretensado, permiten una mayor distancia entre apoyos y hacen innecesarias las correas. Así la distancia entre cerchas puede ser mayor que colocando unas jácenas en dirección conveniente. Cuando los citados elementos se apoyan en ménsulas, si la distancia entre apoyos es suficientemente pequeña puede incluso prescindirse totalmente de las jácenas.

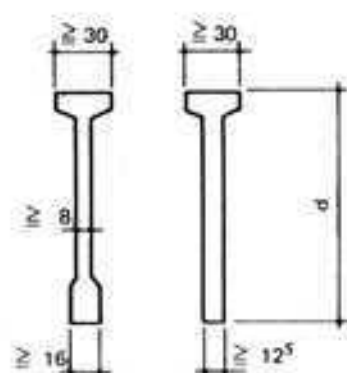
Existen distintos sistemas industrializados de construcción de naves a base de elementos en U, en T, o en TT, cuyo campo económico de empleo está entre los 15 y los 30 m. Las correas y losas de cubierta moldeadas de una sola pieza forman aquí una sección autosustentante, una pieza prefabricada de un forjado nervado. Pero estos elementos de reducido espesor, abovedados, son muy sensibles a las cargas no uniformes y no admiten huecos en los nervios (en la losa a compresión, si los admiten, por ejemplo, para cúpulas-lucernario) y sólo con gran dificultad se ejecutan las juntas laterales a tope. Los mejores son los elementos en U con rebordes en los lados, con los cuales en las juntas laterales se forma un doble nervio que ofrece mejores posibilidades de unión. Con estos elementos estandarizados pretensados no son admisibles sobrecargas de ninguna clase ni es posible disponer huecos que los atraviesen. Además la estructura sustentante de la cubierta debe ser tal que los eventuales movimientos de la infraestructura sean debidamente amortiguados y no repercutan produciendo daños al material de revestimiento de la cubierta.

Cerchas de caras paralelas



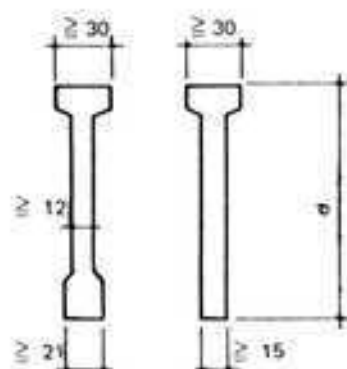
Dimensiones mínimas para la clase de resistencia al fuego

F 30



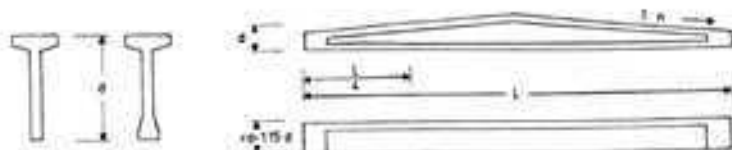
Dimensiones mínimas para la clase de resistencia al fuego

F 90



Altura de las cerchas d

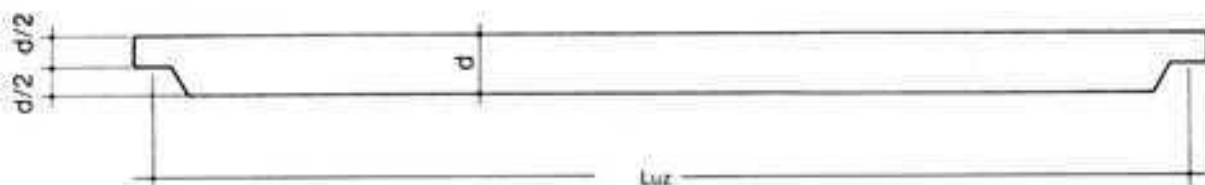
Luz	Cargas					
	Hormigón ligero Hormigón gaseoso			Plancha de ondulación trapecial Fibrocemento		
	Distancia entre cerchas					
	5,0	7,5	10,0	5,0	7,5	10,0
10,0	55	65	77	57	55	65
12,5	65	77	92	57	65	77
15,0	77	92	107	65	77	92
17,5	92	107	127	77	92	107
	107	127	147	92	107	127
22,5	127	147	167	107	127	147
25,0	147	167	187	127	147	167
27,5	167	187	207	127	167	187
30,0	187	207	232	147	187	207



Cerchas para cubiertas

Carga	Distancia entre cerchas a (m)	Altura de las cerchas d (cm) para una luz L (m) de						
		10	12,5	15	17,5	20	22,5	25
Hormigón gaseoso: d = 15-20 cm 2 capas de cartón 3 cm de grava Nieve 75 kg/cm²	4	50	65	80	95	110	125	145
	5	60	75	90	110	125	140	155
	6	70	85	100	115	130	145	160
Hormigón gaseoso d = 12,5 cm 2 capas de cartón 3 cm de grava Correas Nieve 75 kg/m²	5	55	70	85	100	120	135	150
	7,5	70	85	105	120	140	155	175
	10	80	100	120	140	155	175	190
Planchas onduladas de fibrocemento Aislamiento Correas Nieve 75 kg/m²	5	50	65	85	100	115	125	140
	7,5	65	80	95	110	125	140	150
	10	75	90	105	120	135	150	165

Correas trapeciales



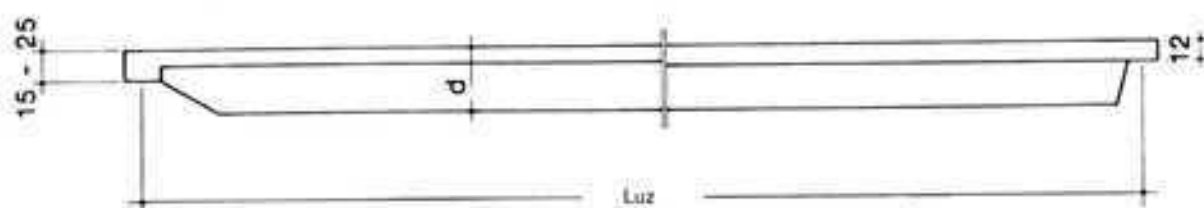
Dimensiones mínimas para las clases de resistencia al fuego		Altura de las correas d	
Luz	Cargas		
		Hormigón ligero Hormigón gaseoso	Plancha de ondulación trapezoidal Fibrocemento
7,50		38-40 cm	30-40 cm
10,00		40-50 cm	40-50 cm

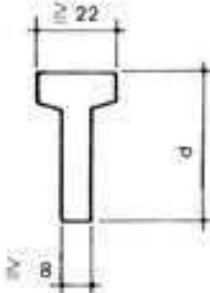
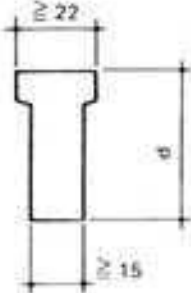


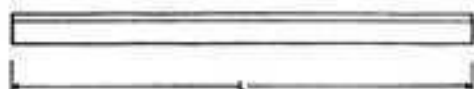
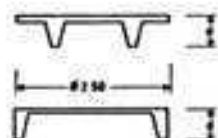
Correas para cubiertas

Carga	d (cm)	Luz de las correas L (m)									
		3	4	5	6	7	8	9	10	11	
8 cm de losa de hormigón ligero Aislamiento 2 capas de cartón Nieve 75 kg/m ²	25										
	30										
	35										
	45										
Planchas de fibrocemento Aislamiento Nieve 75 kg/m ²	25										
	30										
	35										
	45										

Correas en T

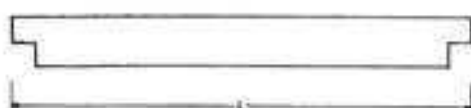


Dimensiones mínimas para las clases de resistencia al fuego		Altura de las correas d		
F30	F90	Luz	Cargas	
			Hormigón ligero Hormigón gaseoso	Plancha de ondulación trapezoidal Fibrocemento
		7,50	40-45 cm	40-45 cm
		10,00	43-62,5 cm	43-62,5 cm



Elementos para forjados de pisos y cubiertas

Sobrecarga p (kg/m ²) p (kp/m ²)	Luz (m)				
	2,5	5,0	7,5	10,0	12,5
350	$d = 10$ cm	$d = 18$ cm			
500	10	18			
750	10	18	$d = 35$ cm	$d = 50$ cm	
1000	12				
1500	15				$d = 60$ cm
	Losas macizas		Losas nervadas		



Jácnas

Sobrecarga p (kg/m ²) p (kp/m ²)	L = 5,0 m			L = 7,5 m			L = 10,0 m		
	Distancia a = (m)			Distancia a = (m)			Distancia a = (m)		
	5,0	7,5	10,0	5,0	7,5	10,0	5,0	7,5	10,0
350	$d = 45$ cm	55	65	55	65	75	65	75	75
500	50	60	70	60	70	80	70	80	90
750	55	65	75	65	75	85	75	85	95
1000	60	70	80	70	80	90	80	90	100
1500	70	80	90	80	90	100	90	100	110

Estructura sustentante para una nave (2-)0800
Láminas HP

(E) Consideraciones generales

Cubierta de una nave de gran superficie con el máximo aprovechamiento estático de la sección de hormigón y la posibilidad de una óptima iluminación del interior mediante una disposición en diente de sierra. Esta estructura está formada por pilas derechos, vigas que actúan como dinteles y elementos de forjado laminar. Es posible colocar estos elementos contiguos unos a otros, o bien dejarlos a una cierta distancia que se salva con elementos adecuados —hormigón ligero, lucernarios, cúpulas translúcidas, etc.

(F) Coordinación de dimensiones, medidas
Ordenación modular de dimensiones según las recomendaciones de la ISO (Organización Internacional para la Standardización) y el proyecto de la DIN 1800.

Módulo base M = 10 cm
Gran módulo 3M = 30 cm

Reticulado preferido para la estructura 3,00 m

Intereje preferido para los pilares 6,00 m
Hasta que exista una ordenación de dimensiones y módulos obligatoria pueden emplearse también las series de dimensiones de la DIN 4172 (sistema octamétrico).

El reticulado en este caso es de 5,00 m ó de 7,50 m. La altura propia de la cubierta es como mínimo de 1,25 m.

(K) Resistencia, condiciones estáticas, estabilidad

La superficie de las láminas en forma de hiperboloide de revolución es estáticamente óptima. Alcanza un estado de tensiones en el que el efecto sustentante se consigue casi exclusivamente mediante fuerzas normales y de cortadura en el plano de las superficies laminar. Luz máxima 24,00 m con piezas

de 2,70 m de ancho y 3,00 m de reticulado de colocación.

(T) Fabricación, transporte

Se fabrica en los talleres de la "Hochtief AG Fertigteilbau". Se transporta por camión.

(U) Técnica de unión

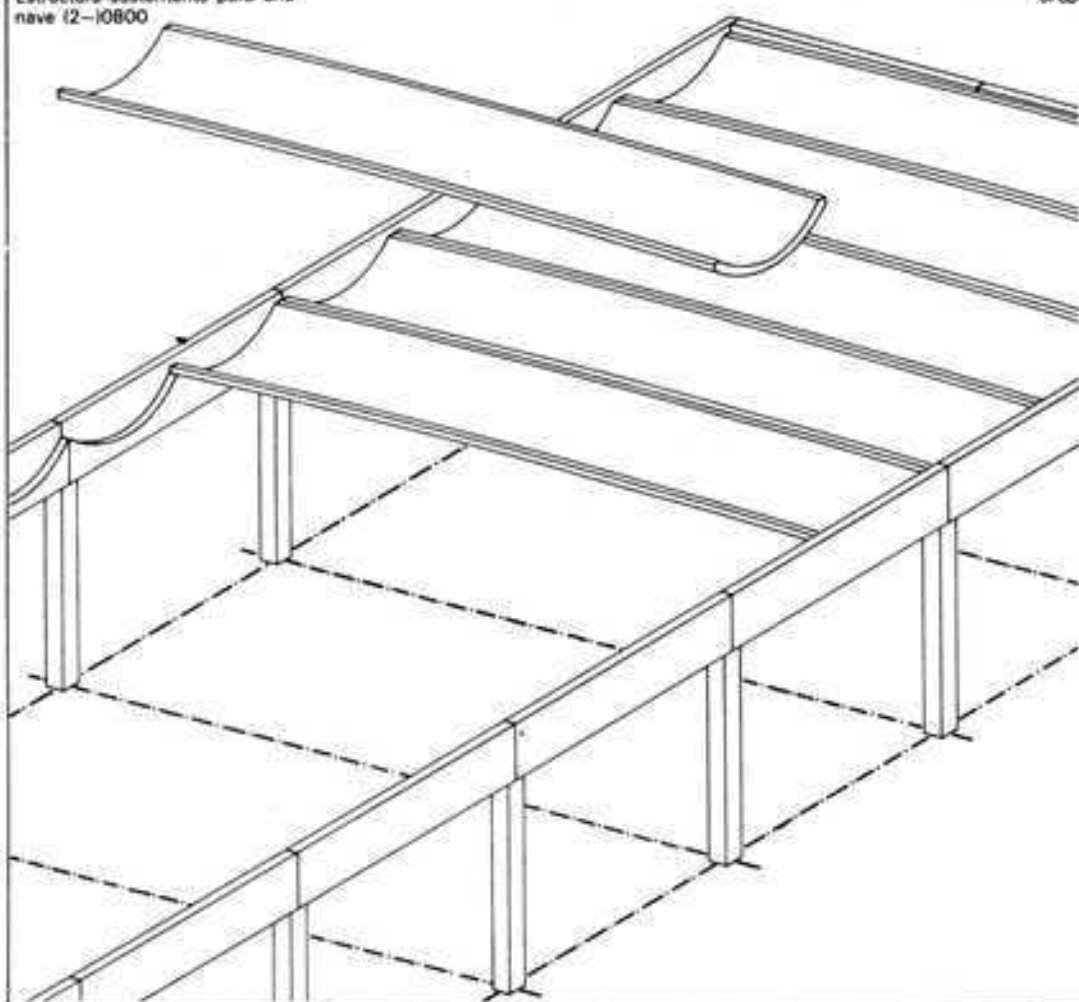
La colocación de las láminas HP sobre las vigas puede realizarse en forma de láminas apoyadas o de láminas suspendidas.

(Y) Costes, economía

Este sistema ofrece el máximo aprovechamiento del material en relación a un amplio campo de utilización.

Estructura sustentante para una nave (2-)0800

0783



(2-) 0501		
100472	Información	0661

Estructura sustentante para una nave (2-)0501

(E) Consideraciones generales

Estructura sustentante para una nave formada por piezas de gran tamaño de hormigón armado y hormigón pretensado. Elementos principales de la estructura primaria:

Pies derechos prefabricados (22.1)0501

Jácnas (23.1)0501

Elementos de forjado (23.2)0501

(F) Coordinación de dimensiones, medidas
Ordenación modular de dimensiones según la ISO (Organización Internacional para la Standardización) y el proyecto de la DIN 18000

Módulo base M = 10 cm

Gran módulo 3M = 30 cm

Reticulados preferidos para la estructura (distancia entre cerchas)

3,00 m, 3,60 m, 6,00 m, y 7,20 m

Hasta que exista una ordenación de dimensiones y módulos obligatoria pueden emplearse también las series de dimensiones de la DIN 4172 (sistema octamétrico).

El reticulado en este caso es de 5,00 m ó de 7,50 m.

(G) Forma, superficie, aspecto

El acabado de las superficies de los elementos de hormigón hace que no necesiten ningún tratamiento posterior: la humedad está reducida al mínimo.

(K) Resistencia, condiciones estáticas, estabilidad

Pies derechos con empotramiento resistente a la flexión, sobre los que descansan las vigas, con apoyo articulado. Los elementos de forjado son pretensados.

(R) Fuego

Todos los componentes de la estructura sustentante cumplen con las condiciones de protección contra el fuego de la DIN 4102 (F90).

(T) Fabricación, transporte

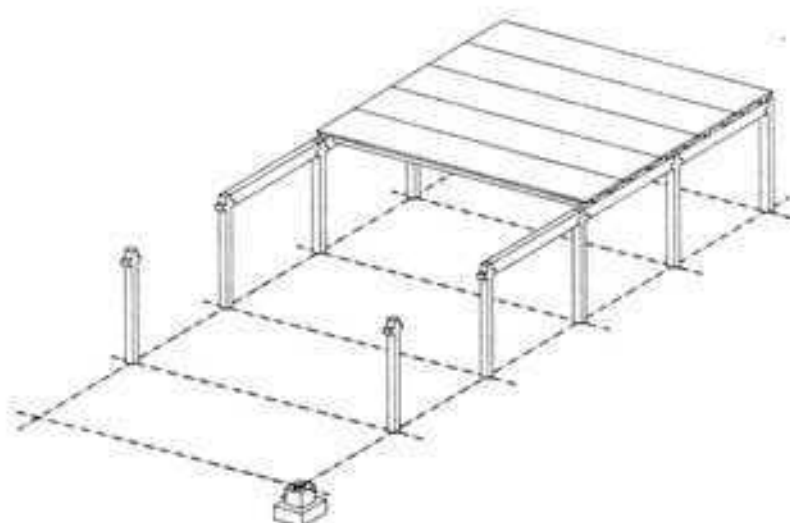
Se fabrica en los talleres de la "Hochtief AG Fertigteilbau". Debido al acertado emplazamiento de estos talleres y a que las formas y dimensiones de las piezas las hacen aptas para un cómodo transporte, con este sistema de construcción prefabricada Hochtief pueden construirse obras en toda la República Federal Alemana. Para la subestructura se emplea un sistema de construcción a base de hormigón in situ, adecuado a las circunstancias locales.

(U) Técnica de colocación

Durante el montaje pueden empezarse los trabajos de acabado, pues no se necesitan cimbras. El tiempo necesario para la construcción es notablemente más corto que en los sistemas convencionales e independiente del estado atmosférico.

Estructura sustentante para una nave (2-)0501

0591



Estructura sustentante para una nave (2-)0701

Proyecto: GHRS arquitectos e ingenieros
7980 Ravensburg, Uhlandstrasse 13

(E) Consideraciones generales

La estructura primaria está formada por pies derechos y cerchas de hormigón pretensado. Pueden construirse edificios de una o varias naves, edificios con una nave central y naves laterales más bajas, así como edificios sobre un sótano. La superficie de la cubierta está formada por piezas de gran tamaño (placas huecas de hormigón pretensado, placas nervadas, elementos de hormigón ligero o elementos de plancha ondulada, a elección).

(T) Fabricación, transporte

Las cerchas se fabrican por la "Hochtief AG Fertigteilbau" en largos lechos de pretensado; se prefieren las cerchas de altura constante, transporte por camión (de plataforma baja). Para la subestructura se emplea un sistema de construcción a base de hormigón in situ, adecuado a las circunstancias locales.

(F) Coordinación de dimensiones, medidas

Ordenación modular de dimensiones según la ISO (Organización Internacional para la Standardización) y el proyecto de la DIN 18000

Módulo base $M = 10$ cm

Gran módulo $3M = 30$ cm

Reticulados preferidos para la estructura

(distancia entre cerchas) 3,00 m,

3,60 m, 6,00 m y 7,20 m.

Reticulado para los acabados 6 M ó 12 M.

(K) Resistencia, condiciones estáticas,

estabilidad

Pies derechos con empotramiento

resistente a la flexión, sobre los que

descansan, con apoyo articulado,

las cerchas de hormigón pretensado.

(R) Fuego

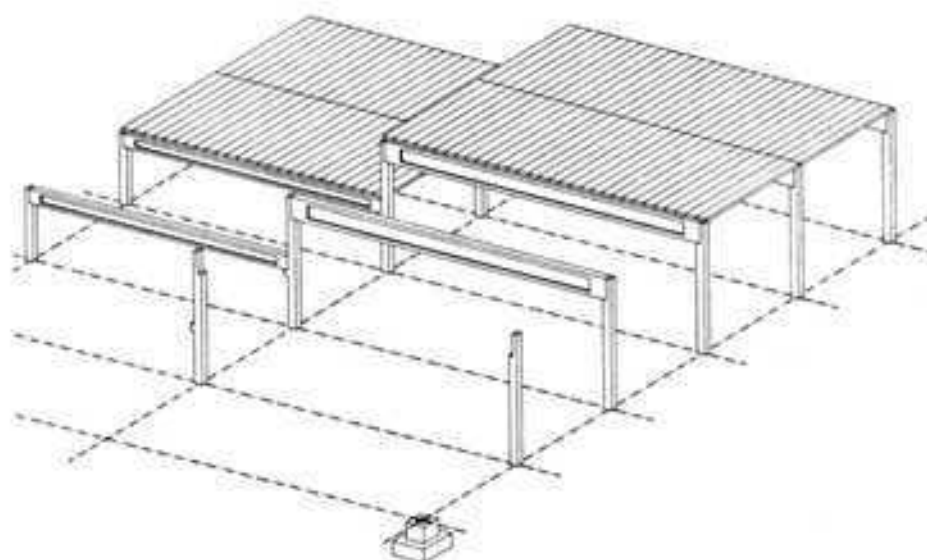
Protección contra el fuego de acuerdo

con las condiciones de la norma

DIN 4102.

Estructura sustentante para una nave (2-)0701

0601



**Estructura sustentante para una nave
(2-10101)**

(E) Consideraciones generales

La estructura primaria está formada por pies derechos y elementos de forjado y cubierta de gran tamaño, pretensados o sin pretensar, que se colocan directamente sobre unas cartelas que llevan los pies derechos. En los casos normales no se necesitan jáchenas. Los elementos principales de la estructura sustentante son:
Pies derechos (22.1)0100
Elementos de forjado (23.1)0100
Elementos de cubierta (27.2)0100

(F) Coordinación de dimensiones, medidas:

Ordenación nodular de dimensiones según la ISO (Organización Internacional para la Standardización) y el proyecto de la DIN 18000.
Módulo base M = 10 cm
Gran módulo 3M = 30 cm
Reticulados preferidos para la estructura (distancia entre ejes de los pilares)
2,40 m, 3,00 m y 3,60 m.
Reticulados para los acabados 3 M, 6 M ó 12 M.

(K) Resistencia, condiciones estáticas, estabilidad

Pies derechos con empotramiento resistente a la flexión; elementos de forjado unidos formando grandes losas.

(R) Fuego

Protección contra el fuego de acuerdo con las condiciones de la norma DIN 4102.

(T) Fabricación, transporte

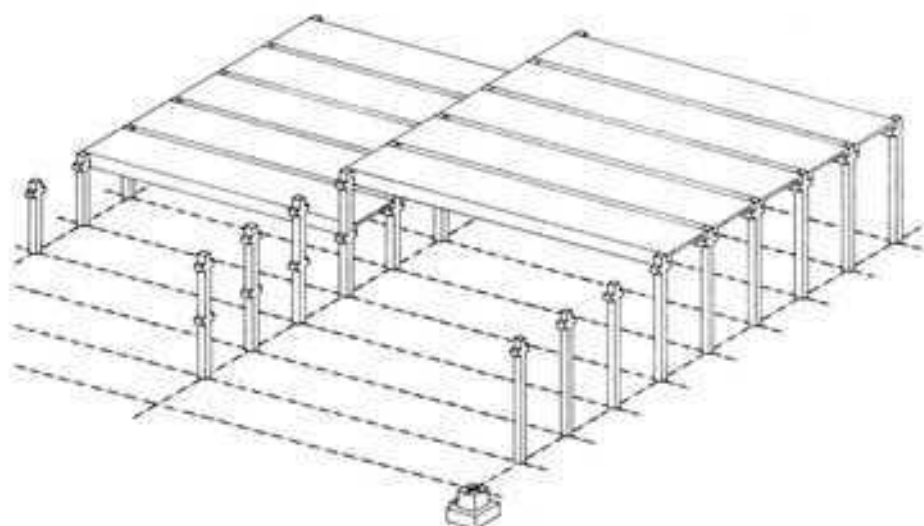
Se fabrica en los talleres de la "Hochtief AG Fertigteilebau". Debido al acertado emplazamiento de estos talleres y a que las formas y dimensiones de las piezas las hacen aptas para el transporte, con este sistema de construcción prefabricada Hochtief pueden construirse obras en toda la República Federal Alemana.

(U) Técnica de colocación

Entre los elementos de forjado queda un espacio de ancho igual al de los pilares que se cierra con un relleno de hormigón in situ en franjas de 300 mm de ancho. En estas franjas pueden dejarse huecos para el pase de las canalizaciones verticales. Orden del montaje: colocación de los pies derechos; colocación de los elementos de forjado y cubierta y vertido del hormigón en las franjas entre dichos elementos. Los elementos de la fachada suspendida pueden montarse a la vez que la estructura o posteriormente.

**Estructura sustentante para una nave
(2-10101)**

0600



Pies derechos (22.1)0101
Estructura sustentante para una nave

(E) Consideraciones generales

Elemento vertical de la estructura sustentante (2—)0101, con cartelas para el apoyo de los elementos de forjado (23.2)0101. Se emplea en el sistema de construcciones prefabricadas (2—)0101.

(U) Técnica de colocación

La colocación de estas piezas se hará de acuerdo con el tipo de cimentaciones (16), los elementos de pared de fachada (21.6)0101, los elementos de forjado (23.2)0101, los elementos de cubierta (27.2)0101.

(F) Coordinación de dimensiones, medidas:

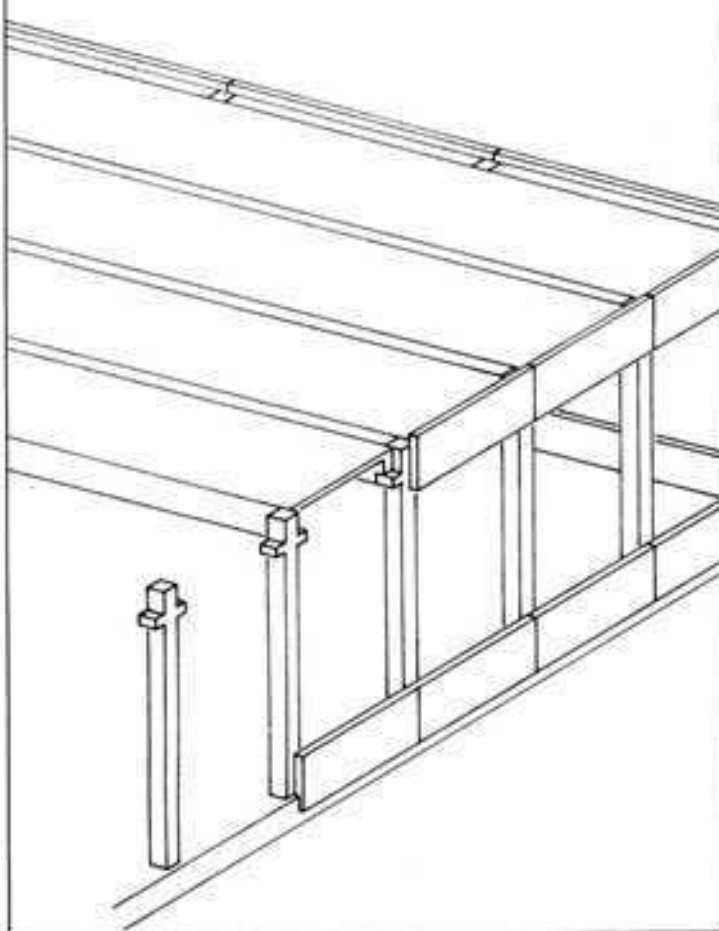
Disposición modular en planta de acuerdo con el reticulado elegido para la estructura sustentante. Secciones de los pies derechos para una distancia entre apoyos de 3,00 m, en tabla 0685.

(G) Forma, superficie, aspecto

Superficies lisas de hormigón visto aptas para ser pintadas, con cantos achaflanados.

Pies derechos (22.1)0101
Disposición en la estructura sustentante (2—)0101

0689

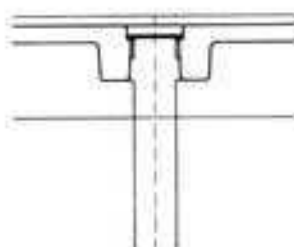


Determinación de la sección de los pies derechos para una distancia entre apoyos de 3,00 m

Luz	Altura de la nave			
	6,00	8,00	10,00	12,00
< 12,00	30/30	30/30	30/40	30/45
< 15,00	30/30	30/30	30/40	30/50
< 18,00	30/30	30/40	30/45	30/50
< 21,00	30/40	30/45	30/50	30/60

Unión de pie derecho y elemento de forjado

0688



Cerchas de cubierta (27,1)0701

(E) Consideraciones generales

Elemento sustentante horizontal de hormigón pretensado, de la estructura para una nave (2-0701). Se apoya, con articulación, en los pies derechos (22,1)0701.

(T) Fabricación, transporte

Se fabrica en los talleres de la "Hochtief AG Fertigteilbau", en largo lecho de pretensado. Transporte por carretera. Colocación en obra con auto-grúa.

(F) Coordinación de dimensiones, medidas

La altura de las cerchas h se determina (para el caso de cubierta con placas de hormigón gaseoso) por la tabla 0686.

(G) Forma, superficie, aspecto

Sección de forma TT: superficie de hormigón visto (encofrado metálico).

(K) Resistencia, condiciones estáticas, estabilidad

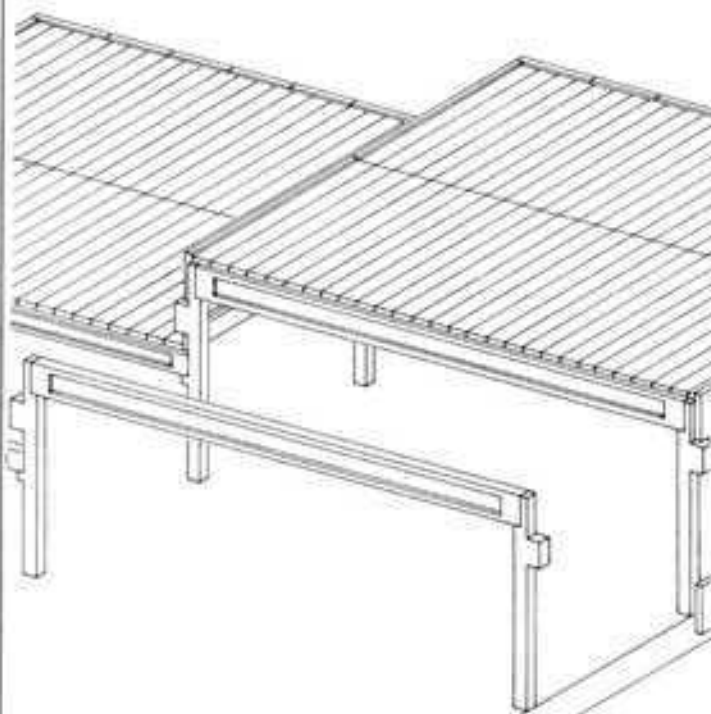
Cerchas de alma llena con apoyo simple sobre pies derechos empotrados.

(R) Fuego

Clase de resistencia al fuego F90 (resistente al fuego).

Cerchas de cubierta (27,1)0701
Disposición en la estructura sustentante (2-0701)

0695



0686

Determinación de la altura de las cerchas h para el caso de emplearse losas de cubierta de hormigón gaseoso

Luz	Distancia entre cerchas						
	3,00	3,60	5,00	6,00	7,20	7,50	
10,00	0,50	0,50	0,70	0,70	0,80	0,80	
12,00	0,50	0,70	0,70	0,80	0,80	0,80	
15,00	0,80	0,80	0,90	0,90	1,00	1,10	
18,00	1,00	1,10	1,10	1,20	1,20	1,20	
21,00	1,10	1,20	1,20	1,30	1,30	1,40	
24,00	1,40	1,50	1,60	1,60	1,70	1,70	
25,00	1,50	1,50	1,60	1,70	1,70	1,70	

(22.1) 0501		
240572	Información	0682

Pies derechos (22.1)0501

(E) Consideraciones generales
Elemento prefabricado vertical
sustentante para grandes naves.

Se emplea en el sistema de
construcciones prefabricadas (2-10501)
con carteras para el apoyo de las áncoras
que sostienen los elementos del forjado.

(F) Coordinación de dimensiones, medidas
Se colocan en los puntos de intersección
de las líneas del reticulado de la
estructura sustentante. La sección de los
pies derechos, para una distancia entre
apoyos de 6,00 m, se da en la tabla 0684.

(G) Forma, superficie, aspecto
Superficies lisas de hormigón visto aptas
para ser pintadas, con cantos
achaflanados.

(K) Resistencia, condiciones estáticas,
estabilidad

Si es posible, estos pies derechos se
empotran en las cimentaciones, con
lo cual el edificio resiste las fuerzas
horizontales.

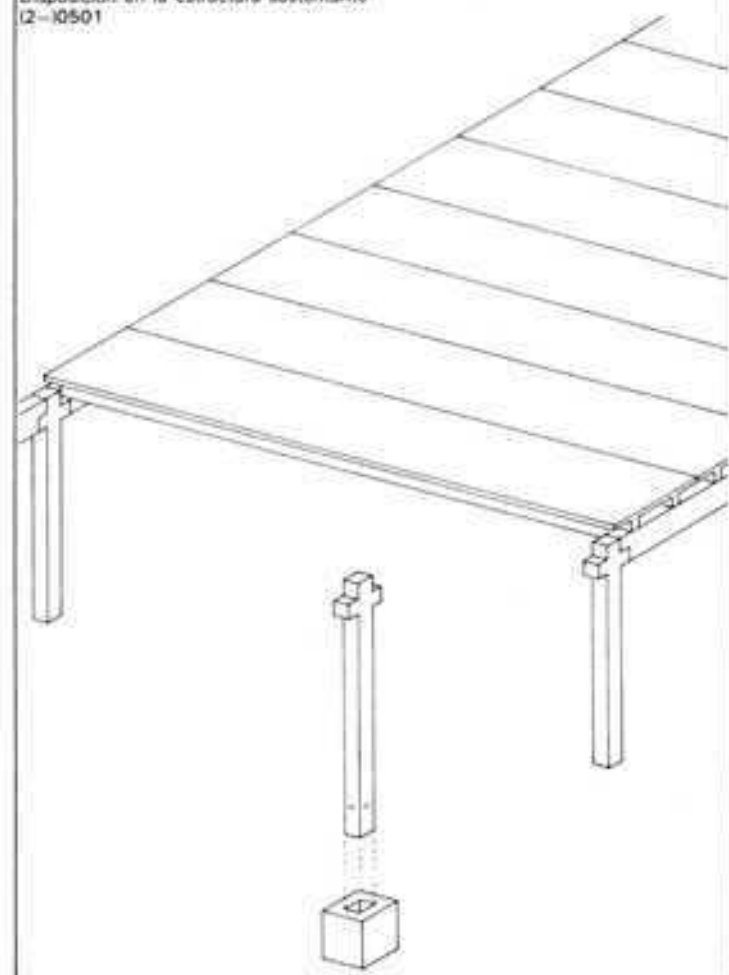
(R) Fuego

Clase de resistencia al fuego F90
(resistente al fuego).

(T) Fabricación, transporte

Se fabrica en los talleres de la "Hochtief
AG Fertigteilbau", empleando hormigones
Bn 450 ó Bn 550.

Pies derechos (22.1)0501
Disposición en la estructura sustentante
(2-10501)



0753

0684

Determinación de la sección de los pies
derechos para una distancia entre apoyos
de 6,00 m

Luz	Altura de la nave			
	6,00	8,00	10,00	12,00
< 12,00	30/30	35/35	40/40	40/40
< 15,00	35/35	35/35	40/40	40/50
< 18,00	35/35	35/35	40/40	40/50
< 21,00	35/35	40/40	40/40	40/50
< 24,00	40/40	40/40	40/50	40/50

Pies derechos (22.1)0701

(E) Consideraciones generales
Elemento prefabricado vertical sustentante para grandes naves.
Se emplea en el sistema de construcciones prefabricadas (2--0701 para el apoyo de las cerchas (27.1)0701.

(F) Coordinación de dimensiones, medidas
Se colocan en los puntos de intersección de las líneas del reticulado de la estructura sustentante. La sección de los pies derechos, para una distancia entre apoyos de 6 m, se da en la tabla 0684.

(G) Forma, superficie, aspecto
Superficies lisas de hormigón visto aptas para ser pintadas, con cantos achaflanados.

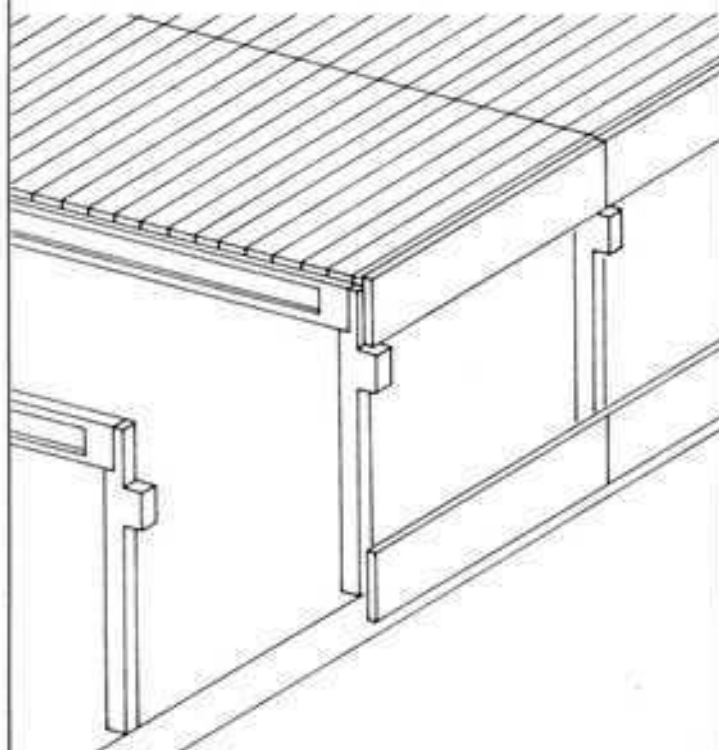
(K) Resistencia, condiciones estáticas, estabilidad
Si es posible, estos pies derechos se empotran en las cimentaciones, con lo cual el edificio resiste las fuerzas horizontales.

(R) Fuego
Clase de resistencia al fuego F90 (resistente al fuego).

(T) Fabricación, transporte
Se fabrica en los talleres de la "Hochtief AG Fertigteilbau", empleando hormigones Bn 450 ó Bn 550.

Pies derechos (22.1)0701
Disposición en la estructura sustentante (2--0701

0688



0684

Determinación de la sección de los pies derechos para una distancia entre apoyos de 6,00 m

Luz L	Altura de la nave			
	6,00	8,00	10,00	12,00
< 12,00	30/30	35/35	40/40	40/40
< 15,00	35/35	35/35	40/40	40/50
< 18,00	35/35	35/35	40/40	40/50
< 21,00	35/35	40/40	40/40	40/50
< 24,00	40/40	40/40	40/50	40/50
< 27,00	40/40	40/40	40/50	40/50

Elemento de forjado de cubierta (27.2)0501

(E) Consideraciones generales

Elemento prefabricado de hormigón armado, sin pretensar o pretensado, formado por dos vigas en T unidas, que constituyen un elemento de sección TT. Se emplea para los forjados de cubierta en las estructuras sustentantes del tipo (2--10501).

(F) Coordinación de dimensiones, medidas

La coordinación modular viene determinada por el sistema de apoyos (22.1)0501.

Longitudes modulares $n \times 30$ cm;

máxima sin pretensar, 15,00 m;

pretensada, 21,00 m.

Distancias entre apoyos preferidas:

4,80 m, 6,00 m y 7,20 m.

Alturas: 0,50 m, 0,60 m y 0,70 m.

Grueso del ala 0,10 m.

(K) Resistencia, condiciones estáticas, estabilidad

Carga de nieve, 75 kg/m², peso propio:

305-540 kg/m²; material de cubrición

y cielo raso, 150 kg/m².

(R) Fuego

Clase de resistencia al fuego F 90 (resistente al fuego).

(T) Fabricación, transporte

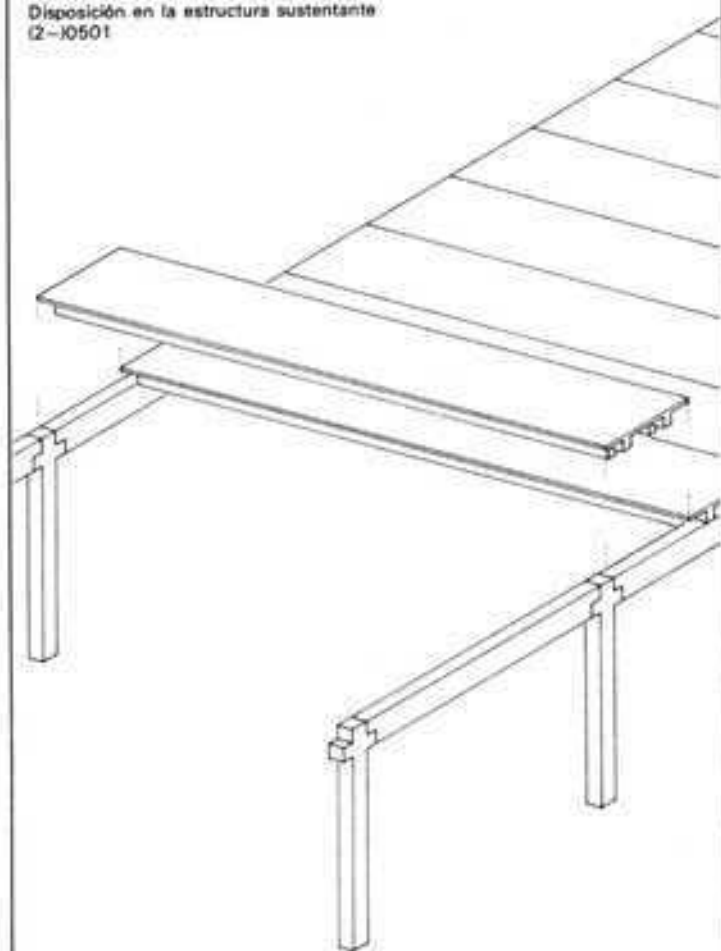
Se fabrica en encofrado sin fin, en talleres fijos.

(U) Técnica de colocación

Estos elementos de forjado se colocan sobre jácenas (23.1) y se unen entre sí mediante lazos de alambre, anclajes anulares y relleno de hormigón hasta constituir una sola losa. Pueden tener aberturas para cúpulas-lucernario (ancho máximo, 0,90 m) o para el paso de canalizaciones. También pueden practicarse posteriormente perforaciones de un diámetro hasta 200 mm.

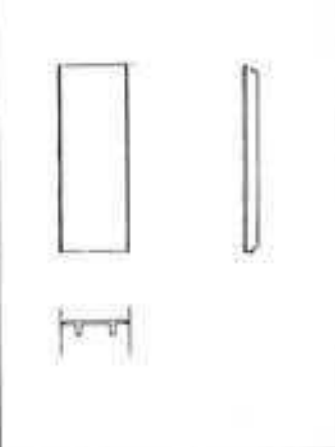
Elemento de forjado de cubierta
(27.2)0501
Disposición en la estructura sustentante
(2--10501)

0752



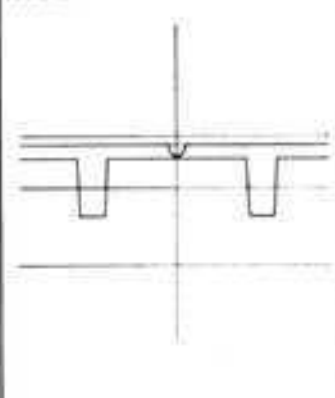
Vista desde encima
Secciones

0692



0693

Unión de los elementos del forjado de cubierta



Elementos de cubierta de hormigón gaseoso (27.2)0711

(E) Consideraciones generales:

Losas para cubierta de hormigón gaseoso armado, según la DIN 4223, para la construcción de superficies de cubierta planas o ligeramente inclinadas en combinación con la estructura sustentante (2-10701).

(F) Coordinación de dimensiones, medidas

Longitud	Grueso	Peso	Kcal/m ² h
250	7,5	54	1,45
320	10,0	72	1,17
425	12,5	90	0,98
500	15,0	108	0,84
550	17,5	126	0,74
600	20,0	144	0,66

(G) Forma, superficie, aspecto

La cara inferior de estas losas, en las condiciones normales de temperatura, especialmente en edificios industriales, puede quedar sin revestimientos ni revoques.

Encima, en los casos de construcción sencilla, se pone una capa de tiras de lana de vidrio perforada y dos capas de lana de vidrio.

(U) Calor, frío

Coefficiente de transmisión térmica, aproximadamente 0,20 Kcal/m²h °C. Las losas resisten la temperatura y las heladas.

(K) Resistencia, condiciones estáticas, estabilidad

Las losas están unidas entre sí y con la estructura sustentante en forma suficientemente resistente a extensión, compresión y cortadura. La superficie de la cubierta puede ser tenida en cuenta como elemento de rigidización en lugar de entramados de arriostramiento contra las fuerzas del viento y el pandeo, siempre que se cumplan las condiciones que figuran en los documentos de autorización.

(R) Fuego

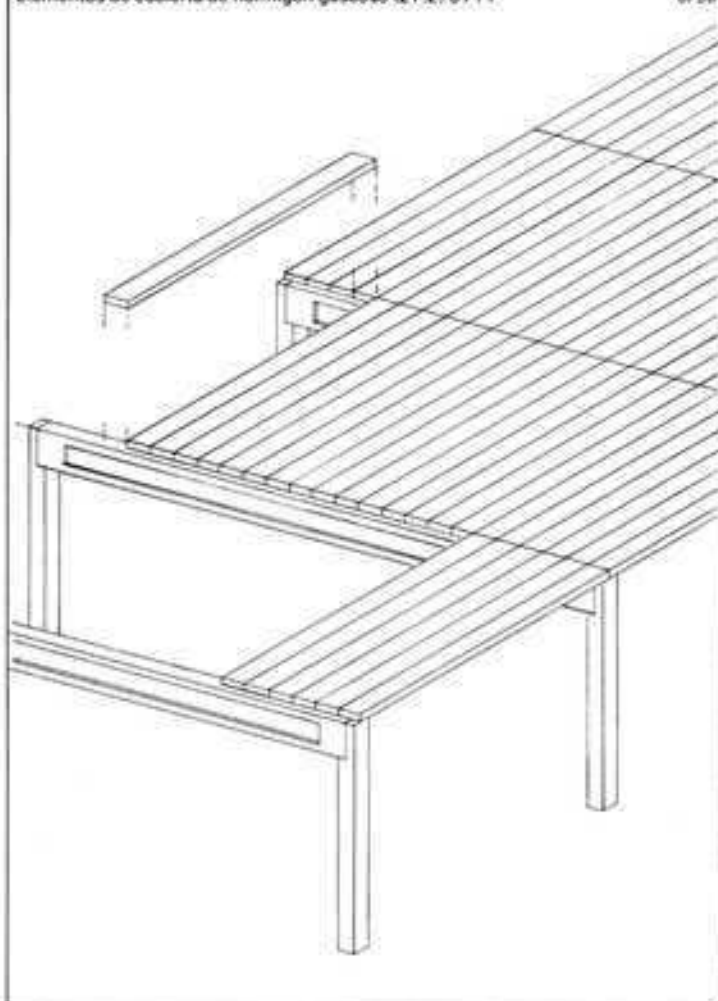
Las losas de 10 cm de grueso con un recubrimiento de hormigón > 3 cm puede considerarse según la DIN 4102 como resistentes al fuego.

(U) Técnica de colocación

Las juntas entre las losas llevan ranura en un lado o tienen forma de cuña. Se anclan a los elementos de hormigón armado mediante estribos de retención empotrados en el hormigón.

Elementos de cubierta de hormigón gaseoso (27.2)0711

0750



(27.1) 0501		
250572	Información	0780

Jácnas de sustentación de forjados
(27.1)0501

(E) Consideraciones generales

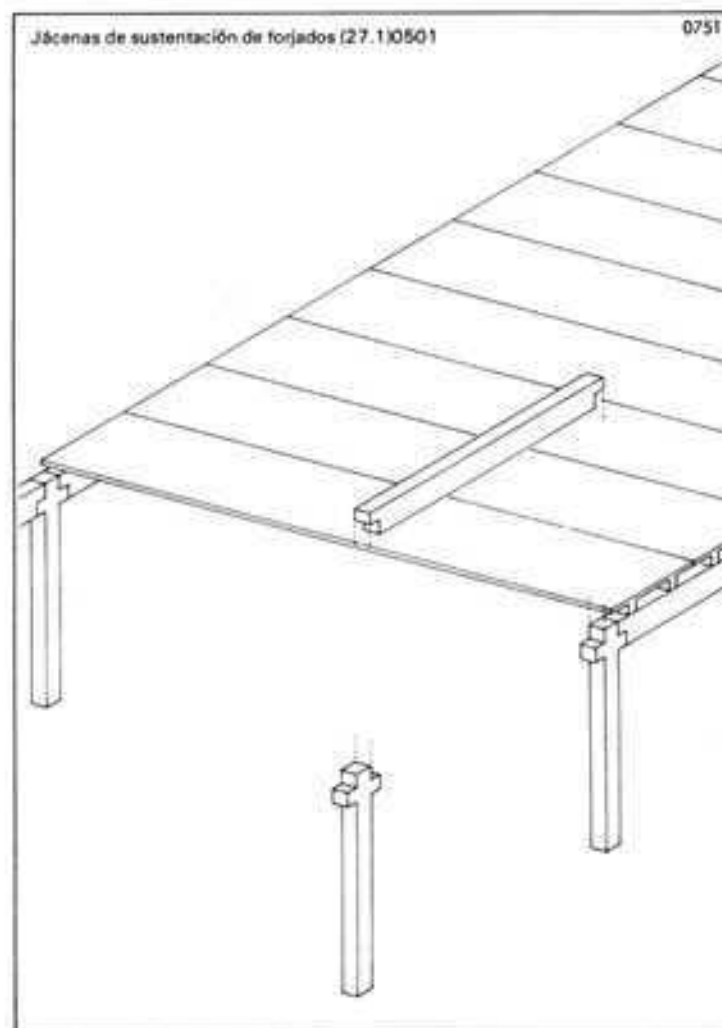
Elemento sustentante horizontal de la estructura (2-10501, para apoyo de los elementos de forjado (23.2)0501. Estas jácnas se colocan generalmente en dirección longitudinal y los elementos de forjado en dirección transversal. Con estos elementos prefabricados se construye una estructura de hormigón armado propia para naves industriales, deportivas, de exposición, etc.

(F) Coordinación de dimensiones, medidas
Estas jácnas van entre los pilares y su longitud por lo tanto debe ser inferior a la dimensión de la trama, y depende de la sección de los pilares. La anchura del cordón de compresión es igual a la del pie derecho correspondiente (22.1)0501. La altura de la jácna depende de la longitud entre apoyos y del ancho de la nave que se desea cubrir.

(G) Forma, superficie, aspecto
Superficies de hormigón visto (encofrado metálico).

(K) Resistencia, condiciones estáticas, estabilidad
Vigas de un solo tramo.

(T) Fabricación, transporte
Se fabrica en talleres fijos.



Elemento de forjado de cubierta (27.2)0101

(E) Consideraciones generales

Elemento prefabricado de hormigón armado, sin pretensado o pretensado, en forma de artesa; se emplea para los forjados de cubierta en las estructuras sustentantes del tipo (2-10101).

(F) Coordinación de dimensiones, medidas

La coordinación modular está determinada por el sistema de los apoyos (22.110101). Longitudes modulares $n \times 30$ cm: Máxima con armadura sin pretensar, 15,00 m; con armadura pretensada, 21,00 m. Distancia entre pies derechos: 2,10 m, 2,40 m, 2,70 m, 3,00 m, 3,30 m y 3,60 m. Alturas: 0,40 m, 0,50 m y 0,60 m. Grueso del ala 0,09 m.

(K) Resistencia, condiciones estáticas, estabilidad

Carga de nieve, 75 Kg/m²; peso propio, 305-540 Kg/m²; material de cubierta y cielo raso, 150 Kg/m².

(T) Fabricación, transporte

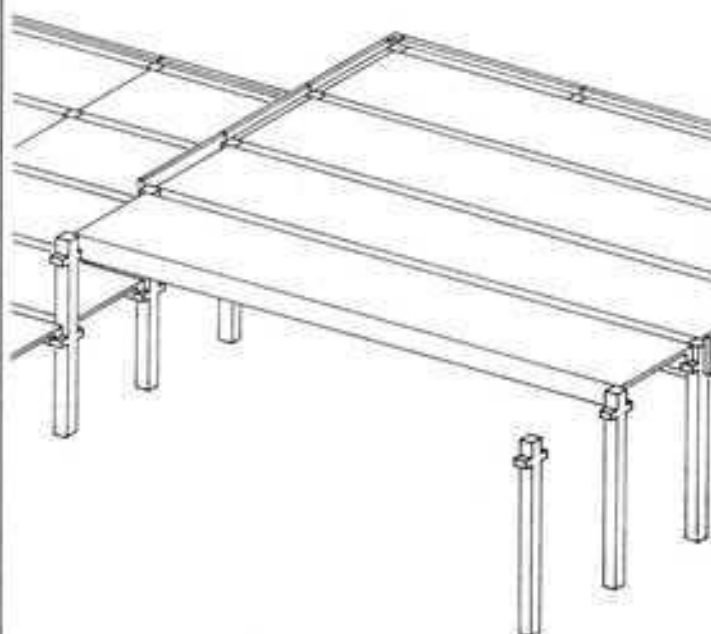
Se fabrican en los talleres de la "Hochtief AG Fertigteilbau".

(U) Técnica de colocación

Estos elementos de forjado de cubierta se colocan sobre unas cartelas que llevan los pies derechos (22.110101) y se unen entre sí mediante lazos de alambre, anclajes anulares y relleno de hormigón hasta constituir una sola losa. Pueden tener aberturas para el paso de canalizaciones y para la colocación de cúpulas-lucernario. También pueden practicarse posteriormente perforaciones de un diámetro de hasta 200 mm.

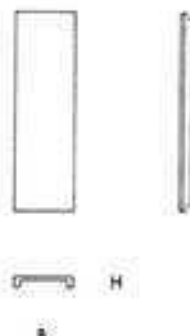
Elemento de forjado de cubierta (27.2)0101
Disposición en la estructura sustentante (2-10101)

0697



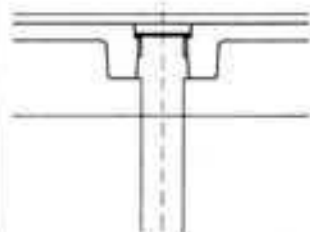
Vista desde encima
Secciones

0692



Unión entre los pies derechos y los
elementos de forjado de cubierta

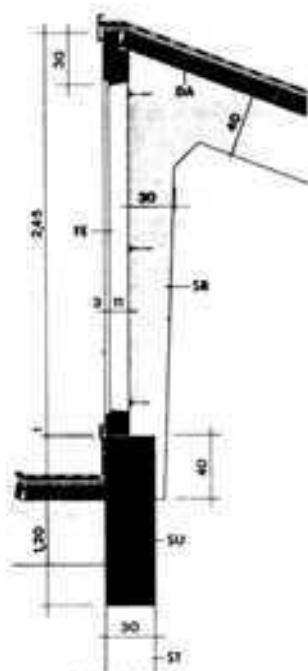
0696



Cubiertas en diente de sierra

Las estructuras para las cubiertas en diente de sierra (shed) se basan en un reticulado de los apoyos, de dimensiones en planta de 7,50 x 15,00 (12,50 m, 10,00 m). La estructura está constituida por los pies derechos, sobre los que cargan las vigas maestras.

Las estructuras en shed con un interje de 2,50 m van de viga maestra a viga maestra. Las planchas nervadas de hormigón de pómez o las losas de cubierta de hormigón gaseoso descansan sobre los shed.

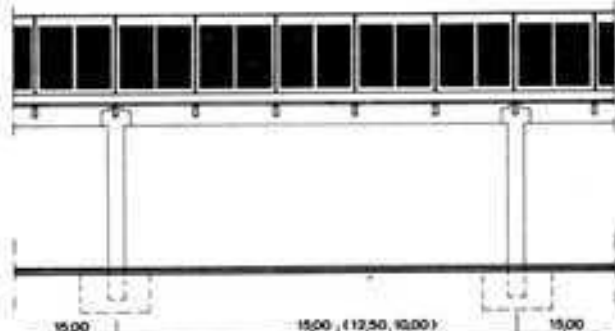


Sección de detalle por la viga maestra, la armadura en shed, la ventana y las losas de cubierta

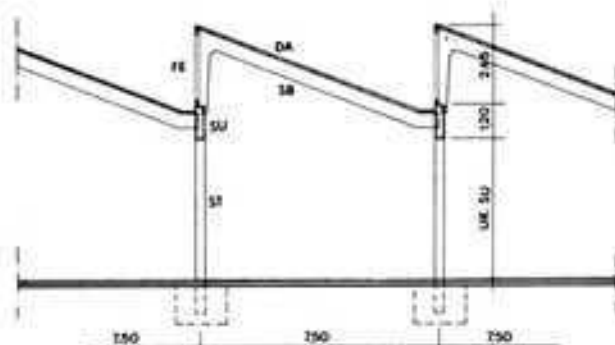
Estas losas van unidas a los brazos superiores de las citadas estructuras con uniones capaces de transmitir esfuerzos y llevan armaduras continuas en las juntas longitudinales. Al lado de los montantes de las estructuras en shed se colocan elementos de hormigón armado en forma de marcos, para poner los cristales. En los extremos de los sheds se ponen unas piezas de forma adecuada. Debajo de ellas se pueden poner también en este caso elementos de fachada normales o muros cortina. En los marcos de las ventanas pueden ponerse, si es preciso, hojas de ventilación.

Estructuras plegadas y laminares

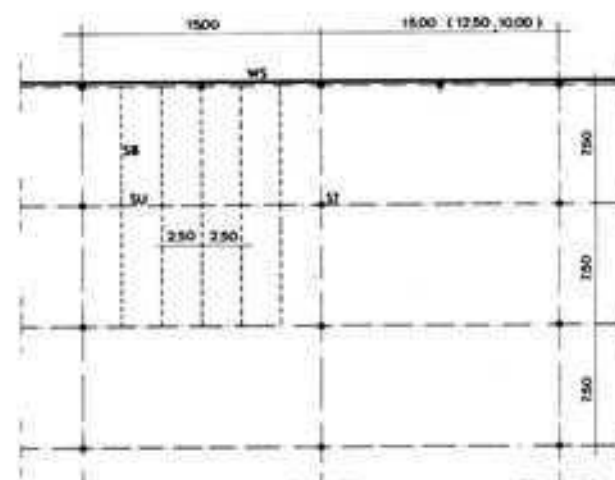
El hormigón armado, como material muy homogéneo e "isótropo", esto es, que tiene igual resistencia y elasticidad en todas direcciones, es un material ideal para estructuras de cerramiento que salven grandes dimensiones. Sus posibles formas aparentes, como estructuras laminares o plegadas, son teóricamente ilimitadas. Es decisivo solamente que la forma y las condiciones de apoyo se adapten una y otras tan convenientemente que en las superficies se presenten a ser posible sólo fuerzas normales y de cortadura, y a lo sumo tangencialmente tensiones de tracción y de compresión. Esto permite que las secciones tengan poco grueso, hasta tal punto que su grueso mínimo no viene impuesto por la estática sino por el necesario recubrimiento de hormigón. Como las estructuras laminares y plegadas no son capaces, sin más, de resistir las cargas puntuales y las variables, son apropiadas



Sección con vista del lucernario



Sección longitudinal de una nave con cubierta en diente de sierra



Planta de una nave con cubierta en diente de sierra

principalmente para estructuras de cubierta o de delimitación de naves, sin otras funciones sustentantes.

Además de sus ventajas estáticas y las facilidades que hoy se tienen para calcularlas, lo más importante para la economía de estas estructuras es el proceso de ejecución y el equipamiento del lugar de la obra.

Para reducir el elevado gasto en materiales y mano de obra que requieren las cimbras y encofrados, se han desarrollado ya una serie de posibilidades de prefabricación y montaje de elementos, de las cuales daremos aquí algunos ejemplos. Pero ante todo expondremos el capítulo de la DIN 1045 referente al dimensionamiento y ejecución de estructuras laminares y plegadas.

24. Estructuras laminares y plegadas

24.1. Conceptos fundamentales y bases de cálculo

Las láminas son elementos sustentantes bidimensionales de poco espesor, de simple o doble curvatura, con o sin elementos de rigidización en el contorno. Las estructuras plegadas son estructuras tridimensionales compuestas por losas planas unidas con uniones capaces de transmitir esfuerzos. Para el cálculo de las magnitudes de deformación y de los esfuerzos que se transmiten en las secciones, hay que fundarse en el comportamiento elástico.

24.2. Simplificaciones en las hipótesis de carga

24.2.1. Carga de nieve

Sobre las cubiertas se podrá considerar en general para el cálculo que la carga total con nieve según DIN 1055, hoja 5, se reparte igual que las cargas permanentes. Cuando sea necesario se tendrá en cuenta además la formación de bolsas de nieve y la carga de nieve en una sola vertiente.

24.2.2. Fuerza del viento

En las estructuras laminares hay que estudiar la distribución de la fuerza del viento mediante ensayos sobre modelos en el canal aerodinámico, cuando no se tenga suficiente experiencia sobre el caso. Dado que la fuerza del viento actúa como si aumentase el peso propio, puede considerarse que su efecto se reparte proporcionalmente a las cargas permanentes.

24.3. Estudio del pandeo

Las estructuras laminares y plegadas, cuando no ofrecen una evidente seguridad contra el alabeo y abombamiento deben ser estudiadas desde estos puntos de vista, teniendo en cuenta las deformaciones elásticas a consecuencia de las cargas. Hay que considerar las deformaciones a causa de la retracción y la fluencia, la pérdida de rigidez al pasar del estado I al estado II, y las inexactitudes de ejecución, especialmente las diferencias entre la curvatura proyectada y la real y entre las posiciones proyectadas y reales de las armaduras. En las láminas con una sola capa de armaduras colocada en el centro es particularmente grande la disminución de rigidez al pasar del estado I al estado II.

La seguridad contra el alabeo y abombamiento no debe ser nunca menor que 5. Si no se está suficientemente seguro de que los resultados de la consideración aproximada sobre las influencias antes citadas, obtenidos teóricamente o mediante ensayos sobre modelos, puede transponerse desde los materiales isotrópicos al anisótropo hormigón armado, o si existe una gran inseguridad respecto a las posibles formas de alabeo y abombamiento, hay que tomar un coeficiente de seguridad adecuadamente mayor que 5.

24.4. Dimensionamiento

Para las tensiones de compresión del hormigón y las de tracción del acero vale lo dicho en el apartado 23.2, donde en casos dados puede ser oportuna una amplia limitación de las tensiones del acero.

El dimensionamiento de las estructuras laminares y plegadas sometidas a flexión (por ejemplo en la zona de los momentos de perturbación del contorno) se hará según lo dicho en el apartado 17.2.

Deben determinarse las tensiones de tracción del hormigón que se obtienen por el cálculo para las cargas útiles en la hipótesis de una total colaboración del hormigón en la zona sometida a extensión, a partir de las fuerzas longitudinales y rasantes en la superficie media de las láminas y plegaduras.

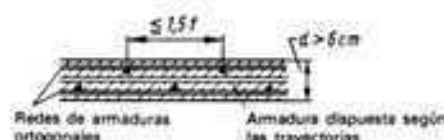
Las tensiones principales de extensión que actúan en la superficie central de las láminas deben ser razonablemente limitadas, a fin de mantener suficientemente bajas las redistribuciones de tensión y las deformaciones en el paso del estado I al estado II; estas tensiones deben ser absorbidas por armaduras. Estas deben disponerse —especialmente cuando las tensiones de tracción son grandes— a ser posible en la dirección de las fuerzas principales longitudinales (armaduras según las trayectorias). Sin embargo, la armadura todavía puede considerarse y calcularse como armadura según las trayectorias cuando su dirección se aparta en un ángulo $\alpha \leq 10^\circ$ de la dirección de las fuerzas principales longitudinales. Cuando es el ángulo $\alpha > 10^\circ$ hay que reforzar convenientemente la armadura; las desviaciones $\alpha > 25^\circ$ deben evitarse si es posible, a no ser que las tensiones del hormigón sean menores que 0,35 o que en las dos direcciones principales se presenten tensiones de tracción casi iguales.

24.5. Organización constructiva

Hay que cuidar especialmente de que el encofrado tenga la forma y colocación previstas. En láminas de más de 6 cm de grueso la armadura debe distribuirse uniformemente, teniendo en cuenta la tabla 30, en una red de armaduras de cada cara de la lámina. Una armadura adicional según las trayectorias dispuesta conforme el artículo 24.4 debe disponerse lo más simétricamente posible respecto a la superficie media de la lámina. Cuando el grueso de la lámina es $d \leq 6$ cm, toda la armadura puede quedar agrupada en una sola red dispuesta en el centro.

Cuando se pone una red de armaduras en cada cara de la lámina, para las barras interiores las distancias máximas consignadas en la tabla 30, filas 1 y 2, pueden aumentarse en un 50%.

En el caso de barras de hierro no corrugado, puede prescindirse de los ganchos en los extremos cuando se emplean barras de un máximo de 8 mm de diámetro y las longitudes de anclaje y de solapado de las barras cumplan las condiciones indicadas en los artículos 18.3.3 y 18.4.1.2.

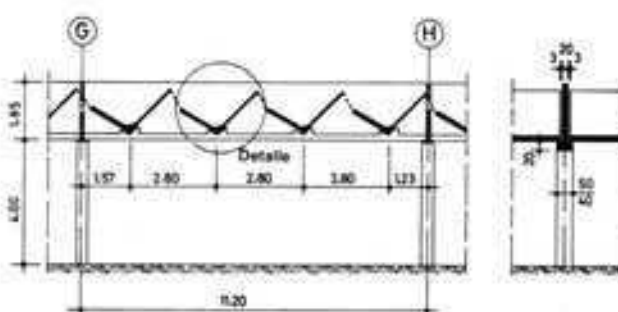
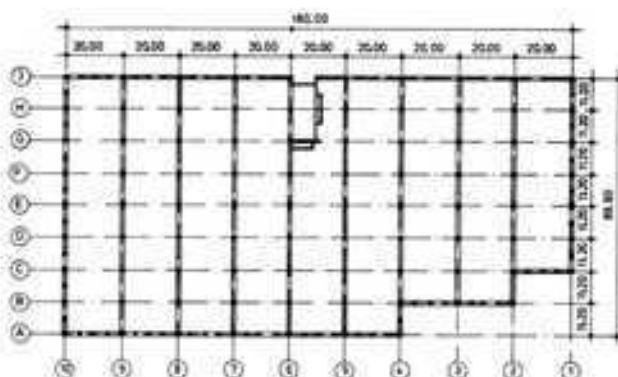


Distancias entre las barras de las armaduras

Tabla 30: Armaduras mínimas para estructuras laminares y plegadas

	1	2	3	4
	Grueso del hormigón cm	Clase de armadura	Diámetro en mm mín.	Distancia t entre las barras exteriores en cm máx.
			min.	max.
1	Estructuras laminares y plegadas $d \geq 6$	en general	5	20
2		con mallas	4	20
3	Estructuras laminares y plegadas $d \geq 6$	en general	5	15 ¹⁾
4		con mallas	4	15 ¹⁾

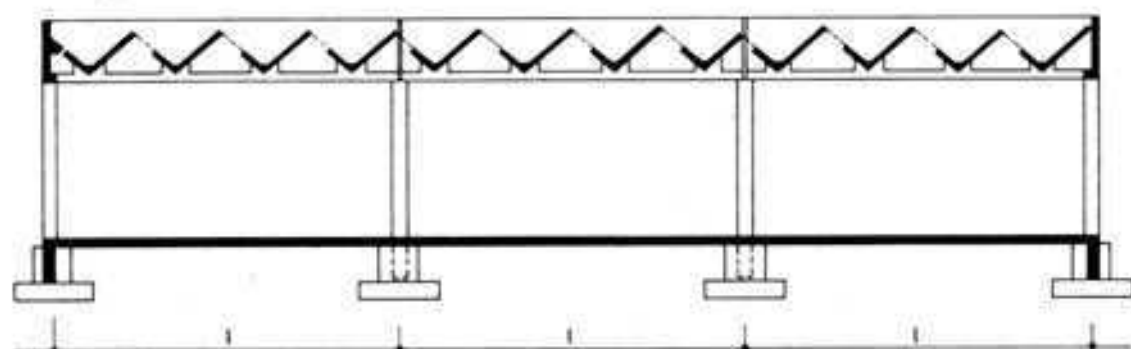
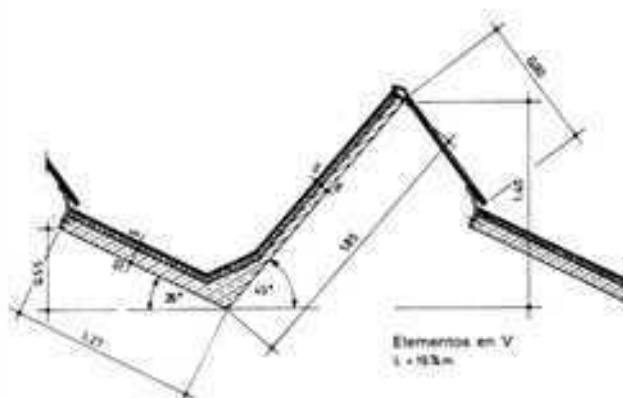
Elementos en V para cubierta en shed ZÜBLIN



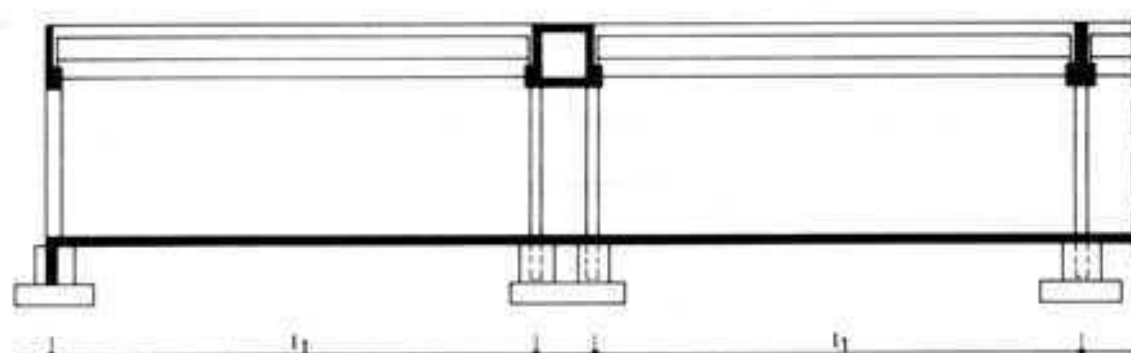
Naves industriales compuestas por piezas prefabricadas

Catálogo de tipos según Züblin

Ejemplos
Hoja 9



Sección transversal



Sección longitudinal

Elementos tipo para un reticulado:

Sección transversal	Elemento prefabricado	Designación abreviada
	Elemento de shed en V	ShV 280 - 16,8
	Jácena de sección en T (alera abajo) para apoyo de elementos en V	TShV 20/50-185-11,2

$l = 11,2 \text{ m}$, $l_1 = 16,8 \text{ m}$

Sección transversal	Elemento prefabricado	Designación abreviada
	Jácena de sección en L para apoyo de elementos de shed en V	TLShV 15/40-185-5,6
	Pie derecho	S 50 - 50 - 6,50
	Pie derecho	S 40 - 70 - 6,50

Dimensiones preferentes (m)							
Longitud de las jácenas l	5,6	8,4	11,2	14,0	16,8	19,6	
Longitud de los sheds l_1	12,0	14,4	16,8	18,0	19,2	21,6	

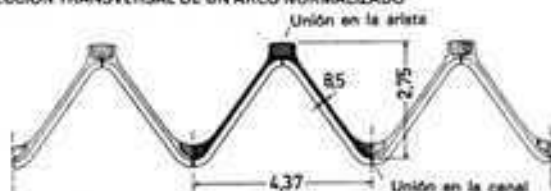
Edificio de varias naves con cubierta en shed con elementos en V

Estructuras plegadas

Para la determinación de las piezas prefabricadas que se emplean en la construcción de naves, tienen especial importancia las posibilidades de transporte. Para las vigas plegadas fabricadas de una sola pieza de hasta 3,00 m de ancho son posibles, como límite, longitudes de hasta unos 20 m. Para anchuras y longitudes mayores, las plegaduras se fabrican, por lo tanto, sueltas o a pares, en forma de losas, que así se transportan y sólo se unen en los ángulos de los pliegues, con relleno de hormigón en la junta, cuando ya están colocadas en obra. La altura que deben tener los pliegues depende de la distancia entre apoyos, el ancho del pliegue y las condiciones de apoyo y de contorno. En una estructura plegada, sobre dos apoyos, según que los pliegues estén unos junto a otros o que, como ocurre por ejemplo en las naves en shed, estén colocados a cierta distancia. Las estructuras plegadas que actúan como vigas sometidas a flexión son generalmente pretensadas, a fin de que la armadura longitudinal en la parte inferior y en la canal pueda ser menor. Además se evitan así fisuras y flechas excesivas. El pretensado con adherencia inmediata entre el hormigón y el acero, ya en el lecho de pretensado se emplea para los elementos de gran tamaño fabricado de una sola pieza; el postensado sólo se emplea en las juntas de unión de estructuras plegadas compuestas por piezas unidas en obra. Una ventaja especial de las estructuras plegadas está en su elasticidad de "acordeón", que permite compensar las tensiones de temperatura, retracción y fluencia sin necesidad de juntas de dilatación. En las estructuras plegadas en forma de arco la relación entre la altura de los pliegues y la luz de la bóveda es óptima. Por ejemplo, en la nave de empaquetaduras de Munich, con una altura de los pliegues de 2,75 m

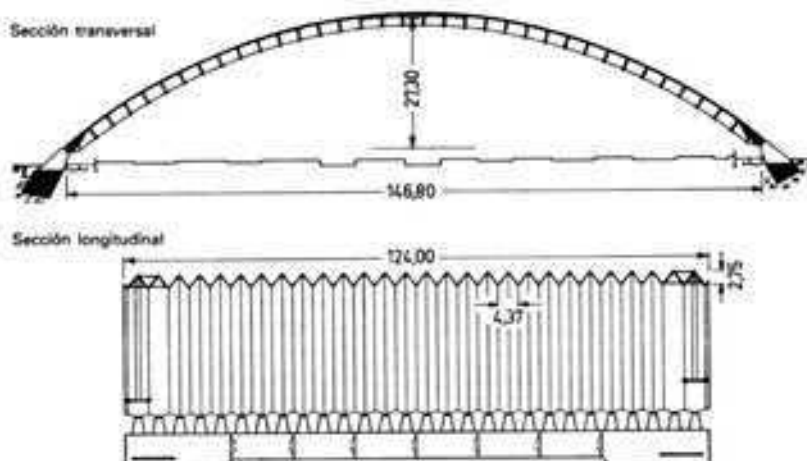
se ha salvado una luz de cerca de 150 m, con una altura en la clave de 27,30 m. Cada uno de sus pliegues constituye un arco poligonal de dos articulaciones cuya forma sigue la línea de presiones correspondiente al peso propio del arco normal y está formado por 70 elementos prefabricados iguales excepto los de los arranques. Estos elementos se colocan con inclinaciones iguales y opuestas y tienen unos 4,50 m de largo y 3,50 m de ancho con juntas transversales y juntas en los vértices y en las canales rellenas con hormigón vertido in situ.

SECCIÓN TRANSVERSAL DE UN ARCO NORMALIZADO



Mientras la altura de los pliegues es aquí de aproximadamente 1/50 de la distancia entre apoyos, la relación correspondiente para una estructura con elementos de 8,5 cm de grueso y unos nervios hormigonados de 30 cm es menor de 1/500. A pesar de esta delgadez de la lámina, el pronunciado perfil de las canales y el empleo de un hormigón impermeable permitieron a estas cubiertas prescindir de toda clase de recubrimiento.

SECCIONES LONGITUDINAL Y TRANSVERSAL DE LA ESTRUCTURA EN ARCO



UNIÓN DE LOS ELEMENTOS PREFABRICADOS CON HORMIGÓN VERTIDO IN SITU PARA FORMAR UNA ESTRUCTURA EN ARCO QUE ACTÚA MONOLÍTICAMENTE Y ESQUEMA DE LA ARMADURA DEL HORMIGÓN DE LA UNIÓN



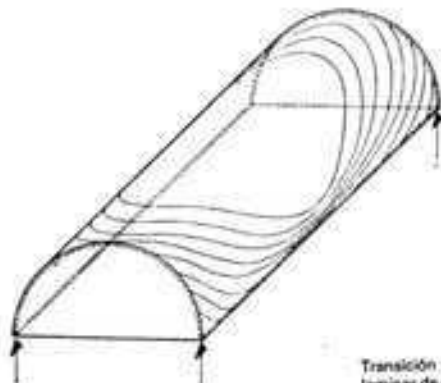
Estructuras laminares

Se distinguen láminas de simple y láminas de doble curvatura. En las de simple curvatura, por ejemplo en las que tienen forma de bóveda de cañón, una de las secciones principales es una curva y la otra una recta —la generatriz—; en las de doble curvatura las dos secciones principales son curvas. Entre éstas hay que distinguir dos grupos: las que tienen las curvaturas de las dos secciones principales dirigidas en un mismo sentido y las que tienen dichas curvaturas dirigidas en sentidos opuestos. En la página 425 pueden verse dibujos esquemáticos de ambos casos. Las estructuras laminares, según la relación entre las curvaturas y según las condiciones de apoyo, pueden llevar o no un refuerzo en el borde.

Láminas de simple curvatura

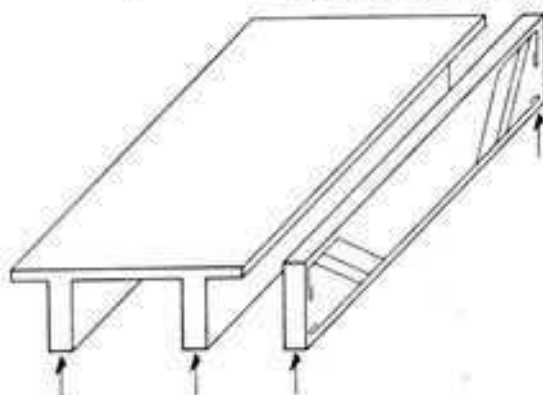
En oposición a las bóvedas de cañón propiamente tales, la estructura laminar de la misma forma no necesita un apoyo longitudinal continuo. Actúa de un modo semejante a una viga de sección en curva y, como ésta, transmite fuerzas principalmente en sentido longitudinal. Es condición esencial para ello que los extremos estén rigidizados mediante discos o mediante cerchas con y aun sin tirante. Del mismo modo que las vigas y las losas nervadas, las láminas de cañón pueden prolongarse más allá de estos planos de apoyo o rigidización, formando tramos en voladizo o estar dispuestas como las vigas continuas. Con arcos de 10 a 15 m de ancho y gruesos de lámina de 6 a 8 cm pueden salvarse luces de hasta 40 m; con un pretensado siguiendo la dirección de las trayectorias de las tensiones pueden alcanzarse luces todavía mucho mayores.

Para que en locales de grandes dimensiones se tengan a la vez buenas condiciones de iluminación se emplean muchas veces las estructuras laminares del tipo de bóveda de cañón, en la forma modificada de estructuras laminares en shed, con las cuales son posibles luces de hasta 30 m, y con pretensado de hasta 40 m. Las condiciones de asimetría del apoyo hacen inevitable una viga de borde, que a la vez sirve de canal de desagüe y de estribo para la lámina contigua. Muchas veces se forma incluso una propia viga-canal a fin de poder montar la lámina en shed mediante elementos laminares más pequeños, tendidos transversalmente.



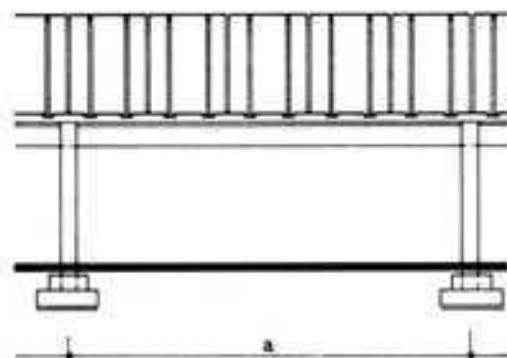
Según F. Hart:
Kunst und Technik
der Wölbung

Transición de la estructura laminar de cañón a la losa nervada



Las estructuras laminares de intersección correspondientes a las bóvedas por arista y en rincón de claustro constituyen la transición a las estructuras laminares de doble curvatura. En ellas las aristas y canales debidamente reforzadas actúan como cerchas que absorben las cargas. También las condiciones de iluminación de las láminas de cañón son mejores en este caso.

NAVE EN SHED CON LOSAS EN TT



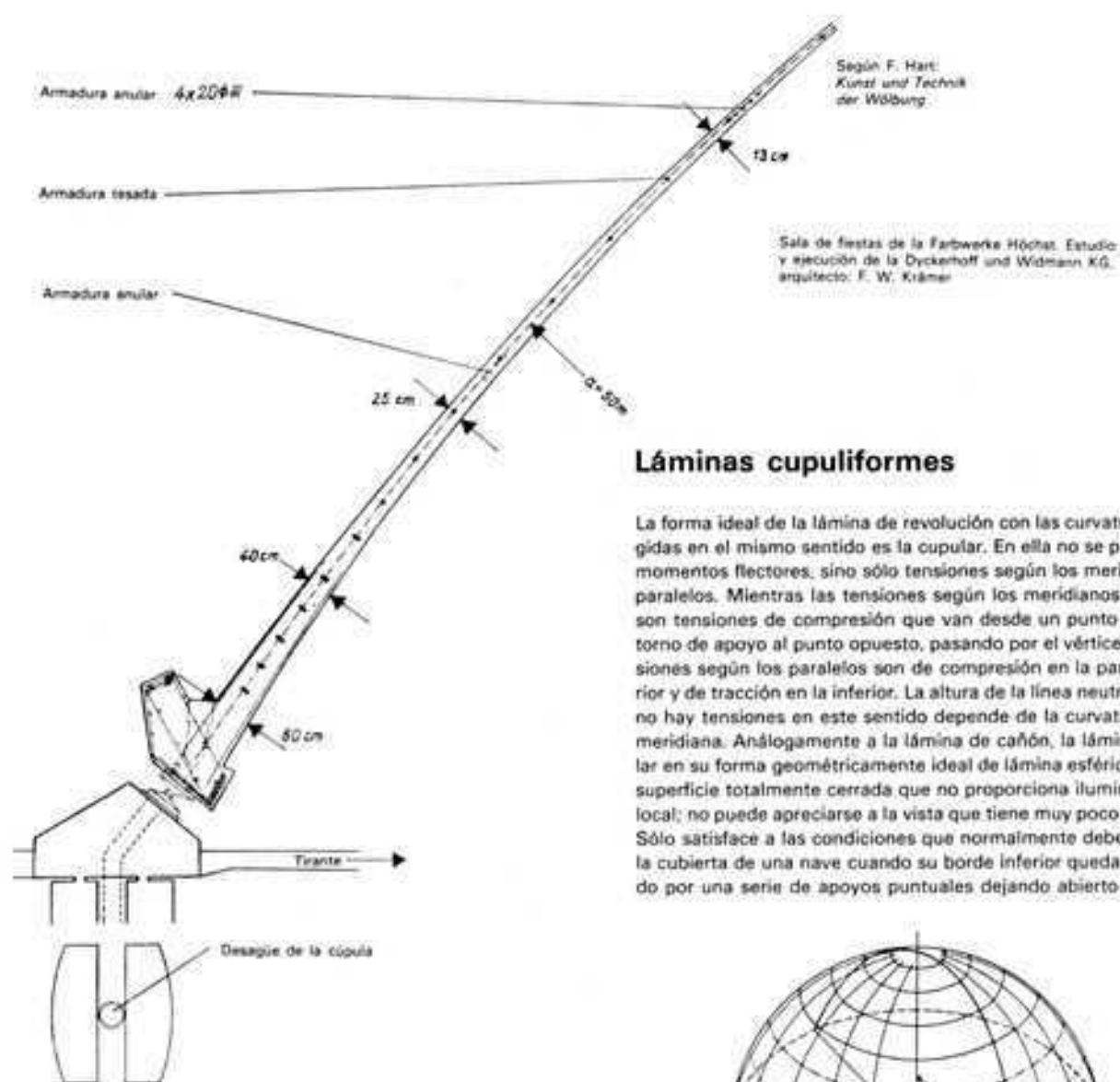
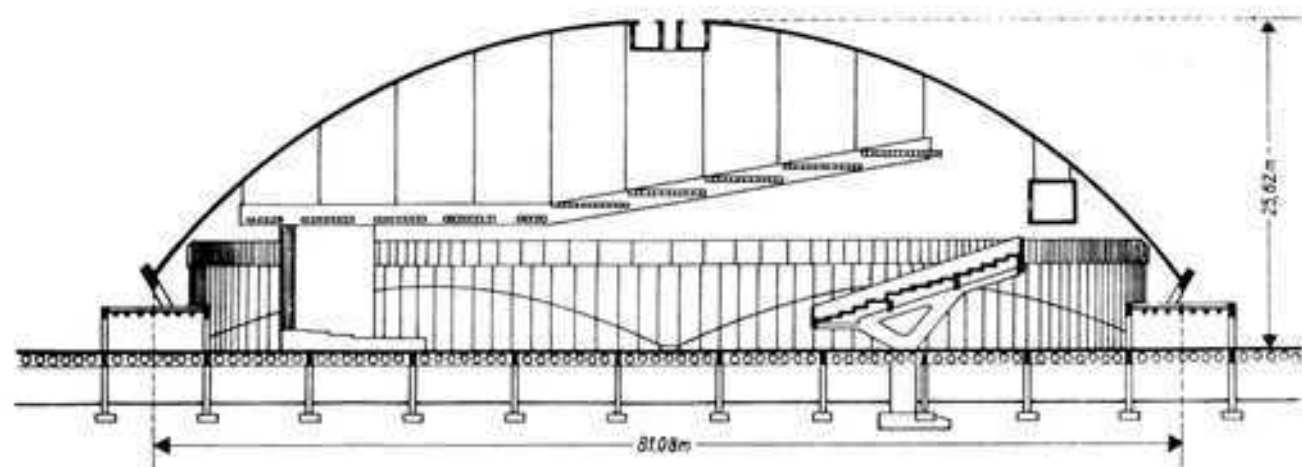
SECCIÓN LONGITUDINAL

ELEMENTOS TIPO PARA UN RETICULADO:

$l = 7,50 \text{ m}$, $a = 12,50 \text{ m}$

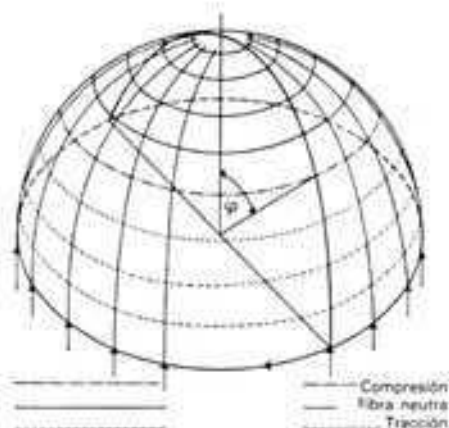
Sección transversal	Elemento prefabricado	Designación abreviada
	Losas de shed en TT	ShTT 250-60-6.2/7,5
	Montantes del lucernario de sección rectangular	SPTT 10-20-3,5
	Jácena de sección en T para apoyo de las losas de shed en TT	TShTT 50/16-120-12,5
	Pies derechos con doble encaje	S 50-50-5,0 2 G 18-20-9,0

Dimensiones preferentes (m)	
Longitud de los sheds l	7,5
Longitud de las jácenas a	10,0 12,5 15,0 17,5



Láminas cupuliformes

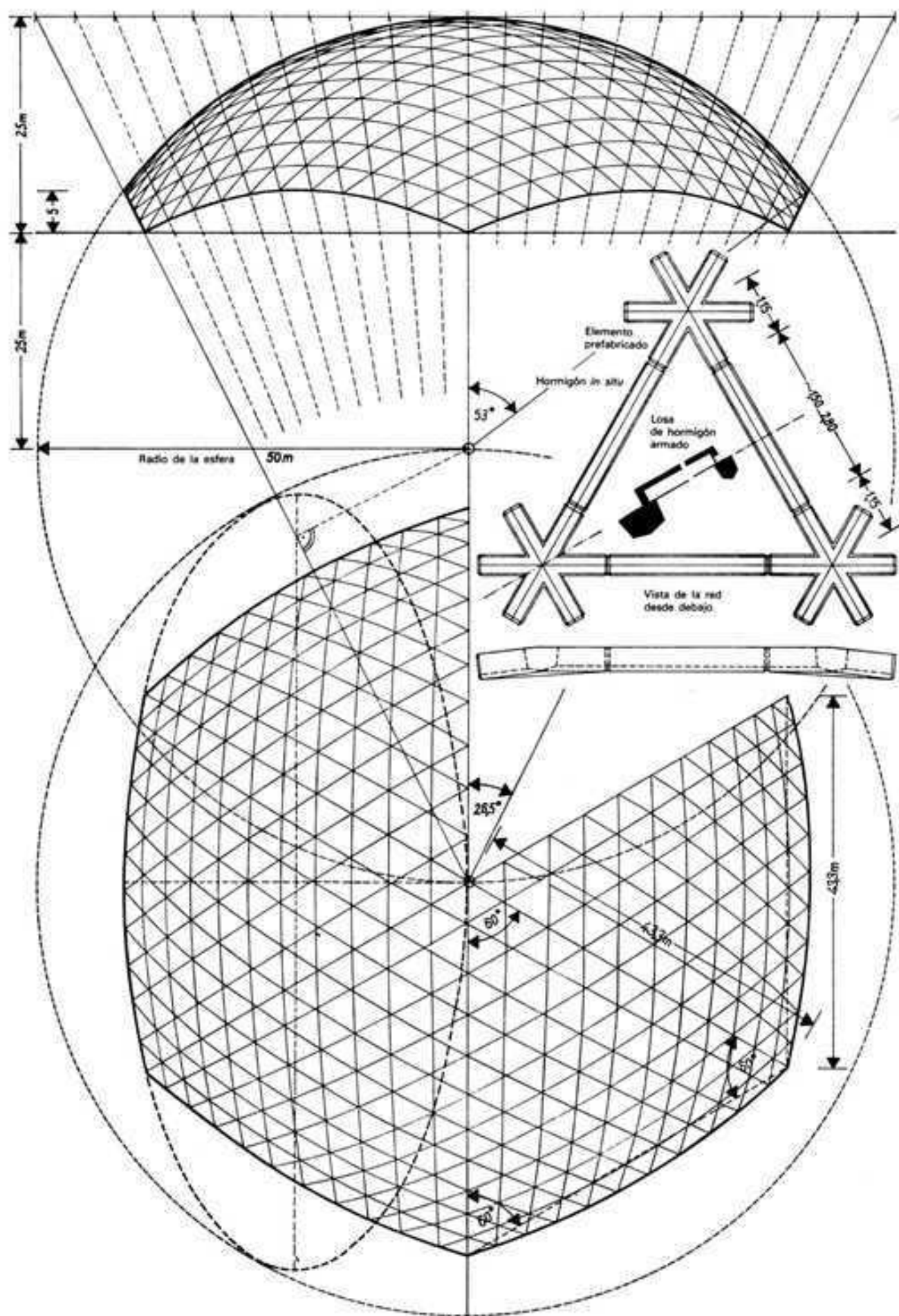
La forma ideal de la lámina de revolución con las curvaturas dirigidas en el mismo sentido es la cupular. En ella no se presentan momentos flectores, sino sólo tensiones según los meridianos y paralelos. Mientras las tensiones según los meridianos siempre son tensiones de compresión que van desde un punto del contorno de apoyo al punto opuesto, pasando por el vértice, las tensiones según los paralelos son de compresión en la parte superior y de tracción en la inferior. La altura de la línea neutra en que no hay tensiones en este sentido depende de la curvatura de la meridiana. Análogamente a la lámina de cañón, la lámina cupular en su forma geométricamente ideal de lámina esférica es una superficie totalmente cerrada que no proporciona iluminación al local; no puede apreciarse a la vista que tiene muy poco espesor. Sólo satisface a las condiciones que normalmente debe cumplir la cubierta de una nave cuando su borde inferior queda sustituido por una serie de apoyos puntuales dejando abierto el resto.



Esquema de una lámina cupular de sección semicircular

Láminas de doble curvatura

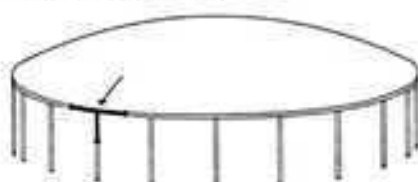
Entre las muchas formas y combinaciones posibles de las láminas de doble curvatura expondremos aquí las estructuras cupulares como de las que tienen las curvaturas principales en el mismo sentido y las estructuras en paraboloides e hiperboloides hiperbólicos como ejemplo de las que las tienen en sentido contrario.



Esto da lugar a que aparezcan alteraciones de contorno, que constituyen el problema propio de las láminas cupulares, pues entonces se presentan tensiones de flexión que requieren unos elementos de borde que las resistan.



Cúpula laminar rebajada. Las fuerzas se transmiten desde el borde a un sistema de apoyos inclinados. Palazzo dello Sport, Roma



Cúpula laminar rebajada con el borde pretensado. Sala de reuniones en Tokio: obra de Kenzo Tange

La solución más sencilla y más extendida de los problemas de iluminación y apoyo consiste en emplear para cúpula sólo el casquete esférico superior de una cúpula suficientemente grande, que queda por encima de la línea neutra, en el cual sólo se presentan tensiones de compresión. Un ejemplo es el Jahrhunderthalle de la Farbwerke Höchst que con un grueso de lámina de 13 cm y 60 cm en el contorno de apoyo cubre un espacio de 87 m de diámetro y 25 m de altura en el vértice. Su superficie es parte de una esfera de 100 m de diámetro.

No menos interesante es la estructura cupular propuesta como alternativa por la empresa constructora Dyckerhoff & Widmann KG, y que fue rechazada. Se basa en una retícula triangular con nudos prefabricados de hormigón armado y losas triangulares con los nervios de unión entre nudos y losas rellenos con hormigón in situ.

La concentración de las fuerzas de apoyo en unos pocos puntos requiere contrarrestos pesados o que se coloquen tirantes. Pero si el borde de una cúpula laminar rebajada está dispuesta como un anillo resistente a la flexión y a la tracción, sólo ejerce fuerzas de apoyo verticales. El apoyo puede ser una simple estructura de sostenimiento, pues sólo debe absorber las fuerzas horizontales producidas por el viento.

Como forma especial podemos citar aquí la lámina abombada del ingeniero suizo Isler, una membrana derivada de la forma de la película de jabón e ideal desde el punto de vista estático, comparable a una bóveda en rincón de claustro rebajada. Un casquete esférico con una abertura circular con cúpula-lucernario ($d < 5$ m) va a parar a una viga a tracción de contorno pretensada, recta y horizontal. Esta estructura es tan acertada en cuanto a cantidad de materiales, efecto sustentante y proceso de ejecución como en cuanto a adaptabilidad a plantas en reticulados cuadrados o rectangulares. Los elementos pueden acoplarse entre sí por todos los lados y producen en los apoyos de las esquinas sólo cargas verticales.

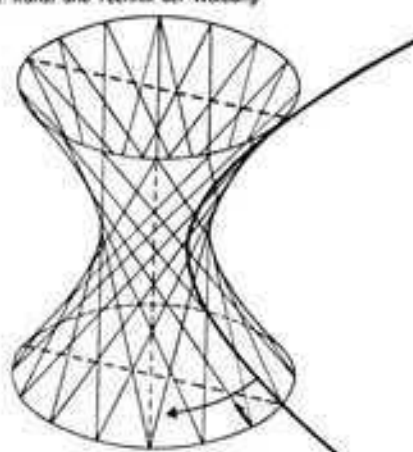
La construcción sobre encofrados-cimbra trasladables, que se pueden volver a utilizar, y la armadura mediante la colocación de mallazo simple en general, sólo doble en el borde, hace que las estructuras laminares Isler sean extraordinariamente económicas como estructuras de hormigón in situ construidas por elementos, para luces de hasta 20 m.

Láminas con curvaturas opuestas

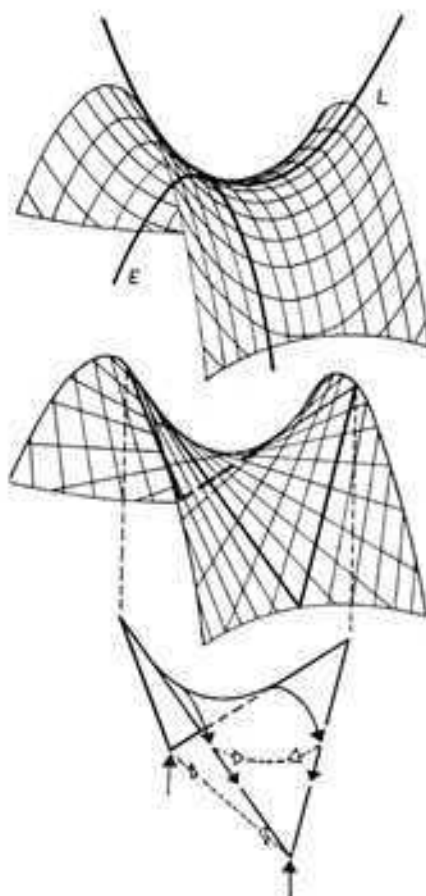
Estas estructuras tienen una forma en cierto modo parecida a la de una silla de montar. Sus formas geométricas fundamentales son:

- Hiperboloide de revolución de una hoja, que es la base de las estructuras laminares en hiperboloide empleadas múltiples veces, llamadas láminas HP.
- Paraboloide hiperbólico.

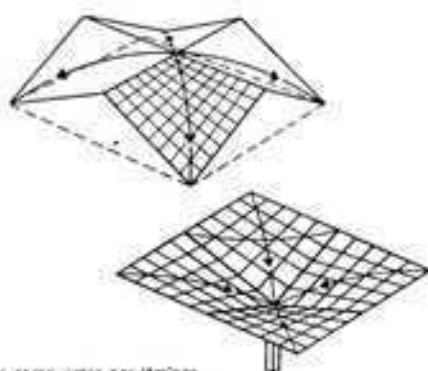
Según F. Hart: *Kunst und Technik der Wölbung*



Hiperboloide de una hoja



Paraboloide hiperbólico como superficie de tracción y como superficie reglada

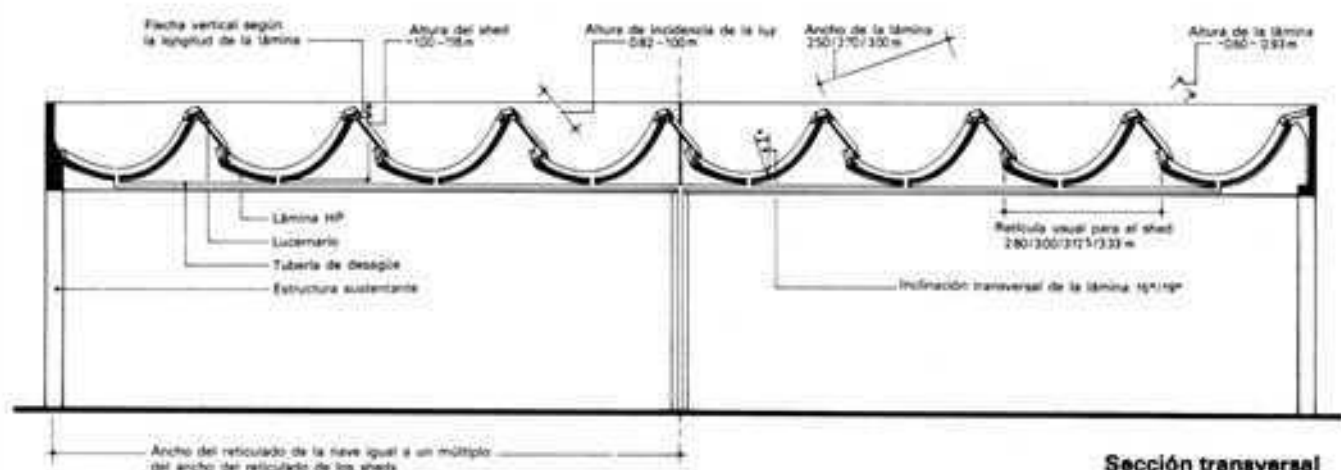


Estructuras compuestas por láminas en paraboloide hiperbólico

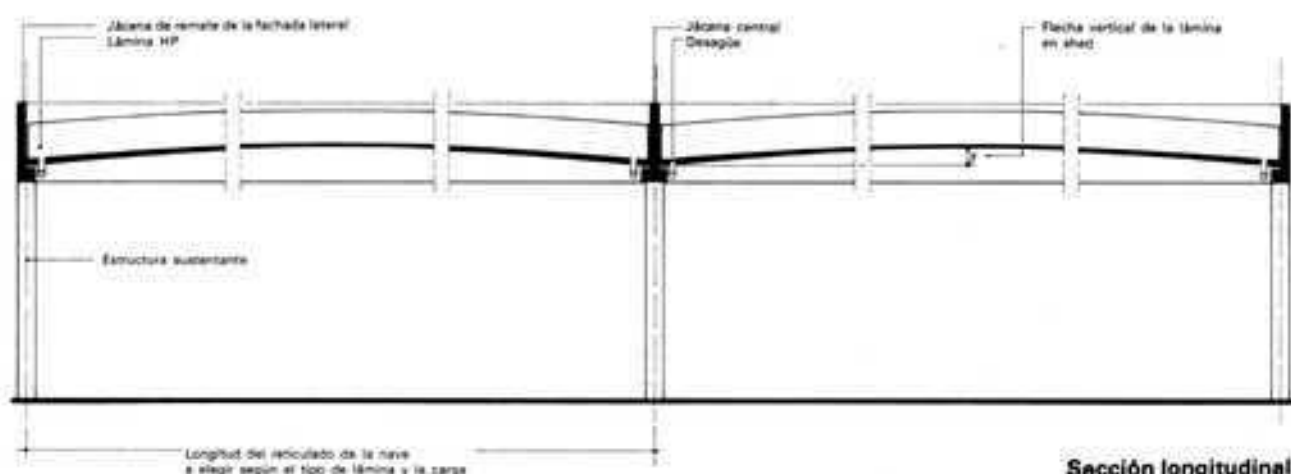
Ambas formas corresponden a las llamadas en geometría superficies regladas, es decir, que sus superficies pueden considerarse engendradas por dos haces de rectas, que se cortan mutuamente. Esto explica que a pesar de su pronunciada curvatura sea posible armarlas con barras rectas y pretensarlas en el lecho de hormigonado. También tienen la ventaja, en comparación con otras estructuras laminares de doble curvatura, de que su encofrado puede componerse con estrechos elementos rectos. Incluso para luces considerables pueden construirse sin reborde, lo que hace que quede bien a la vista su reducido espesor. No sólo se han construido en sus formas geométricas funda-

mentales, sino que ya se ha formado un gran número de variantes, en las que estas láminas se interseccionan, penetrándose y reforzándose reciprocamente. El arquitecto Félix Candela influyó de manera decisiva en su introducción.

Nos limitaremos aquí a dos ejemplos de cubierta interesantes por la técnica de su empleo: una estructura en shed con láminas HP prefabricadas de doble curvatura y la cubierta suspendida de gran luz de una nave para usos múltiples, que fue construida empleando elementos prefabricados con un gato en encofrados insignificantes.



Sección transversal



Sección longitudinal

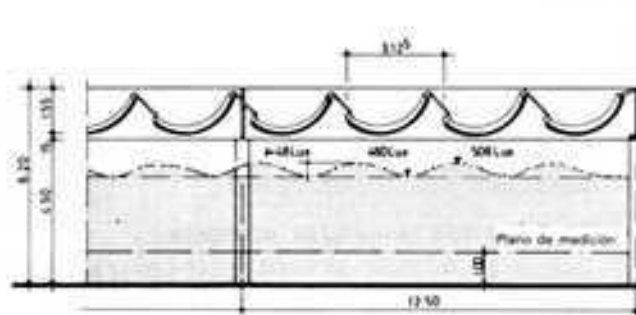
Altura libre que debe tener la nave en sección longitudinal y manovras (mín. 4.50 m). Ambos ejemplos se han ejecutado en hormigón armado.

Retículo usual de la estructura en shed con dientes de sierra: 7.50/20.00 m



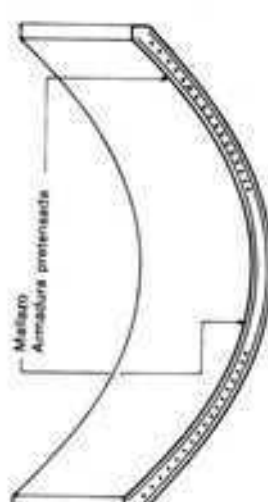
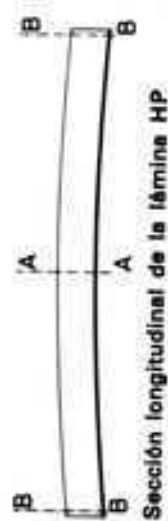
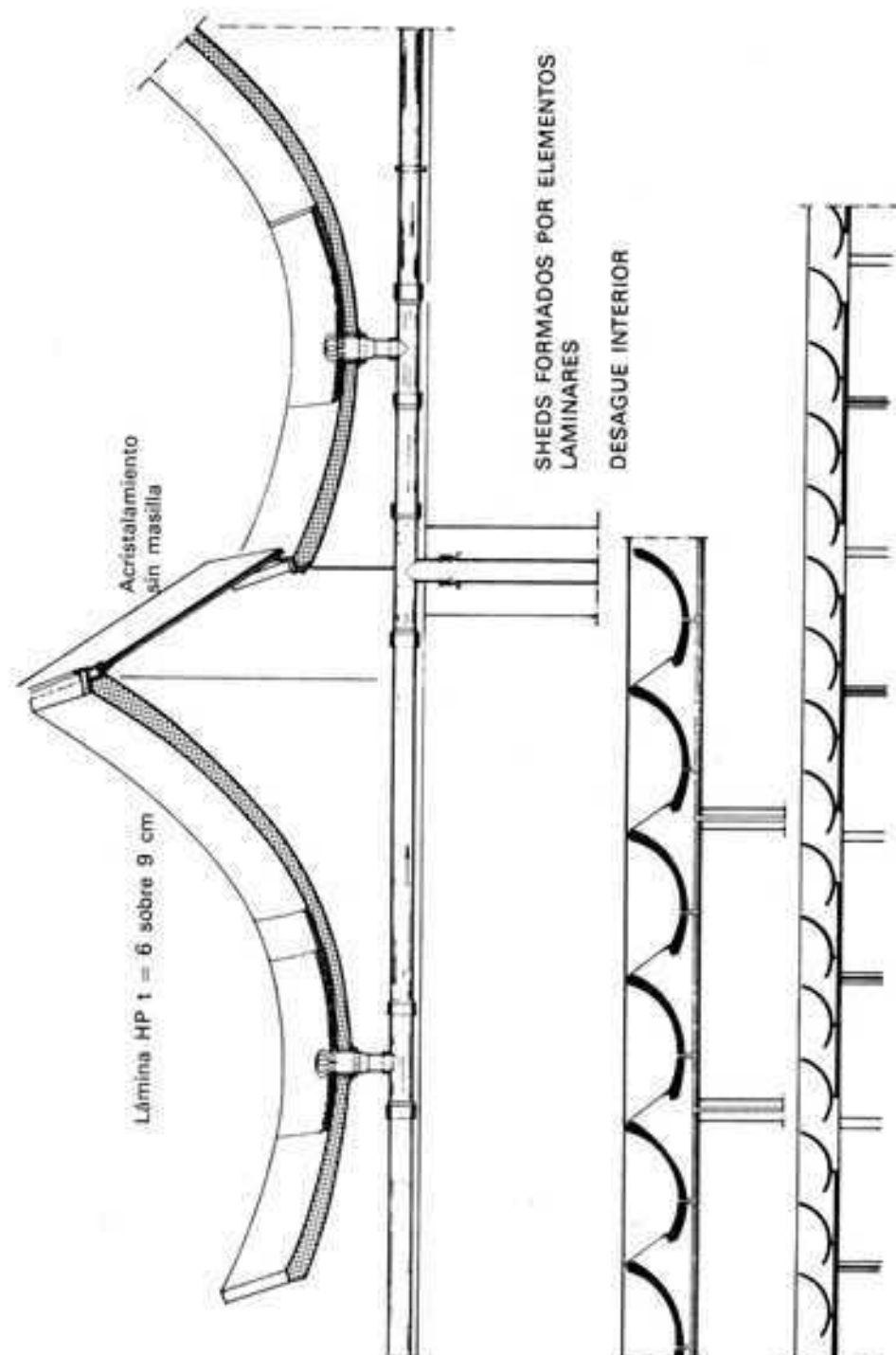
Nave con cubierta en shed con dientes de sierra

Retículo usual de la estructura en shed con láminas HP: 12.50/20.00 m



Nave con cubierta en shed con láminas HP

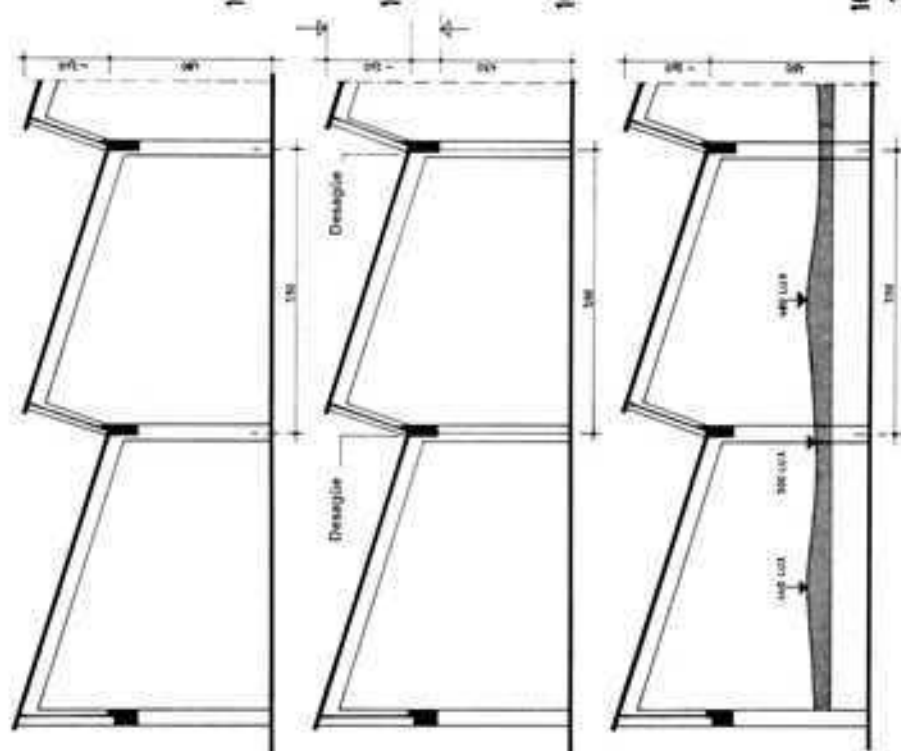
Comparación de estructuras en shed



OTRAS CONSTRUCCIONES EN SHED

en comparación con

SHEDS FORMADOS POR ELEMENTOS LAMINARES



Obra de fábrica

100% ← → 81%

Altura de los sheds

100% ← → 31%

Volumen edificio

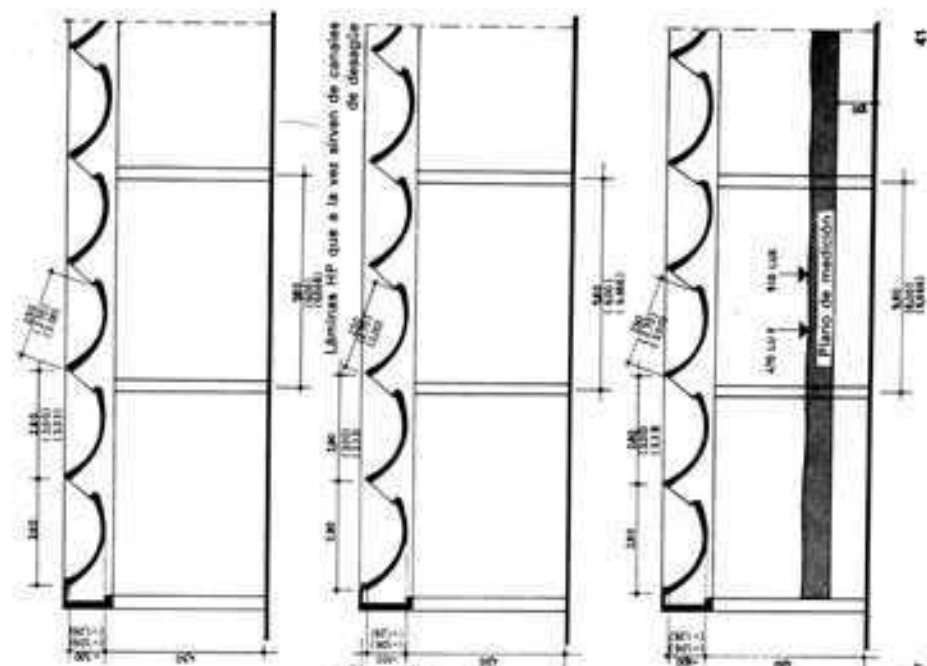
100% ← → 86%

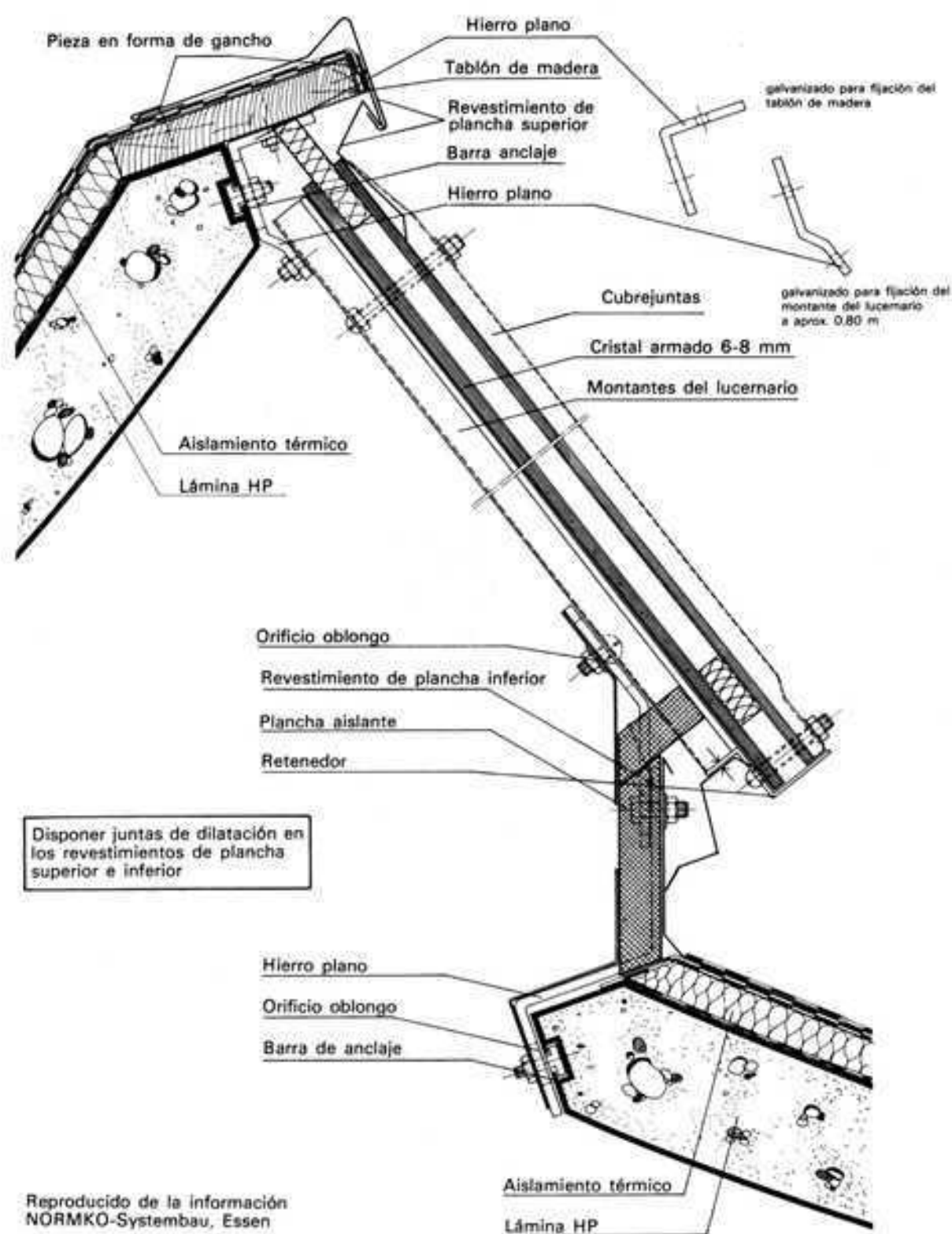
Iluminación
según DIN 5034

100% ← Cantidad de luz → 126%

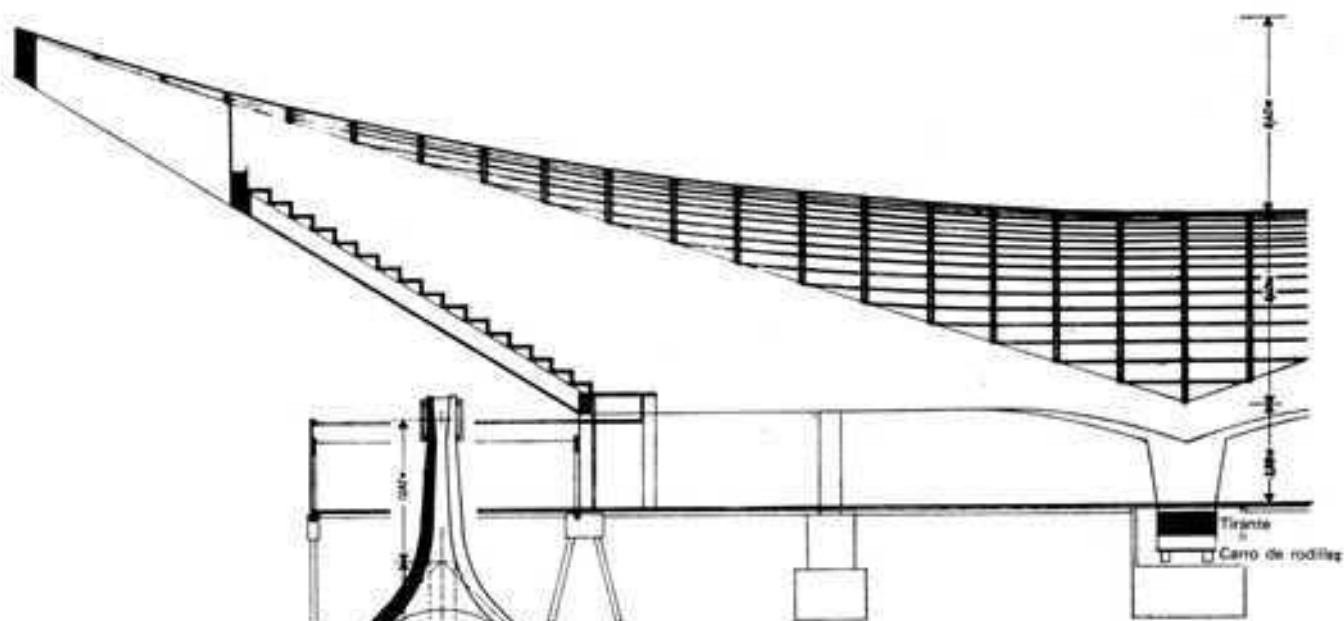
35% Oscilaciones en la intensidad %

Sigue una intensidad de iluminación de 5000 lux en el exterior

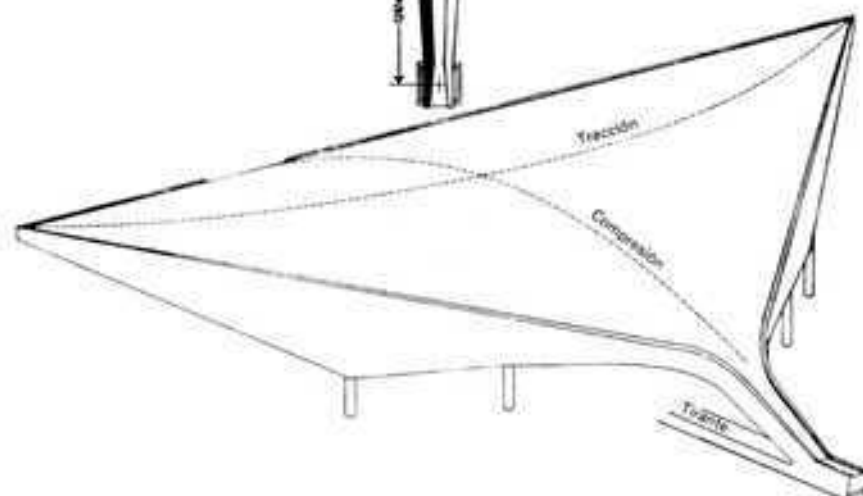
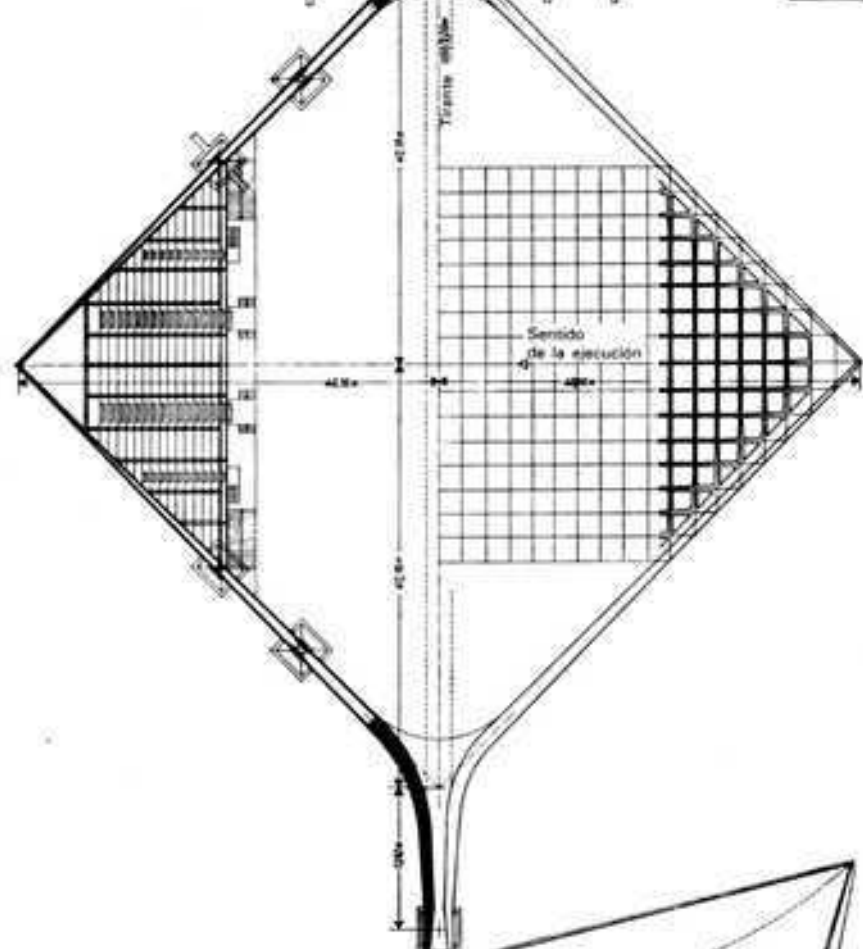




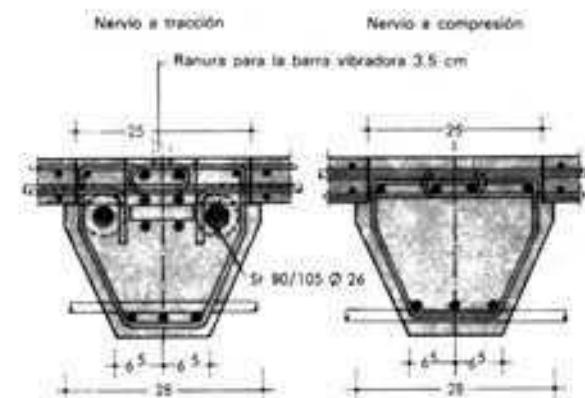
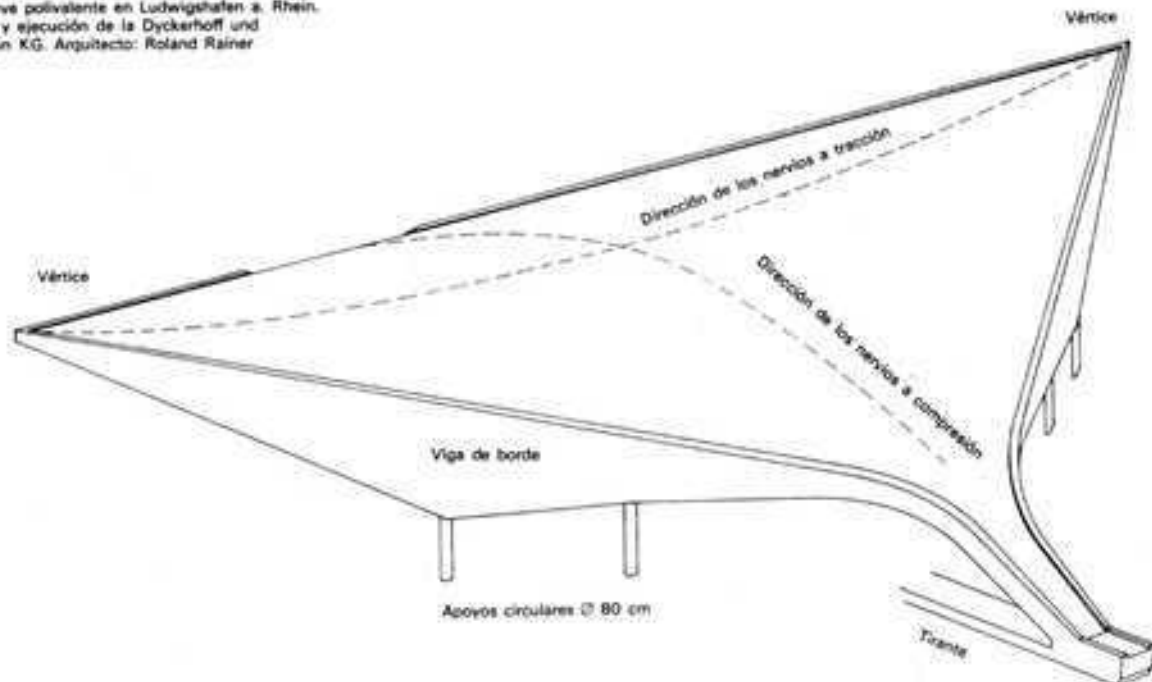
Reproducido de la información
NORMKO-Systembau, Essen



Según F. Hart: *Kunst und Technik der Wölbung*



Gran nave polivalente en Ludwigshafen a. Rhein.
Estudio y ejecución de la Dyckerhoff und
Widmann K.G. Arquitecto: Roland Rainer



Sistema constructivo de la lámina en paraboloides hiperbólicos con las secciones de los nervios a tracción y a compresión

Cuando se considera la posición de estos elementos pretensados y junto a ello uno piensa en la imagen de una viga deformada hasta adquirir la forma de una lámina, se advierte que los elementos pretensados en todas las secciones ocupan precisamente la posición óptima, cuando la forma de la lámina ha sido elegida de acuerdo con el criterio formulado más arriba.

A la mitad de la luz, o sea en el punto en que la viga tiene los mayores momentos flectores y los menores esfuerzos cortantes, las armaduras de pretensado ocupan la posición más baja posible. El centro de gravedad del pretensado se desplaza entonces lentamente hacia arriba en correspondencia a la disminución de los momentos flectores de la viga y al aumento de los esfuerzos cortantes. En los apoyos en que los momentos flectores son nulos y los esfuerzos cortantes máximos, la fuerza de pretensado actúa en el centro de gravedad de la sección.

La lámina HP así descrita, prescindiendo de toda viga de borde, de toda pantalla en forma de cercha y de todo refuerzo, adquiere un estado de tensiones en el que el efecto sustentante está logrado casi exclusivamente por esfuerzos normales y rasantes en el plano de la superficie de la lámina y en el que los momentos flectores en la lámina se mantienen tan bajos que pueden ser absorbidos con facilidad por la muy delgada lámina.

Revestimiento de cubiertas

El revestimiento de las cubiertas está destinado a proteger los locales cubiertos contra los agentes atmosféricos y las inclemencias del tiempo, como lluvia, nieve, viento, frío, calor y darles una cierta protección contra los peligros de incendio (pavesas volantes, etc.).

Un buen revestimiento de cubierta debe ser impermeable al agua, resistente a los agentes atmosféricos, y presentar un obstáculo a la propagación del fuego; debe tener poco peso y una vida lo más larga posible. Su forma exterior debe ser de aspecto satisfactorio. Por consiguiente, al escoger los materiales para techar habrá que tener en cuenta no sólo su idoneidad para el fin con que deben cumplir sino también el tipo e inclinación de la cubierta y su adaptación a los edificios vecinos o al aspecto del paisaje que rodea a la construcción.

Para todos los materiales de cubierta es fundamental lo siguiente: Cuanto más permeable sea el material de cubierta y cuanto más numerosas sean las juntas que en su colocación haya que dejar, tanto más rápidamente debe poder correr el agua, es decir tanto mayores deben ser las pendientes de la cubierta. Según la impermeabilidad de la cubierta se califica ésta como "cubierta de evacuación" o "cubierta de obturación". La cubierta de evacuación se hace con elementos sueltos (p. ej. tejas, pizarras, placas onduladas, placas metálicas, etc.) y exige, según el número y hermeticidad de sus juntas, una pendiente más o menos acentuada. El agua es desviada y conducida de elemento en elemento de la cubierta hasta llegar al alero que forma su borde inferior. Las cubiertas de evacuación son permeables al aire, así es que con ellas es pequeño el peligro de condensaciones en la cara inferior del revestimiento y también el de formación de moho y putrefacción de las estructuras de madera de su armazón.

La cubierta de obturación carece de juntas abiertas y constituye una barrera perfectamente cerrada incluso al paso del aire. En la cara inferior del revestimiento se producen fácilmente condensaciones del vapor de agua. En el caso de armazones de madera existe el peligro de su putrefacción. Las condensaciones de agua deben evitarse en lo posible en esa clase de cubiertas mediante la adopción de medidas apropiadas. Para el revestimiento de cubiertas inclinadas, sólo son apropiadas las tejas planas, la pizarra, las planchas metálicas y el cartón de techar. Todos los demás materiales exigen mucho desperdicio de mano de obra y de material y las uniones o enlaces resultan difíciles de hacer.

Revestimiento de tejas

El tejado es un revestimiento del tipo de evacuación que, según la clase de tejas y su construcción, puede ser empleado para cubiertas cuyas pendientes sean $\geq 15^\circ$. Las pendientes menos inclinadas no son admisibles porque entonces el revestimiento que ya de por sí es permeable al aire, lo es también, entonces, al agua. Únicamente ofrece garantía contra la lluvia cuando el agua puede saltar sin entorpecimientos y rápidamente de teja en teja hasta llegar al alero.

El aire saturado de humedad que se suele producir en todos los edificios y sube al desván, es arrastrado al exterior cuando el revestimiento de la cubierta lo deja circular; en tal caso se dice que la cubierta "respira". Por esta razón, el peligro de putrefacción en las armazones de madera es sumamente escaso bajo tejados permeables al aire.

Inclinación de las cubiertas

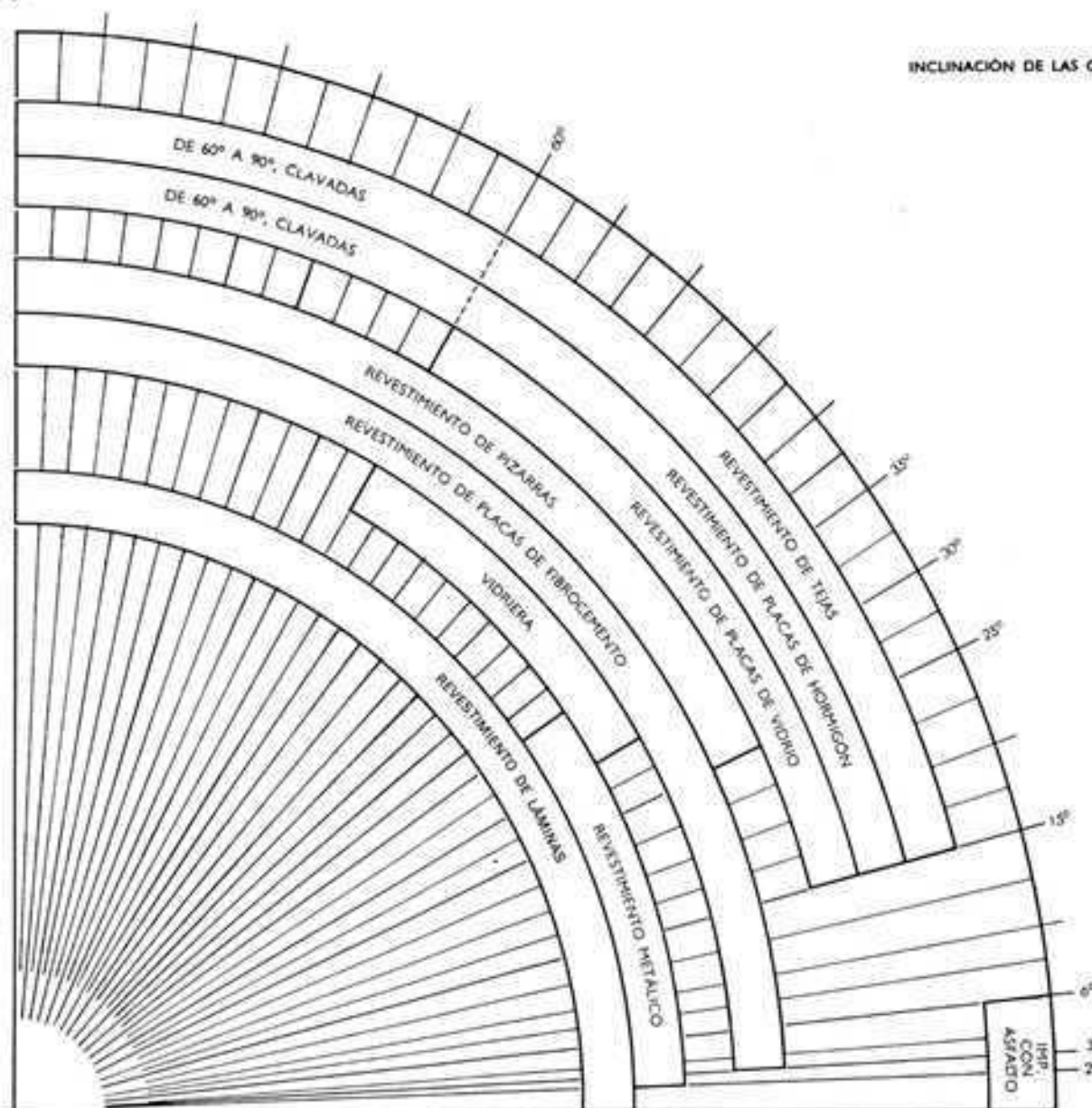
Para tener un revestimiento de cubierta sin peligro de goteras deben respetarse los límites mínimos de la pendiente, fijados de acuerdo con la clase de tejas o de revestimiento adoptados. Las reglas relativas a la inclinación se deben tener especialmente en cuenta en la parte de los aleros, que es por donde circula mayor cantidad de agua. Por consiguiente, en las hiladas corres-

pondientes a la prolongación de la cubierta sobre el alero no hay que bajar tampoco de las pendientes mínimas. La medida de la inclinación o pendiente de una cubierta está definida por la posición de los cabios, así como de los canchillos o prolongaciones de los mismos. Las tejas quedan naturalmente con pendiente algo menor. Su inclinación depende en parte del grueso de las tejas y del mayor o menor recubrimiento que se les dé.

Soporte del revestimiento de cubierta

Los listones o latas de la cubierta deben, por lo menos, tener tres aristas vivas, a fin de que puedan descansar bien sobre los cabios y que los picos de las tejas puedan en cualquier punto hallar buena retención por el borde superior del listón, es decir por la parte que mira a la cumbrera. Aun cuando la cuarta arista, es decir la que en la cara superior del listón mira hacia el alero, esté sólo desbastada, sin canto vivo, esto no hace desmerecer la calidad del listón. Sin embargo, ese achaflanado del canto rústico medido según su oblicuidad no debe tener mayor anchura que el grueso del listón. La sección de los listones dependerá de la separación a que se hallen los cabios y del peso de la cubierta. Situado un hombre sobre los listones clavados y en el centro de un tramo entre cabios, no deben flexarse aparentemente los listones.

INCLINACIÓN DE LAS CUBIERTAS





Las secciones usuales son: 2,5 x 5 cm, 3 x 5 cm, 3,5 x 5 cm y 4 x 6 cm.

Los listones de cubierta deben clavarse con puntas de cabeza ancha sobre los cabios, de manera que tales puntas estén situadas en la parte del listón que mira al alero, es decir en la mitad inferior de la anchura según la pendiente. En el caso de pendientes de más de 50° se clavará en el cabio, delante del extremo de cada listón y en inmediato contacto con él por la parte de abajo, otro clavo que sobresalga hasta llegar a la cara superior del listón. De este modo se evita que se astillen o abran los listones

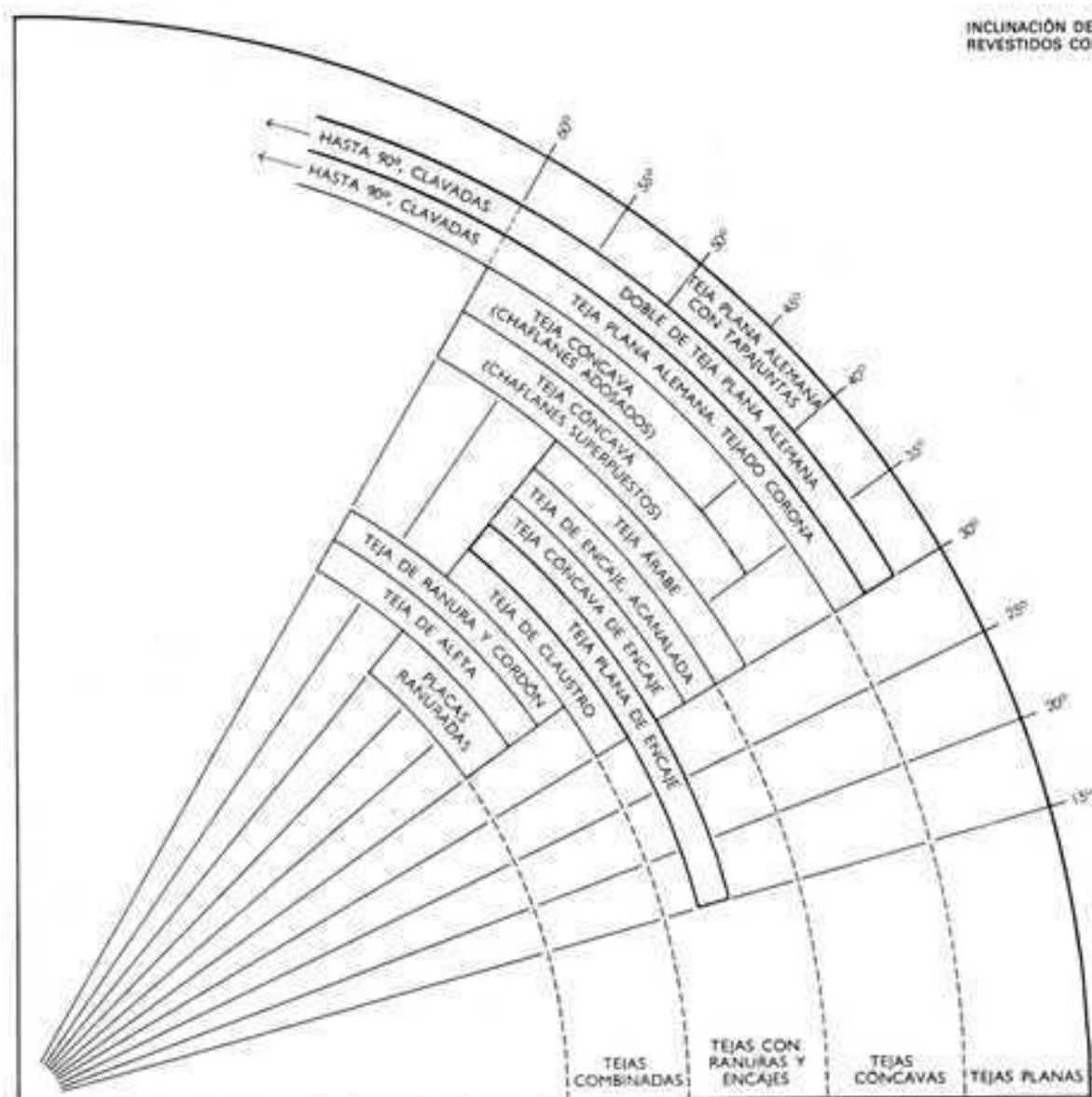
por sus extremos. Los clavos deben tener longitud suficiente para que penetren por lo menos 40 ó 50 mm en los cabios. En las cubiertas de teja plana alemana y de teja cóncava, la longitud de los cabios no necesita ser un múltiplo exacto de la distancia o separación usual entre los listones, correspondiente al tipo de teja empleada. Un mayor recubrimiento puede compensar la diferencia que pueda existir. Sin embargo, en todos aquellos tipos de tejas que llevan ranuras o encajes en la parte de la cabeza, es necesario que la longitud de los cabios sea múltiplo de la separación entre los listones. En tales cubiertas, el arquitecto debe hacer que el carpintero antes de empezar su trabajo se ponga de acuerdo con el que haya de hacer el revestimiento de la cubierta.

La perfección del revestimiento depende de manera muy esencial de la buena colocación del enlistonado. Por consiguiente, habrá que poner el máximo cuidado en esta operación.

El modo de proceder es muy diverso según las clases o tipos de tejas que se adopten. El enlistonado se coloca a veces directamente sobre los cabios y otras sobre entablado.

Al colocar los listones sobre el entablado se interponen unas latas que van en la misma dirección de los cabios y que sirven para clavar en ellos los listones paralelamente a los aleros. En esta forma, el aire puede circular sin impedimento entre la cubierta y el entablado.

INCLINACIÓN DE LOS TEJADOS REVESTIDOS CON TEJAS

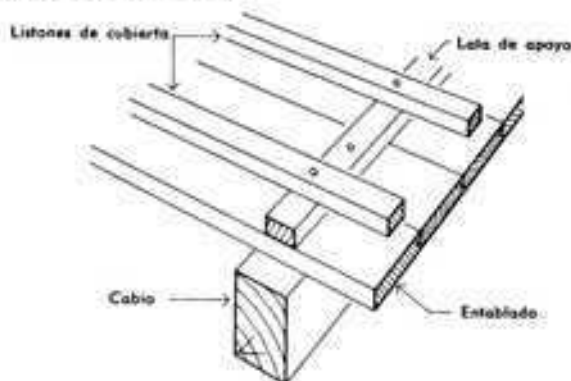


Distancia entre los listones y recubrimiento

Se entiende por distancia entre listones la que existe entre las aristas o bordes superiores de dos listones sucesivos.

En todas aquellas tejas que llevan ranuras o encajes en la cabeza y en los costados, la distancia entre listones viene fijada por la forma y dimensiones de la teja.

LISTONES SOBRE ENTABLADO



Para todos los demás tipos de tejas, la distancia entre listones depende de la longitud de las tejas y del recubrimiento mínimo necesario.

El recubrimiento de las tejas es, a su vez, función de la inclinación o pendiente del tejado. Cuanto menos inclinado sea éste, tanto mayor tiene que ser el recubrimiento.

Tejas

Restos hallados entre las ruinas de construcciones del antiguo Egipto demuestran que, ya en aquella época, la técnica de la preparación de la arcilla y su cocción eran conocidas. Entre los romanos, la teja y el ladrillo llegaron a un alto grado de perfección, y fue dicho pueblo quien lo difundió en los países nórdicos. Aun hoy día la teja cerámica es, en esos países, un material ampliamente difundido y aplicado en las cubiertas.

Las tejas se moldean en barro, arcilla u otros materiales más o menos arcillosos, a veces con adición de áridos apropiados para hacer menos grasa la mezcla; después se cuecen. No deben presentar grietas. Ver DIN 456.

Cuando las tejas se colocan sin mortero (tejavana), la máxima irregularidad en cualquier borde respecto del plano de la teja no debe exceder de 4 mm. Si las tejas van colocadas con mortero, esas irregularidades pueden tolerarse hasta los 6 mm. Cuando se trata de tejas no planas y que llevan ranuras o acanaladuras, esas diferencias o irregularidades pueden alcanzar 6 mm (sin mortero) o llegar a 8 mm (con mortero).

Las tejas pintadas, barnizadas o vidriadas deben tener bien uniforme su baño o revestimiento y fijo a la masa cerámica de manera que esa unión resista bien las inclemencias del tiempo. Son tolerables las grietas capilares en el vidriado.

Las tejas tienen que ser impermeables (método de ensayo DIN 456) y resistentes a las heladas. Hay muchas tejas, sin embargo, que durante sus primeros tiempos son permeables; esta permeabilidad desaparece relativamente pronto cuando los poros van quedando obturados por la suciedad y el polvo. La causa de tal permeabilidad es la presencia de poros en las piezas cerámicas; a pesar de ella, tales piezas suelen clasificarse como material impermeable.

En general, las tejas son suministradas con su color natural. Los revestimientos vidriados brillantes y los pintados uniformes de color rojo chillón son desagradables y además no están admitidos por las normas.

Las tejas se clasifican según su forma, su color, su revestimiento, etcétera.

Para tejas seleccionadas de la clase I deben cumplirse las siguientes condiciones, que determina la DIN 456. Para las de las clases II y III no existe norma alguna. En las grandes ladrillerías, la clase I suele subdividirse todavía en dos grupos I a y I b.

Grupo I a: Tejas que por percusión dan un sonido limpio y están, además, exentas de grietas y sin defectos de forma o de color en su cara superior.

Grupo I b: Análogas a las I a, pero algo alabeadas de una punta, si bien cumpliendo siempre la norma DIN 456. Además, con variaciones de color y pequeños defectos.

Clase II: Tejas cuyas esquinas o puntas se separan del plano general de la pieza menos de 12 mm, están curvadas hacia arriba o hacia abajo y además presentan importantes defectos de color o forma.

Clase III: Tejas torcidas, alabeadas y de cocción desigual, con otros defectos (pero sin grietas grandes) que no afectan esencialmente todavía la aplicación o empleo de dicho material.

Los colores naturales de las tejas son: rojo ladrillo, pardo rojizo, pardo y rojo amarillento. Mediante pintado o barnizado pueden dárseles casi todos los colores que se deseen.

Como las tejas con sus diversas formas, vidriados y colores pueden dar a las cubiertas aspectos muy diversos, contribuyen en gran manera al buen aspecto del edificio o construcción de que forman parte; así pues, cuando se escoge el material de cubierta hay que tener siempre en cuenta los edificios de la vecindad. En la Antigüedad, todas las cubiertas de una población se hacían del mismo tipo, cosa que contribuía, junto con la uniformidad de las pendientes dadas a las cubiertas, a prestar un aspecto armónico al conjunto.

Las tejas se clasifican en tres grupos principales:

- | | |
|--|---|
| 1) Tejas planas: | Teja plana alemana |
| 2) Tejas cóncavas: | Teja cóncava (Teja S), teja árabe |
| 3) Tejas con rebordes y ranuras: | Tejas de reborde o teja marsellesa, tejas cóncavas con reborde, tejas planas con encaje, tejas árabes combinadas. |
| 4) Tejas combinadas de los tres grupos principales anteriores: | Tejas de ranura y cordón, tejas de aleta, placas con encaje de ranura. |

A estas clases de tejas hay que agregar todavía las tejas de forma especial, como las de encuentros, las de caballete o de cumbre, las de aristas salientes o limas tesas, las de campana, las de limas hoyas, las de ventilación, etc.

Teja plana alemana (teja de cola de castor)

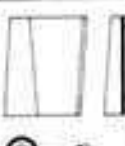
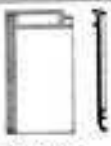
Hasta fines del siglo pasado la cubierta con tejas planas era muy frecuente en el sur y centro de Alemania. El tejado doble es resistente tanto a las influencias de la lluvia como a las del viento fuerte. Sin embargo, tiene un peso elevado (85 kg/m²), lo que influye también en el dimensionado de los elementos de techumbre. Así pues, las bellas cubiertas con tejas planas fueron siendo sustituidas en el siglo XX cada vez más por las sencillas cubiertas de tejas acanaladas con ranuras de distintos tipos, más baratas y ligeras (50 kg/m²). Las cubiertas con tejas de cola de castor son adecuadas para las construcciones oblicuángulas.

La cola de castor es la forma más sencilla de tejas. Está normalizada en la DIN 456. Consiste en un trozo de placa plana con un pico o tope en la parte superior para su retención y borde de la parte baja, redondeado.

Según la norma DIN 456 hay que distinguir: tejas planas estrechas y tejas planas anchas. También pueden fabricarse, según pedido, con formas diferentes, como p. ej. acabadas en punta, en semicírculo o rectas por su borde inferior. En su extremo superior, las tejas planas alemanas (llamadas "colas de castor") lle-



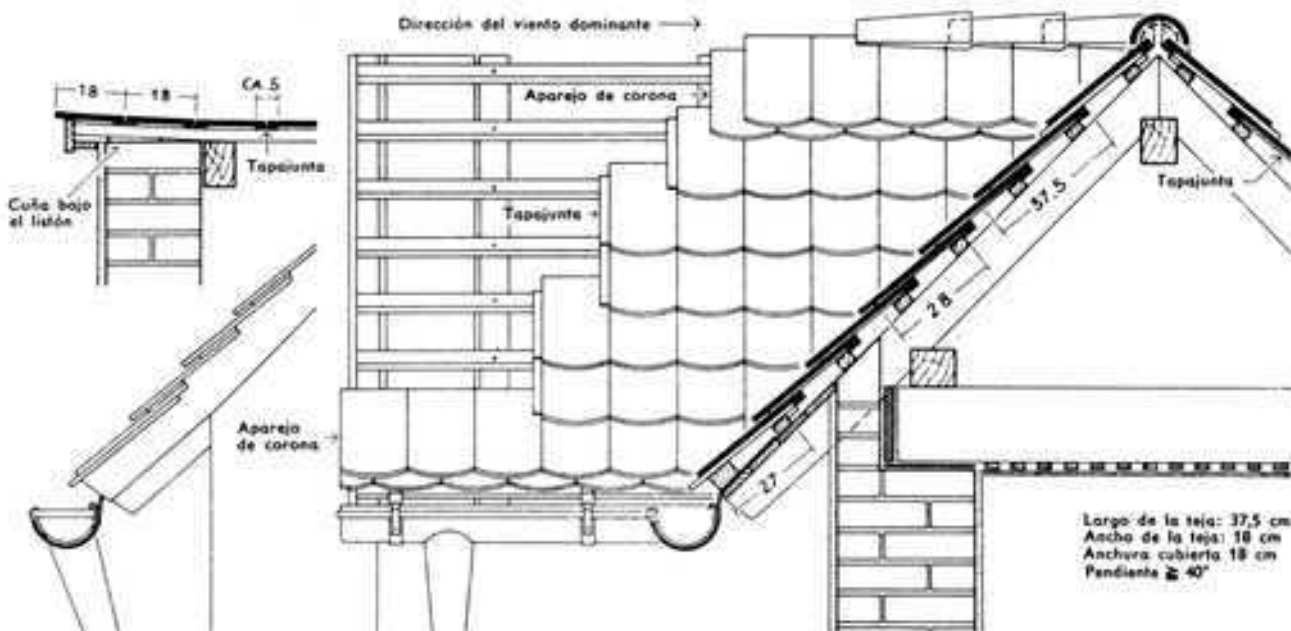
TIPOS CORRIENTES DE TEJAS

	TIPO DE TEJA	FORMA	DIMENSIONES			PENDIENTE MÍNIMA	PESO por m ² de vertiente	PIEZAS por m ²	OBSERVACIÓN
			Largo	Ancho	Espesor				
TEJAS PLANAS	Teja plana alemana 	Estrecha	375	155	12	Según el tipo de cubierta: 30 a 40°	Según el tipo de cubierta: 65 a 85 kg	Según el tipo de cubierta y la pendiente: 26 a 40	Modo de cubrir, véase pág. 527
		Ancha	380	180	12				
		Bévara	430	180					
		Pequeña	280	140					
		Pequeña	220	100					
TEJAS CÓNCAVAS	Teja cóncava ordinaria 	Grande	400	235		40°	70 kg	≈ 20	Modo de cubrir véase pág. 539
		Normal	360	230	12				
		Pequeña	280	170					
	Teja drape 	Cabija	420	140		30°	105 kg	≈ 16	Modo de cubrir, véase pág. 541
		Canal	420	200					
TEJAS CON RANURAS PARA ENCAJE	Teja acanalada con ranuras (teja marsellesa) 		485	245		30°	55 kg	15	
	Teja cóncava de encaje 		410	240		30°	50 kg	15	Modo de cubrir y tamaños especiales véase pág. 542
	Teja plana de encaje 		400	245		15°	55 kg	15	Modo de cubrir y tamaños especiales véase pág. 543
TEJAS DE FORMAS COMBINADAS, PLANA, CÓNCAVA Y DE RANURAS	Teja de aleta 		330	260		35°	55 kg	≈ 22	Modo de cubrir, véase pág. 547
	Teja de ranura y cordón 	Normal Grande Sur de Alemania	400 420 380	205 225 230		35°	55 kg	≈ 22	Modo de cubrir, véase pág. 546
	Placas ranuradas 		420	230		35°	55 kg	15	

Aparte de estas tejas corrientes existen otras formas que sólo son empleadas en determinadas regiones.

van, en general, dos orificios que sirven para poderlas clavar cuando el tejado tiene pendiente muy fuerte. La teja plana estrecha es la que más se usa en el norte de Alemania. En los cantos laterales debe llevar, en cuanto sea posible, estrías para facilitar y mejorar su unión con el mortero. Son convenientes también los nervios y estrías en la cara inferior, para favorecer la aireación de la cubierta. Para lograr una mejor conducción del agua, las tejas planas pueden llevar también nervios y acanaladas

duras en la cara superior. Hay piezas de media teja y de tres cuartos de teja para mejor disponer los principios y finales de las fajas de tejas, siempre que lo requiera el aparejo. Las tejas o placas de alero, algo más cortas que las demás, son las de la hilera más baja y mejoran la terminación o acabado del alero; las tejas o placas de cierre son las inmediatas al caballete o cumbre;



las tejas de caballete son tejas lomudas que cabalgan sobre las dos placas de cierre;

las tejas extremas de caballete y de arranque de faldón (cerradas por un extremo) son las primeras que se colocan al revestir las limas tesas y cumbreiras;

las caperuzas de faldón sirven para cubrir la unión de dos limas tesas con la cumbreira;

las tejas de campana sirven para cubrir el vértice de las cubiertas de pabellón (tejado piramidal) y

las tejas de enlace o transición para poder hacer correctamente el revestimiento del punto de entrega de una cumbreira secundaria contra la pendiente de la cubierta principal.

Hay además tejas canales para limas hoyas, tejas para cambios de dirección, tejas para torreones y pináculos, tejas planas levantadas por un borde o curvadas hacia afuera o hacia adentro; además hay tejas de formas históricas, que sólo se fabrican según pedido especial.

Aparte de las tejas normalizadas en la DIN 456 se fabrican otros modelos de teja plana alemana, grandes y pequeños (42 x 18 cm, 28 x 14 cm y 22 x 10 cm).

Las dimensiones de las tejas lomudas para cumbreiras y limas tesas no están normalizadas. En general tienen 40, 31 y 25 cm de longitud.

Las tejas planas pueden colocarse como tejado sencillo con tapajuntas, como tejado doble o como tejado de corona.

El enlistonado se coloca siguiendo la marcha especificada a continuación:

El listón inferior que tiene que sostener la faja del alero debe fijarse de manera que las tejas de la misma dejen caer sin dificultad el agua en el canalizo que suele llevar el alero en su borde. Luego se coloca el listón superior que tiene que soportar la faja de cierre, clavándolo de manera que entre los picos de las tejas de cierre de cumbreira de cada vertiente sólo quede un espacio de reducidas dimensiones. La posición de estos listones se comprueba durante su colocación encajando una teja de vez en cuando. La distancia entre los bordes superiores de estos dos listones, el más bajo y el más alto, se dividirá por la distancia mínima admisible de acuerdo con los tipos de cubierta y de tejas empleados. Si aquel cociente no resulta un número entero se redondea el número de hiladas o fajas del revestimiento y se reparte el exceso, sea uniformemente, sea (mejor aún) entre las hiladas más bajas de tejas, que son las que tienen que soportar mayor cantidad de agua. En las cubiertas de teja plana se puede, pues, subdividir siempre la superficie del tejado escogiendo un valor más elevado del recubrimiento, y partiendo en cada caso de la longitud correspondiente los cabios.

Una vez conocida la distancia o separación exacta y definitiva entre el listón superior y el inferior se marcan los puntos correspondientes en dos listones o reglas que se clavan junto a dos

cabios bastante separados uno de otro, de manera que las divisiones marcadas se vean bien y que la raya o marca más baja coincida con la arista superior del listón de alero ya clavado. Entonces con un cordel y tiza se marcan las sucesivas divisiones sobre los cabios intermedios. Una vez efectuado el enlistonado es cuando se comprueba la anchura, siempre algo variable, de las tejas planas. Para establecer una anchura media de la teja plana se añade a ella una junta de unos 3 mm de anchura y así se obtiene la anchura de teja con que hay que cubrir. En esta forma, todas las juntas laterales resultan perpendiculares al alero y para guía se marcan varias líneas auxiliares sobre la cubierta. Para empezar se coloca junto al muro piñón un cordel tirante, situado unos 5 cm por fuera de la obra, y éste señalará el principio de la cubierta. Entonces se calcula la anchura de tejado correspondiente a 10 hiladas de tejas; se mide esa distancia sobre la cumbreira y sobre el alero a partir del citado cordel del muro piñón y se marcan los puntos con una tirada de cordel. Estas tiradas de cordel se repiten varias veces sobre cada vertiente y se obtiene así una comprobación o guía para la colocación de las tejas.

Al hacer la subdivisión de la anchura debe tenerse presente que el enlace o unión con otros muros piñones o con cubiertas de otros edificios existentes debe hacerse bien sea con tejas enteras, bien con medias tejas. Si fuese preciso, podrían ensancharse un poco las juntas longitudinales. En tejados de gran longitud, las tejas tienen que colocarse con huelgo suficiente o bien debe preverse de vez en cuando una solución de continuidad (junta de movimiento) que se recubre con una hilera de tejas.

Al cubrir se empieza por el borde derecho del edificio. Todas las medias tejas usadas para las viseras o aleros de frontón y para enlaces y uniones de pendientes diferentes o de cubiertas con muros más altos tienen que llevar el borde libre cortado en forma que no conduzca el agua hacia el interior, sino que por el contrario la deje gotear según la pendiente de la cubierta; también pueden sustituirse por otras tejas cuya anchura sea de vez y media. La fijación de las tejas se hace a medida que se va techando.

Tejado con tapajuntas

El tejado sencillo fue muy empleado en épocas anteriores en que las tejas, que aún se elaboraban a mano, resultaban muy caras. En este tipo de tejado va un listón por cada fila de tejas. Las juntas perpendiculares al alero se cierran por debajo mediante tabillitas de madera hendida o tiras de chapa de cinc, que deberán tener por lo menos 28 cm de longitud. Las tapajuntas de madera tienen que irse sustituyendo de vez en cuando, porque por la acción de los agentes atmosféricos fácilmente se deterioran. Por esta razón, en los antiguos desvanes cubiertos con este tipo de tejado se conserva siempre un manojo de tapajuntas de recam-

bio, para las reparaciones. El tejado de tapajuntas, a pesar de su reducido coste de construcción, es antieconómico porque exige un entretenimiento constante. Para que la cubierta garantice la impermeabilidad es mejor recurrir, en las regiones lluviosas, al tejado doble o al tejado de corona, que son más seguros que el de tapajuntas.

En el tejado con tapajuntas, la anchura del recubrimiento se rige, como en los casos en que las tejas no llevan ranuras ni rebordes en su extremidad, por la pendiente del tejado. Para una pendiente de 45°, el recubrimiento tiene que ser de 16 cm. Así resulta una separación entre listones = longitud de la teja - 16 cm. Este recubrimiento puede ser algo menor en tejados cuya pendiente sea superior a los 45° como consecuencia del rápido descenso del agua; en cambio, para pendientes de menos de 45° (pendiente mínima admisible 40°) hay que aumentar el recubrimiento. Por cada grado de inclinación se suele contar un 2% de aumento o disminución, según el caso.

Ejemplo: Pendiente del tejado = 40°. Recubrimiento necesario = 16 cm + (5 x 2% de 16 cm) = 16 cm + 1,6 cm = 17,6 cm.

Distancia entre los listones = Longitud total de la teja - 17,6 cm.

Ejemplo: Pendiente del tejado = 50°. Recubrimiento necesario = 16 cm - (5 x 2% de 16 cm) = 16 cm - 1,6 cm = 14,4 cm.

Distancia entre los listones = Longitud total de la teja - 14,4 cm.

Pendiente del tejado	40°	45°	50°	55°	60°
Recubrimiento	17,6	16	14,4	12,8	11,2
Distancia entre listones	19,9	21,5	23,1	24,7	26,3
Número de piezas por m² (aprox.)	31,5	30,0	28,5	27,0	25,5
Peso (aproximado)	65 kg/m² de superficie inclinada del tejado				

Si la longitud de los cabios no concuerda bien con la distribución de los listones, éstos pueden colocarse algo más espaciados en las proximidades de la cumbrera, que es donde la cubierta recibe menos agua, rebajando algo en dicho sitio el valor fijado para el recubrimiento.

Con objeto de alejar todo lo posible el agua de lluvia de las juntas y de las tapajuntas, las tejas planas no se combinan según un aparejo de juntas alternadas sino que se disponen según hileras

que siguen la máxima pendiente, de manera que resulten continuas las juntas perpendiculares al alero. Esto tiene la ventaja de que el goteo de las tejas viene a caer sobre la parte central de la teja inferior; en cambio el agua que corre sobre tejas planas dispuestas según un aparejo de juntas alternadas caería precisamente sobre las juntas longitudinales. Al colocar las tejas de una cubierta se empieza generalmente por el borde derecho. Cada 10 hileras de tejas hay que comprobar la corrección de la colocación de las tejas planas mediante una tirada de cordel. Para la formación de aleros, cumbreras y viseras en los tejados son de aplicación, en todo lo esencial, las mismas reglas que para el tejado doble.

Tejado doble

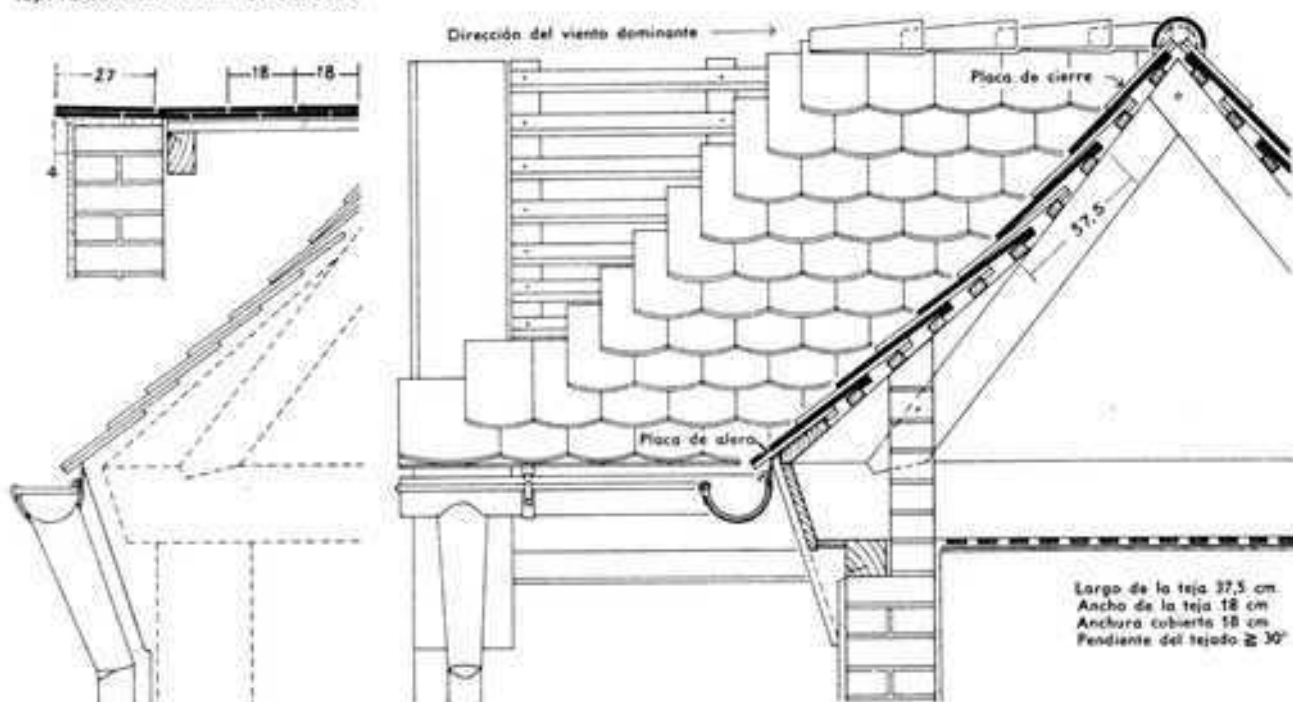
Este tejado, corriente en Alemania del Sur, da mucha animación a las vertientes de la cubierta, por el aparejo a juntas alternadas de las sucesivas hileras de tejas. La fila inferior llamada faja de alero y la superior llamada faja de cierre o de cumbrera están formadas por dos hileras de tejas superpuestas. Una sirve de base y otra de recubrimiento. Para la hilada de base de la faja de alero, como para la hilada de recubrimiento de la faja de cumbrera se emplean tejas especiales más cortas: las de la faja de alero se llaman placas de alero y las de la faja de cumbrera, placas de cierre. Si en lugar de estas tejas más cortas se emplean tejas planas de tamaño normal se obtienen las fajas del aparejo de corona.

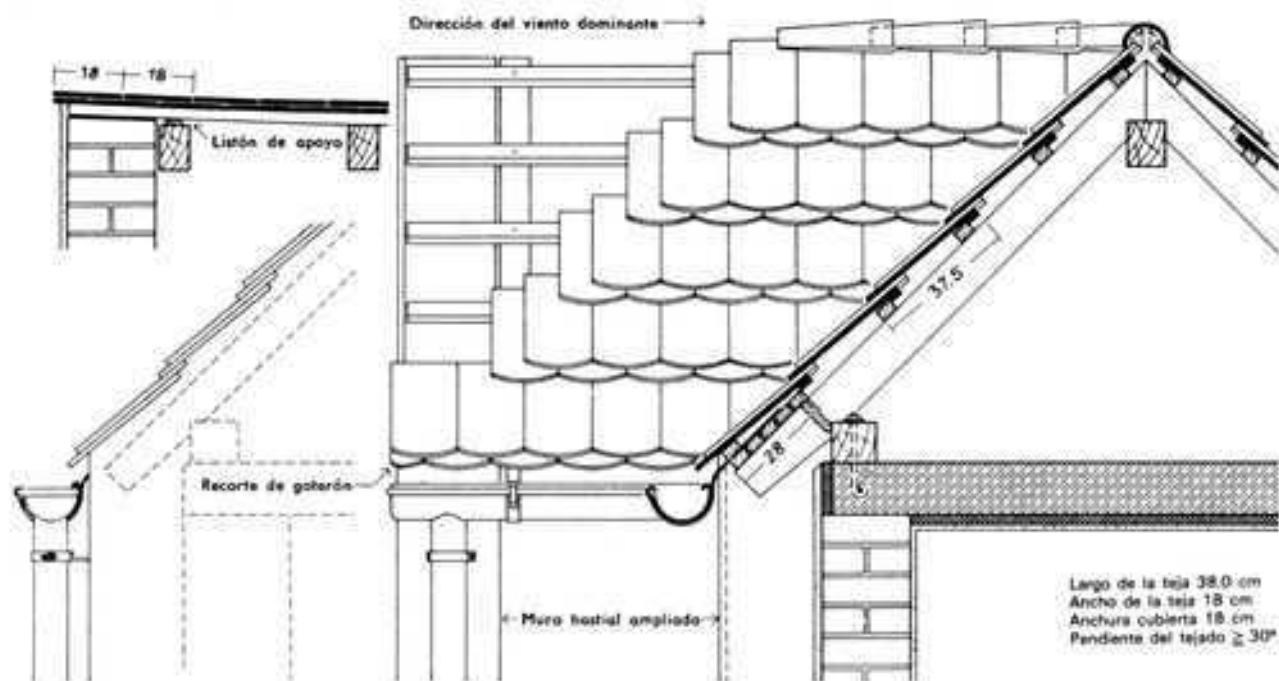
El recubrimiento de la hilada base por la tercera hilada debe ejecutarse con las siguientes dimensiones mínimas.

Pendiente del tejado Grado (°)	Recubrimiento longitudinal en mm para una anchura de	
	155 mm	180 mm
de 30 hasta 35	100	95
mayor de 35 hasta 40	100	80
mayor de 40 hasta 45	90	70
mayor de 45 hasta 50	80	60
mayor de 50 hasta 55	70	60
mayor de 55 hasta 60	60	60
mayor de 60	60	50

En Alemania del Sur el revestimiento se coloca completamente en seco por lo regular (sin interposición de materias impermeabilizantes o de obturación) o también con un rejuntado de mortero. El rejuntado puede sustituirse por una capa de cartón de techar, si la vertiente lleva entablado. Si el tejado se hace en seco y la localidad es propensa a tormentas o chubascos conviene afianzar las tejas con sujetadores.

TEJA PLANA ALEMANA - TEJADO DOBLE

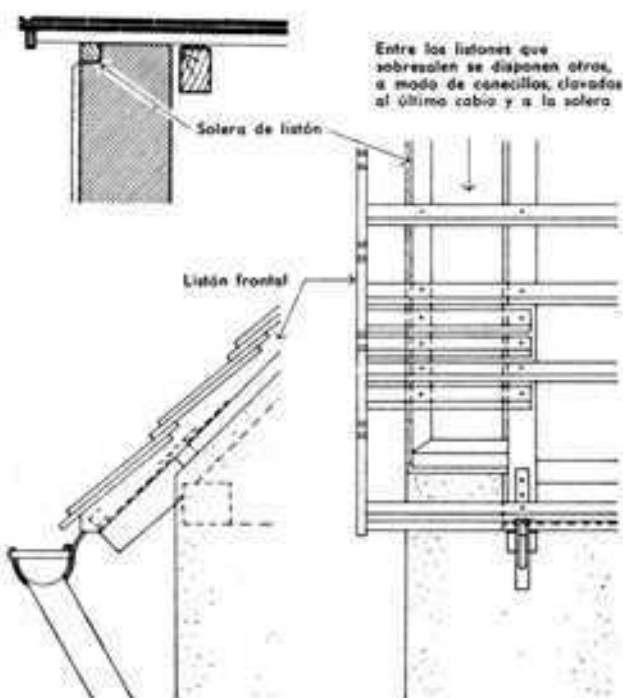




En Alemania del Norte suelen colocarse las tejas sobre lecho de mortero en las juntas inclinadas y horizontales. El formato estrecho siempre debe colocarse sobre lecho de mortero. En las juntas horizontales puede sustituirse el lecho de mortero por un rejuntamiento hecho posteriormente desde el interior. Para el mortero se emplea cal blanca o hidráulica en las proporciones corrientes. El mortero para el rejuntado interior debe ser algo más graso y puede ir adicionado con una pequeña cantidad de cemento. Los aleros, cumbreras y limas tesas, en todas las cubiertas hechas de teja plana alemana, vienen a hacerse de la misma manera, en lo esencial.

Estas cubiertas deben ejecutarse con ventanas en el hastial o, como mínimo, con tejas de ventilación.

VISERA CON LISTÓN FRONTAL DENTADO

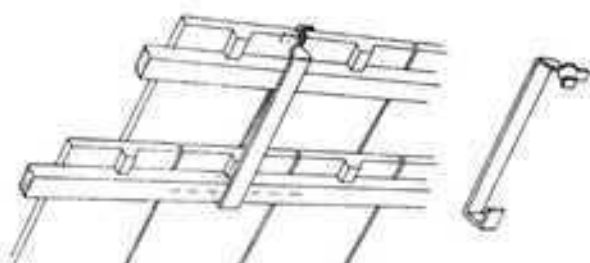


Tejado de corona

En el aparejo de corona son dos las hiladas de tejas planas que penden de cada listón y que sirven de hilada de asiento y de hilada de recubrimiento respectivamente. Se hallan colocadas a juntas encontradas, de manera que las tejas de la capa de recubrimiento cubran las juntas de la capa o hilada de asiento. El tejado de corona ofrece un fuerte relieve horizontal a causa del espesor de la doble capa de tejas en cada hilada. La separación de los listones del tejado de corona, cuando la inclinación de los cabios es de 45° es = longitud de la teja - 7 cm. En tejados de mayor o menor pendiente se disminuye o aumenta el recubrimiento como en los tejados dobles. Véase tabla anterior.

Como las tejas planas de la capa de recubrimiento que se apoyan por la parte de sus cabezas en el borde de la capa de asiento, no quedan nunca tan bien apoyadas como las de la capa de asiento, que lo hacen sobre el borde bien cortado del listón, el aparejo de corona no ofrece tanta seguridad contra los temporales como el aparejo doble. En comarcas donde los temporales son frecuentes es conveniente asegurar las tejas con sujetadores, o bien disponerlas con juntas de mortero. Para la repartición y colocación de los listones y para el modo de cubrir cumbreras, limas tesas, aleros y viseras puede aplicarse lo dicho para el tejado doble.

Fijación de las tejas planas alemanas con sujetadores contra vientos fuertes



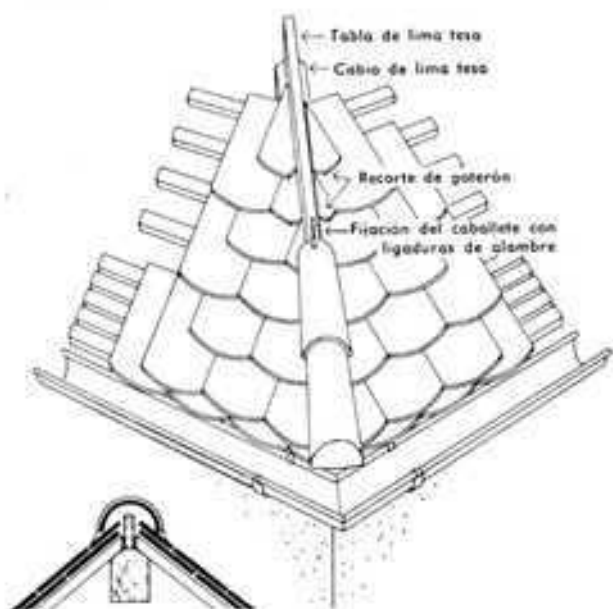
Alero

La faja de alero en la mayoría de los casos se construye según el aparejo llamado de "corona", o bien empleando tejas especiales para alero. La hilada más baja de tejas debe tener la misma pendiente que todas las demás del tejado; por consiguiente, irá apoyada sobre dos listones clavados uno sobre otro o sobre un tablón de alero del espesor conveniente.

Cumbrera

Las fajas de cumbrera se disponen según el aparejo de "corona" o bien con tejas de cierre de cumbrera. Antes de cubrir la cumbrera es conveniente medir su longitud y disponer sobre el piso del desván, a modo de comprobación, las tejas de caballete para la cumbrera con el mismo recubrimiento que deben tener una vez colocadas para ver si quedan como es debido. Entonces sobre cada teja se marca el recubrimiento, a fin de que una vez colocadas aparezcan todas con igual longitud. Puede colocarse en la cumbrera una tabla o listón de canto, que se denomina tabla de cumbrera, pero no es verdaderamente indispensable. La fijación de las tejas de caballete se hace con unos bordones o paletadas de mortero longitudinalmente a cada uno de los lados y otro transversal sobre la parte de la teja anterior que ha de ir recubierta; se ajustan todo lo posible sobre las tejas de las vertientes del tejado. El mortero empleado para la colocación se recorta bien con la paleta y después de separar el sobrante se alisa lo mejor posible. Hay que procurar que se logre un limpio y sólido acabado de la cumbrera por su parte inferior.

LIMA TEJA DE UNA CUBIERTA DOBLE DE TEJA PLANA



Limas tesas

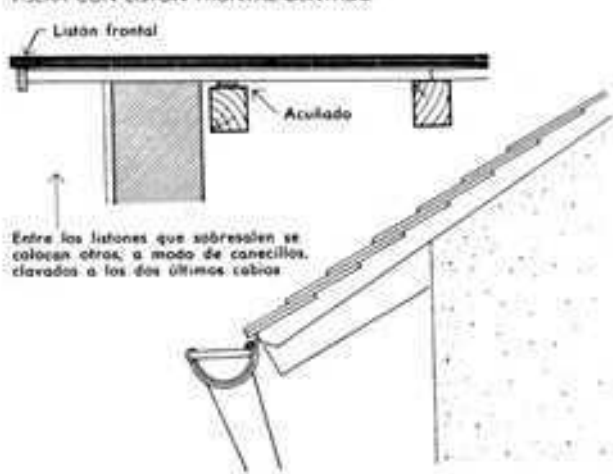
Una vez colocado el enlustrado, se clava sobre el cable de limas teja una tabla o listón de canto de unos 12 a 15 cm de anchura, que se denomina tabla de limas teja. Contra esa tabla se colocan las tejas planas cortadas en punta teniendo la precaución de recortar el borde inferior de manera que se deje una punta saliente que sirva de goterón, a fin de que el agua no sea conducida hacia el caballete de la limas teja, donde podría introducirse debajo del material de fijación. La operación de cubrir la limas con las tejas de caballete se hace simultáneamente con la colocación de las tejas de la vertiente. Las tejas de caballete de la limas teja, lo mismo que las de la cumbrera, deben presentarse antes de su colocación sobre una longitud igual que la de la limas y repartirse y marcarse exactamente. Al igual que los caballetes de la cumbrera, se colocan en hueco, sin macizar, es decir que el mortero de cal no debe ponerse en contacto con la tabla de limas teja. Cada teja de caballete se fija a dicha tabla con una ligadura de alambre galvanizado y un clavo. El revocado y juntas de mortero, igual que en los caballetes de cumbrera.

Visera del hastial

La construcción de la visera depende del tipo y clase del revestimiento del tejado, del saliente que se desee darle respecto del muro y de la construcción de los aleros.

Si el revestimiento de teja plana sólo debe sobresalir pocos centímetros tiene que dársele una ligera pendiente hacia adentro. Entonces se evita que el agua gotee sobre la fachada del muro.

VISERA CON LISTÓN FRONTAL DENTADO



Esta contrapendiente se obtiene levantando un poco los listones por medio de cuñas colocadas debajo de los mismos, que luego van apoyados sobre el muro. Si tales listones terminan a tope contra el muro del frontón sin cargar en él, entonces son las tejas planas que se apoyan sobre el muro las que han de colocarse con algo de pendiente hacia adentro, mediante el lecho de mortero que les sirve de asiento. Las tejas deben volar unos 3 cm hacia afuera del revoque o enlucido.

En ambos casos no hace falta colocar ningún listón endentado. El revoque o enlucido exterior del muro del frontón alcanza hasta la parte inferior de las tejas planas salientes. En las esquinas de los aleros, donde éstos se unen con la visera, se pueden disponer sea unas cartelas, sea unas prolongaciones del muro del frontón que hagan sus veces.

Cuando el revestimiento de cubierta se hace según el aparejo doble o el de corona, se emplea en la visera de frontón una media teja o una pieza de teja y media. Al cortar las medias tejas debe procurarse que queden con un pico que sirva de goterón, a fin de evitar que el agua vaya a parar al muro y que, por el contrario, vaya corriendo hacia el alero. Las piezas de teja y media de anchura no necesitan ser cortadas y ofrecen mayor seguridad en casos de lluvias fuertes.

Cuando la visera tiene que sobresalir de 10 a 30 cm se proyecta el enlustrado más allá de la obra de fábrica en la medida correspondiente, acucándolo por debajo para darle la contrapendiente antes mencionada. Por su frente o canto exterior se le clava un listón dentado que sirve de goterón. Las tejas planas deben sobresalir unos 3 cm de la línea de dicho listón.

Encuentros con paredes de las cubiertas de teja plana

En los encuentros de tejados con paredes hay que distinguir si la cubierta y la pared que deben unirse forman una sola estructura o bien si cada uno de ambos elementos puede hacer por separado su propio asiento o deformación.

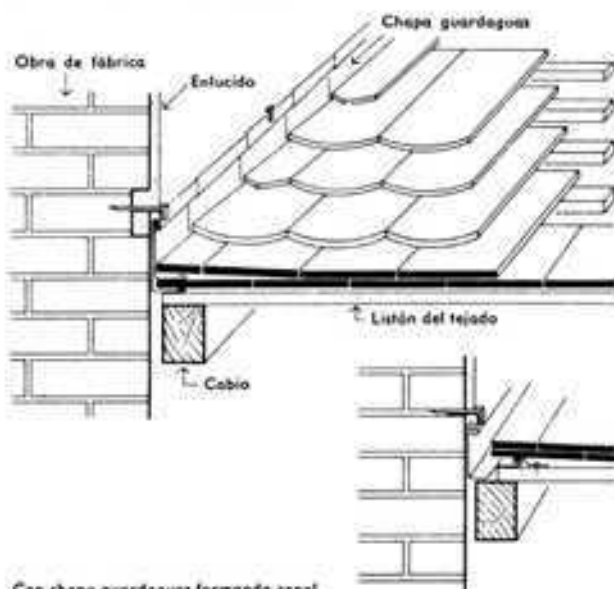
Si la unión es rígida, el revestimiento de la cubierta penetra en la obra de la pared, es decir, esta obra carga sobre las tejas que

UNIÓN RÍGIDA CON UNA PARED



están empotradas en ella. Al subir la pared hay que dejar ya, por consiguiente, las correspondientes ranuras. Los listones al llegar junto a la pared deben levantarse un poco mediante unas cuñas o tacos triangulares que tengan por lo menos 20 cm de longitud, a fin de que el agua sea alejada de la pared. Una vez colocadas las tejas se rejuntan sus uniones con la pared utilizando mortero de cal y pelote.

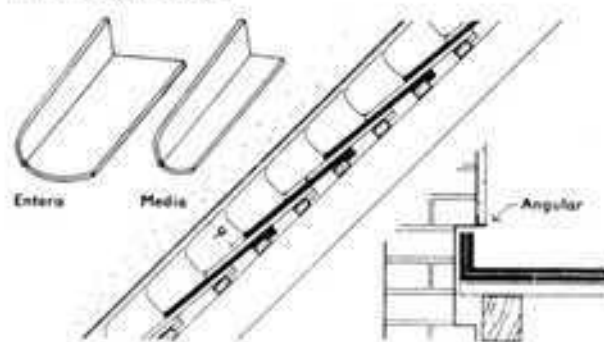
UNIÓN MOVIBLE CON UNA PARED



Con chapa guardaguas formando canal

Si el enlace ha de sufrir movimientos tiene que estar hecho de la manera siguiente: El revestimiento de chapa que va fijo en la parte de la cubierta sube a lo largo de la pared, por lo menos 10 cm por encima de la cara superior de las tejas, y su borde quedará cubierto por otra chapa guardaguas que tenga por lo menos 8 cm de anchura. La chapa guardaguas se dobla dos veces y se introduce, por uno de sus bordes, en una ranura o junta del muro, donde se fija con escarpias. Es necesario que el doblado de esta chapa junto al muro presente una inclinación que no favorezca la entrada del agua hacia el interior del muro. Puede también

TEJAS DE GUARDAGUAS



hacerse un encuentro móvil con tejas especiales de guardaguas o con una canal de chapa colocada más profundamente. En tal caso, el revestimiento de la cubierta se separa algo del muro, lo suficiente para que la canal pueda limpiarse cuando sea necesario, sin dificultad.

Encuentros con chimeneas

En las cubiertas de teja plana alemana pueden hacerse los encuentros rígidos o móviles.

El enlace rígido presupone que las paredes del saliente de la chimenea después de atravesar la cubierta se refuerzan en 1/4 o,

mejor, en 1/2 ladrillo en su espesor. Debajo de este saliente o voladizo, penetra el revestimiento del tejado, que junto a las citadas caras laterales se levanta un poco mediante unas cuñas colocadas debajo de los listones. La junta del encuentro debe cerrarse con mortero de cal y pelote. Si la chimenea no va revocada, el mortero de las citadas juntas se tinte o pinta del color del ladrillo. Las limas hoyas que se forman en los encuentros con chimeneas deben forrarse con chapa. Si una chimenea de anchura normal está situada inmediatamente detrás del caballete, basta una chapa para cubrir la lima hoyo, porque en este caso la cantidad de agua que allí se recoge es escasa. La chapa de esas limas hoyas debe tener una longitud suficiente para que el agua que salga por ellas no escurra demasiado cerca de la obra de la chimenea.

Cuando una chimenea de cierta anchura corra paralela al caballete y bastante más abajo del mismo, hay que disponer una canal de chapa con pendientes hacia ambos extremos, ya que las cantidades de agua que pueden correr son importantes y conviene alejarlas rápidamente de la chimenea.

El enlace o unión móvil no requiere que los costados de la chimenea formen voladizo o recubrimiento sobre la cubierta. Aunque antiestética, la chapa de defensa o protección debe levantarse por las cuatro caras de la chimenea y su borde debe quedar recubierto por medio de una chapa guardaguas todo alrededor. Si la chimenea está revocada, esa faja guardaguas, que se empotra en la obra por un borde, queda enrasada con el paramento de la obra. Si la cabeza saliente de la chimenea está sin revocar, se introduce en una ranura paralela a la superficie del tejado, que luego se rejuntará con un mástique asfáltico. La defensa de chapa quedará cubierta por los bordes de las tejas en las partes superior y laterales de la chimenea. Por la cara inferior de ésta, en cambio, se colocará encima de las tejas planas. Las medias tejas que lateralmente tengan que colocarse sobre las chapas de protección se recortarán en forma de goterón o serán sustituidas por tejas de ancho y medio.

Ventanas de buhardilla inclinadas según la pendiente

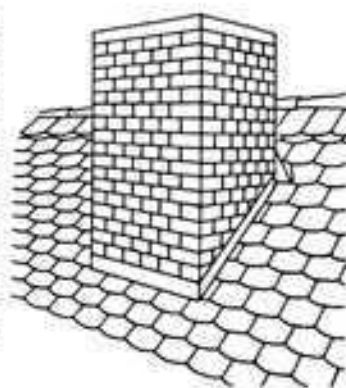
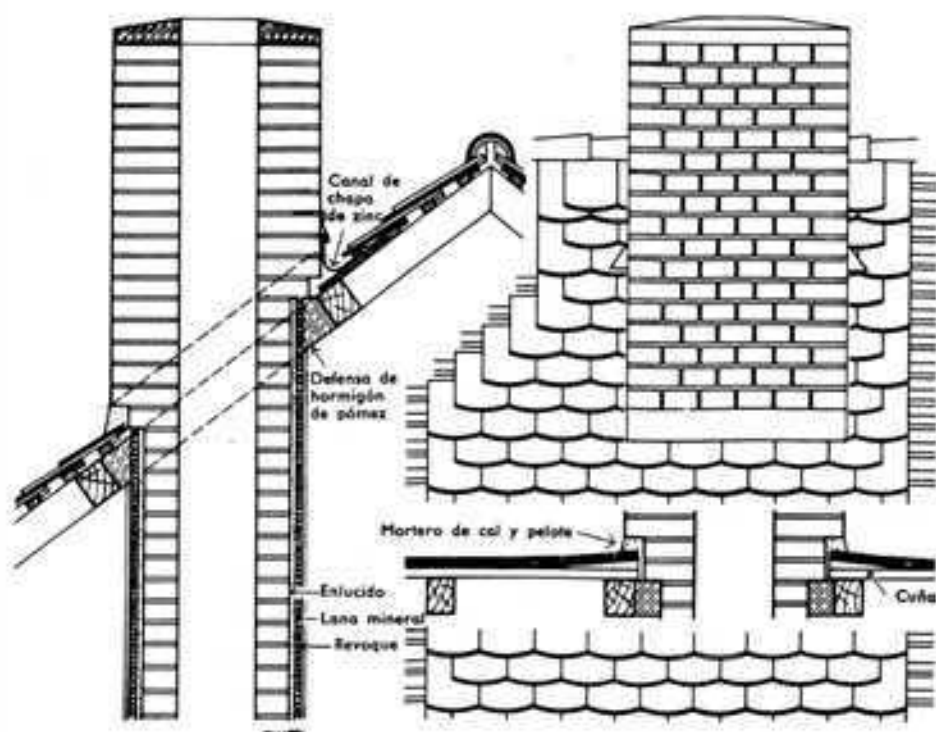
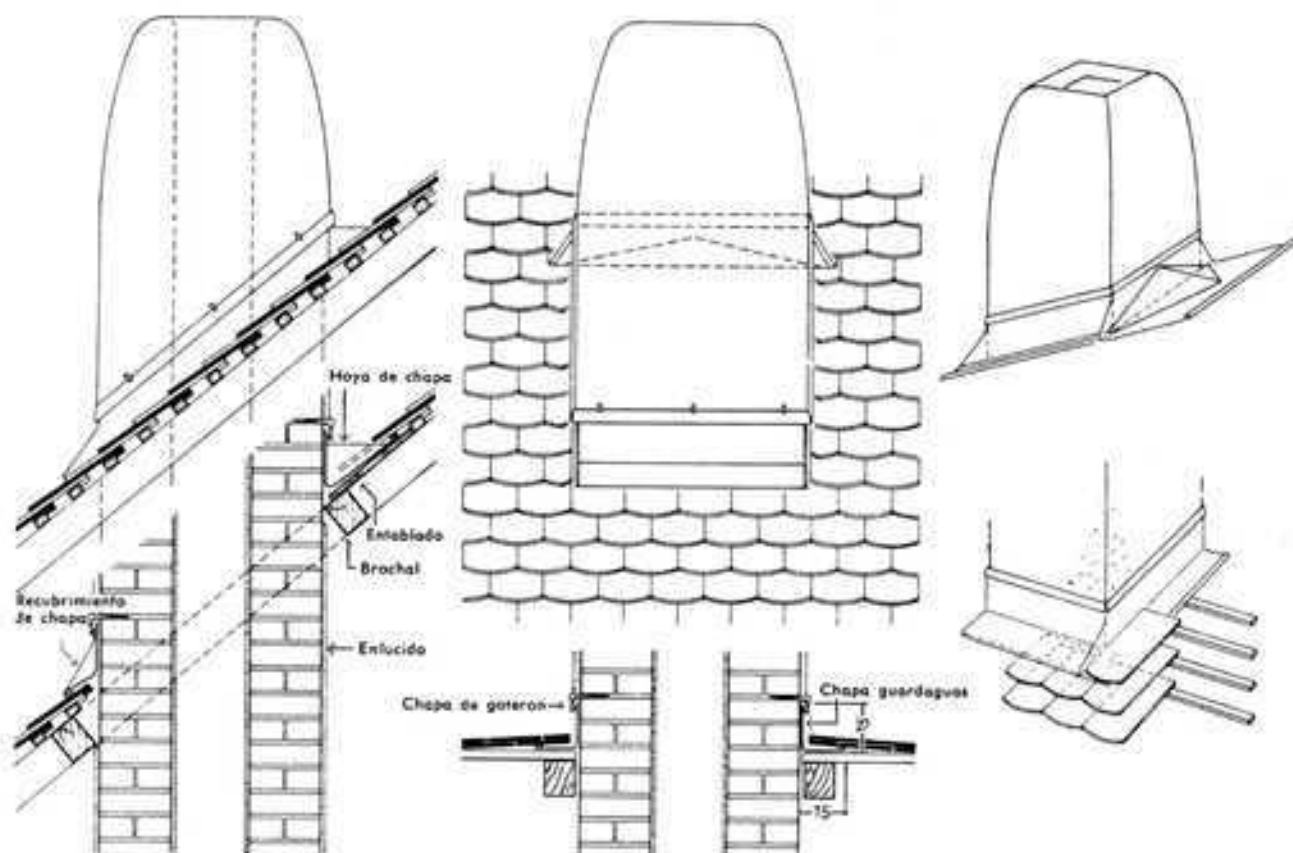
Llevar un marco acomodado al tipo de revestimiento de la cubierta y suficientemente ancho, con un pico o tope saliente para colgarlo del enlucido, o bien va fijado con clavos en él. El marco cuyo contorno en su parte lateral va colocado bajo las tejas tiene los bordes levantados hacia arriba formando un rebordeado. Las ventanas de buhardilla deben colocarse al hacer el revestimiento de la cubierta; lo mejor es hacerlo simultáneamente. En la parte baja de la ventana, las tejas se colocan debajo del marco o bastidor de la misma. Por los lados y por arriba van colocadas encima, pero de manera que queden algunos centímetros entre el canto de las tejas y el reborde levantado, con el fin de dejar libre paso al agua que baje por aquella parte del tejado.

Para que la ventana quede fija sobre la superficie de la cubierta, la varilla que le sirve de charnela va sujeta al enlucido mediante alambre galvanizado. Las medias tejas colocadas junto a la ventana deben tener el borde inferior recortado a modo de goterón o bien deben ser reemplazadas por tejas cuyo ancho sea 1 1/2 veces el normal. Las pequeñas mirillas verticales de cinc son de mejor efecto estético que las mencionadas ventanas tendidas según la pendiente, que rompen la continuidad de la cubierta.

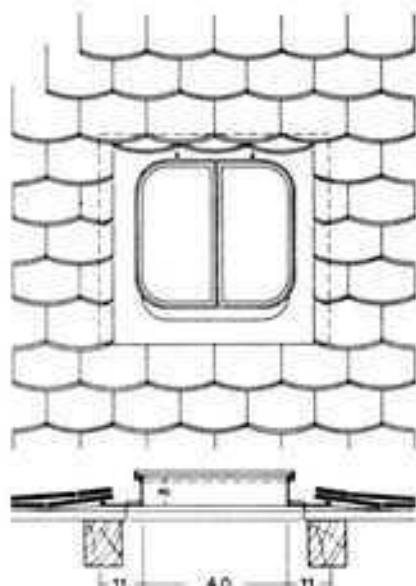
Ganchos de escalada

Son necesarios para poder llegar a todos los puntos de la cubierta en los trabajos de reparación. En los tejados se calcula la colocación de un gancho por cada 10 m². De la seguridad con que se fijen tales ganchos depende la vida de los operarios que los utilizan; debe, por consiguiente, hacerse con el máximo cuidado. Su extremo superior doblado dos veces se cuelga de los listones y además se fija con tornillos; para mayor seguridad, delante del listón de soporte se coloca otro que se fija con clavos.

Pueden también sustituirse ambos listones por una tabla adecuada. Para que las tejas que soportan el peso de los ganchos no se rompan, se calzan con unas cuñas de madera. También se fijan los mencionados ganchos de escalada sobre los cobios o en los costados de los mismos.



El espesor de las paredes laterales, en el tramo exterior (según la norma DIN 18160), y en el interior si es un ático no accesible, deberá ser ≥ 24 cm de fábrica de ladrillo o tener un aislamiento térmico equivalente.



Ventana de buharda, según DIN 1110, tamaño 2

Tablones de circulación

Se colocan en aquellas cubiertas por las que hay que circular con frecuencia, por ejemplo para la limpieza de claraboyas y linternas.

Enrejados paranieves

Los reglamentos y prescripciones acerca de la disposición de los enrejados de retención de la nieve son diferentes según los países. Son indispensables en todos aquellos sitios en que hay peligro para los transeúntes por causa de la posible caída de masas de nieve o hielo desde el tejado a la calle cuando se trata de casas de dos o más pisos sin jardín delante y también por la parte de los patios interiores. Sobre los portales de acceso conviene prever siempre enrejados paranieves. En lugar de esos enrejados de uso corriente pueden también emplearse tablas o tablones que se suelen instalar preferentemente sobre el tejado.

Limas hoyas en las cubiertas de teja plana alemana

Para determinar la longitud de los cabios de lima hoyo, de su ángulo de pendiente y de su pendiente verdadera se suelen usar en los métodos de artesanía de los operarios tejadores los recursos constructivos que a continuación se especifican. Según las reglas que aplican los tejadores, las limas hoyas, que pueden llevar fuertes cantidades de agua durante las lluvias, si se tienen que hacer con teja blanda muy absorbente no deben tener pendientes inferiores a 26°; si se hacen con tejas muy duras y poco absorbentes puede descenderse hasta 22°.

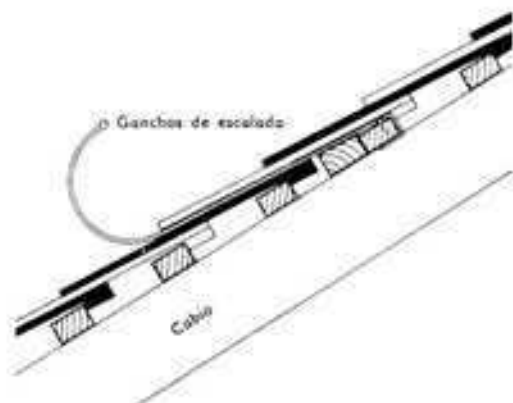
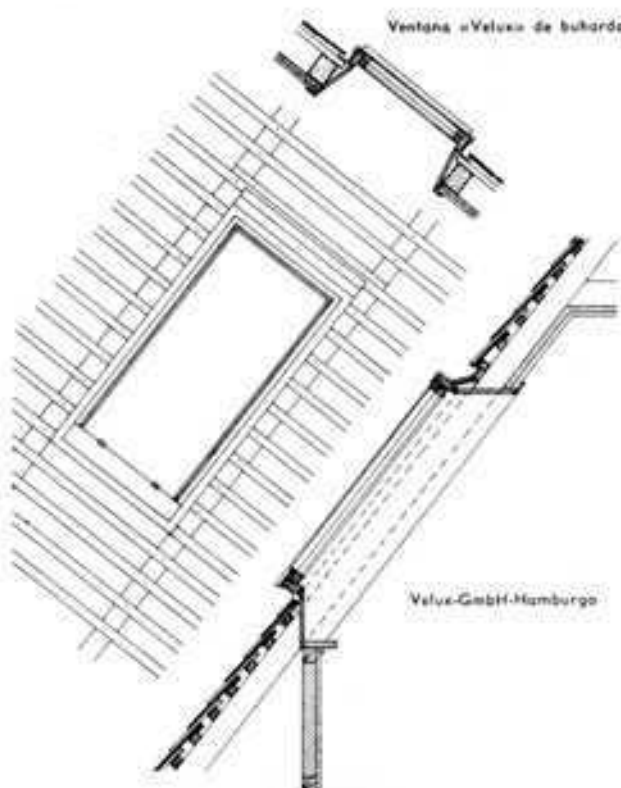
Respecto a la forma, hay que distinguir:

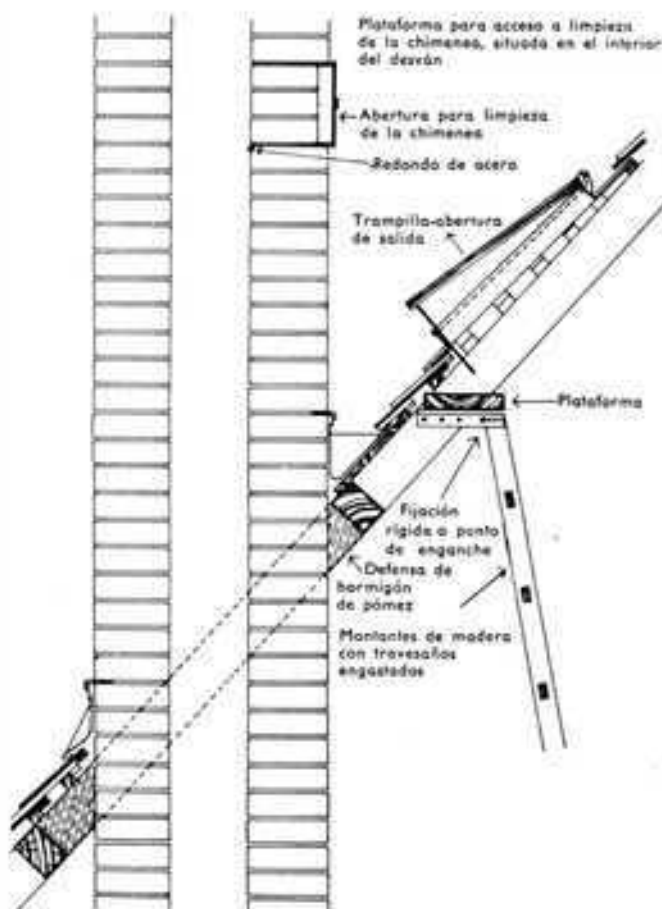
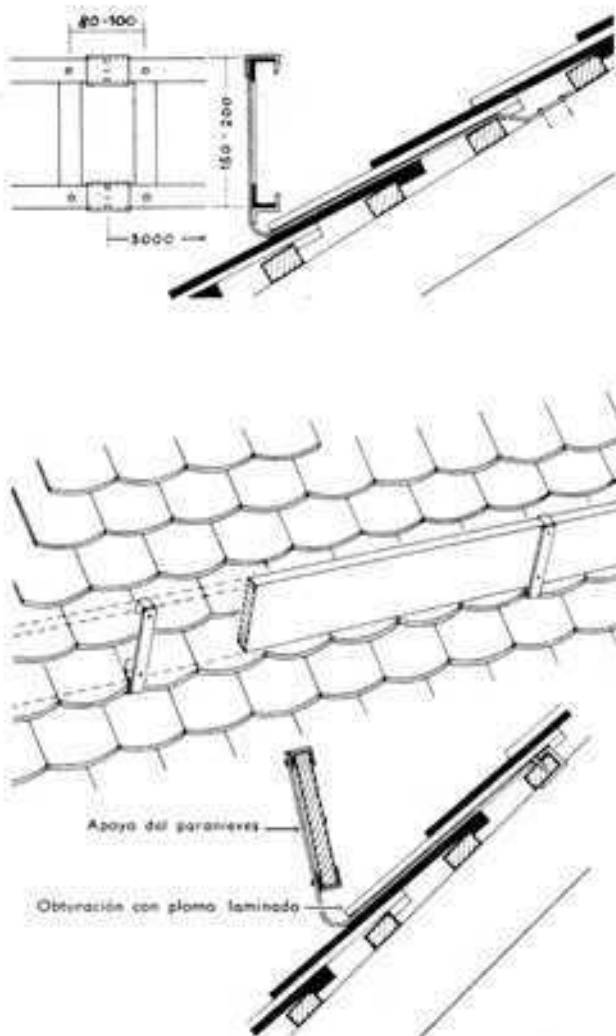
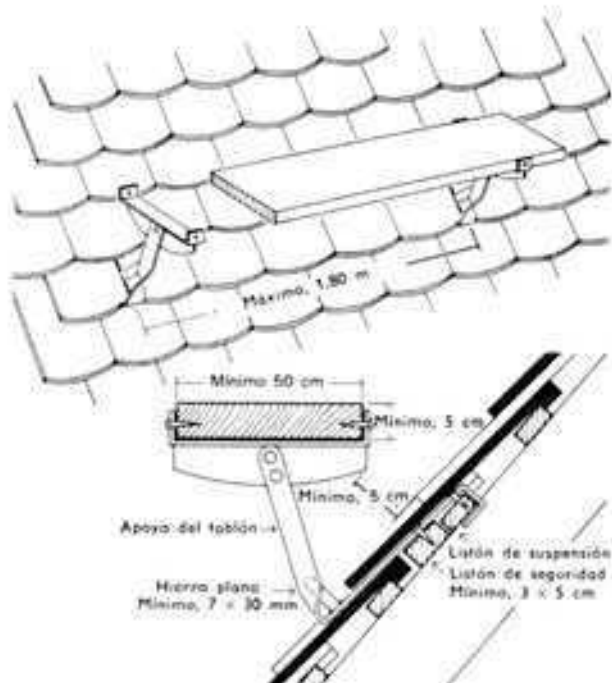
- limas hoyas de pendientes simétricas cuando las superficies del tejado que las forman tienen igual inclinación, y
- limas hoyas de pendientes asimétricas si las mencionadas superficies tienen inclinaciones diferentes.

Solamente en el caso de revestimientos hechos con teja plana alemana, es posible formar las limas hoyas sin el auxilio de tejas de forma especial o de hoyas o canales de chapa.

En los tejados de teja plana hay que distinguir:

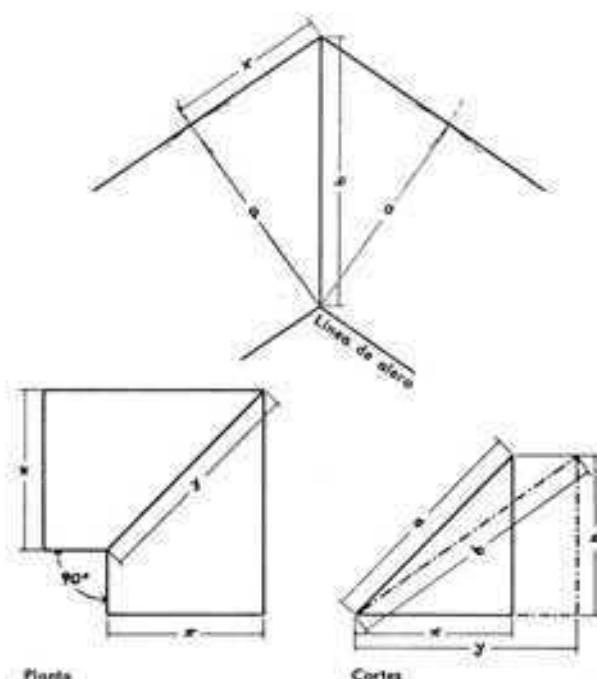
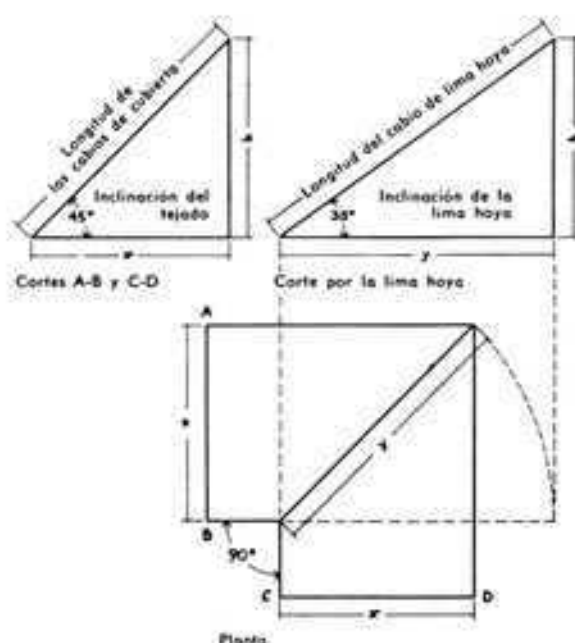
- limas hoyas aparejadas,
- limas hoyas colocadas debajo del revestimiento
- y limas hoyas con piezas adoveladas.





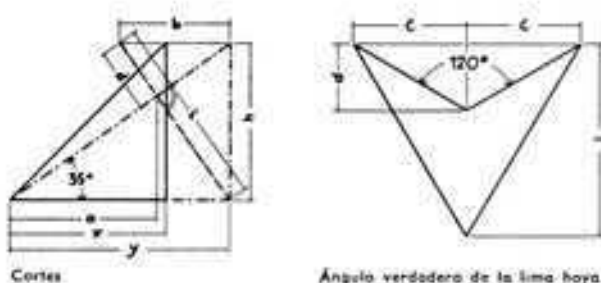
Espesor de las paredes laterales de la chimenea para tramo exterior y zona del deván no habitable según DIN 18160, ≥ 24 cm de fábrica de ladrillo o equivalente valor en aislamiento térmico de otro material

Las limas hoyas aparejadas, por su gran trabazón y estabilidad, así como por su atractivo aspecto, son preferibles a las de los otros dos tipos. Todas las limas hoyas de los tejados hechos con teja plana alemana se realizan según el aparejo del tejado doble. Deben tener cuando menos una anchura de dos tejas normales. El comienzo de la lima hoya depende de su anchura. El tablón de la lima empieza por encima de la intersección de las hiladas de recubrimiento de las fajas de alero; se fija exactamente encima de la línea media del cabio de lima hoya. Su anchura depende del valor del ángulo verdadero de la lima hoya. Para pendientes de 45° en el tejado (ángulo de lima hoya = 120°) es suficiente un tablón de 25 cm de anchura. En tejados de mayor pendiente hay que colocar tableros proporcionalmente más anchos o bien disponer varios tableros en vez de uno. Las limas hoyas, en la parte del alero, deben ir recubiertas de manera que enlacen inmediatamente con el aparejo regular del tejado. En las hiladas de la hoya hay que distinguir entre hiladas de base e hiladas de recubrimiento. Las hiladas de recubrimiento de las vertientes del tejado continúan por la hoya. Las hiladas de base quedan en posición intermedia entre las de recubrimiento y siguen a derecha e izquierda por debajo de las hiladas de recubrimiento de las vertientes del tejado. Como principio, todas las juntas longitudinales de las tejas de la lima hoya, excepción hecha de las llamadas "puntiagudas" (tejas recortadas), corren paralelamente al cabio de la lima.



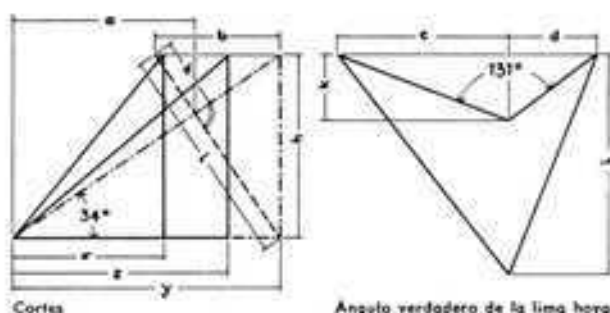
DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO VERDADERO
DE UNA LIMA HOYA SIMÉTRICA

Pendiente del tejado 45°
Pendiente de la lima hoya 35°



DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO VERDADERO
DE UNA LIMA HOYA ASIMÉTRICA

Pendientes del tejado 40° y 50°
Pendiente de la lima hoya 34°



Tejas cóncavas (tejas en S)

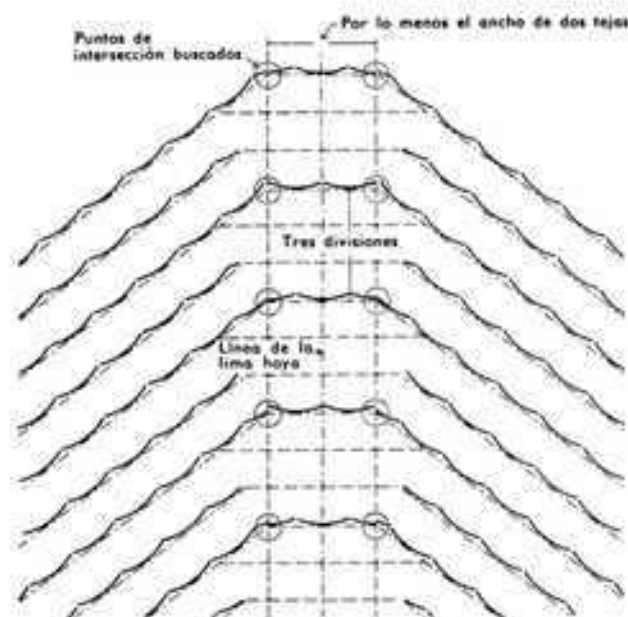
Se encuentran en el mercado con diferentes tamaños. La teja cóncava normal según DIN 456, tiene 36 x 23 cm.

Se distinguen en tejas de mano derecha, de mano izquierda y de doble encaje. Estas últimas se emplean en las viseras o aleros de frontón o como enlace entre tejas de mano derecha y tejas de mano izquierda.

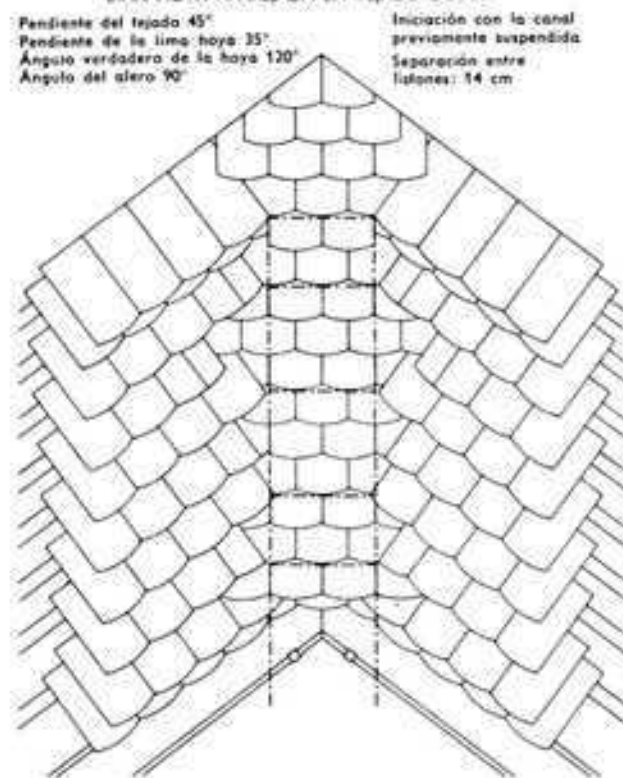
Los chaflanes, hacia abajo el de la izquierda y hacia arriba el de la derecha, en las tejas cóncavas forman lo que se denomina "corte" de las mismas. Pueden ser efectuados en forma de "cor-

te corto" (de 30 x 35 mm) o en forma de "corte largo" (de 40 x 70 mm). Al cubrir con tejas cóncavas es importante tener cuidado en el apoyo de los recubrimientos. La longitud de los cabios tiene que ser múltiplo de la distancia entre listones. El listón inferior, junto al alero, debe colocarse de manera que las tejas conduzcan bien el agua a la canal colectora. Los listones más altos inmediatos a la cumbre deben colocarse de manera que las tejas del caballete puedan cubrir bien todavía la hilada superior de tejas en ambas vertientes del tejado. La distancia entre el canto superior del listón del alero y el canto superior del

REPARTO DE LAS HILADAS DE UNA LIMA HOYA SIMÉTRICA EN TEJADO DOBLE



LIMA HOYA APAREJADA EN TEJADO DOBLE

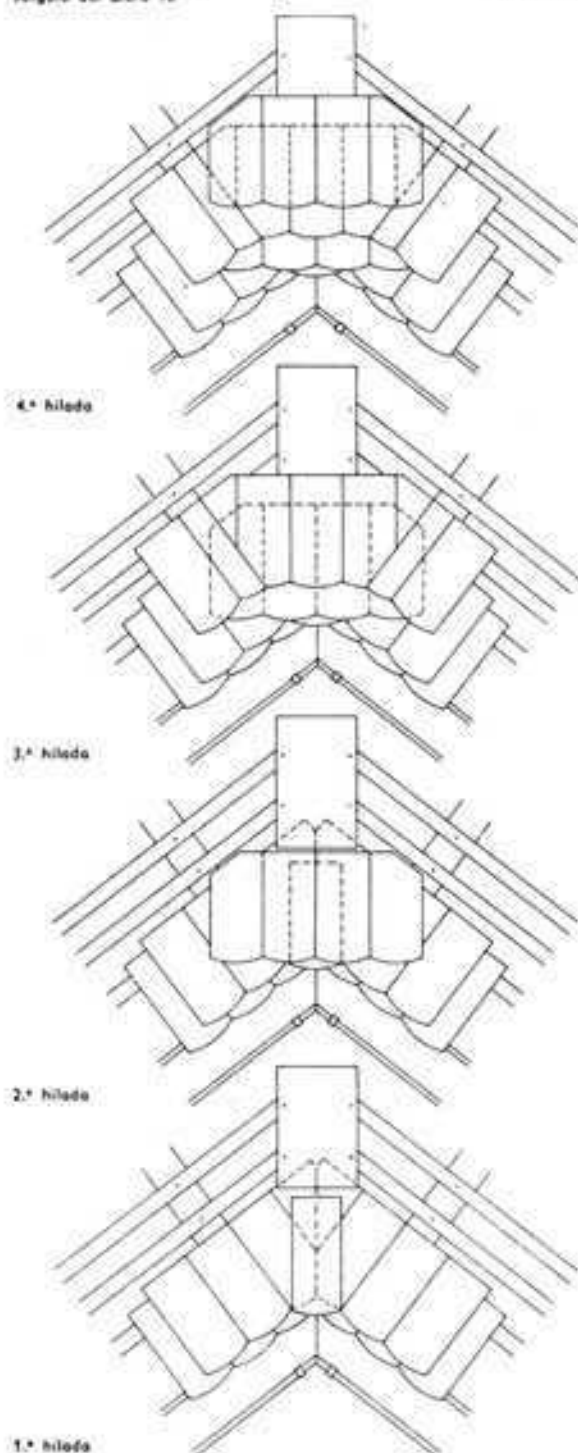


listón de cumbrera se divide entonces con uniformidad en partes iguales a la separación entre listones. Si esta distribución no queda exacta se aumentará o disminuirá la distancia entre listones algunos milímetros. El trazado de las distancias definitivas de los listones y de las líneas auxiliares para que las juntas sean exactamente perpendiculares a la línea de alero se hace igual que para la teja plana alemana. Tres filas de tejas, una junto a otra, forman una "faja"; con el ancho de teja de 23 cm se obtienen fajas de 59 a 63 cm de anchura. Variando el recubrimiento dentro de estos límites de anchura de las fajas se consigue que la visera del frontón termine con tejas enteras.

INICIACIÓN DE UNA LIMA HOYA SIMÉTRICA EN TEJADO DOBLE

Pendiente del tejado 45°
Pendiente de la lima hoya 35°
Ángulo verdadero de la hoya 120°
Ángulo del alero 90°

Con la canal previamente suspendida
Separación entre listones: 14 cm
Verticales del tejado abatidos sobre un plano



Los encuentros con los salientes como chimeneas, ventanas de buharda, etc., deben hacerse, en cuanto sea posible, con tejas enteras. Con un reparto acertado se podrá conseguir esto en la mayoría de los casos.

Las tejas cóncavas pueden colocarse sobre lechos transversales de mortero y rejuntados longitudinales, o bien, en seco, con rejuntado posterior realizado desde dentro. En vez de dicho rejuntado pueden emplearse también tiras de cartón, o burletes de paja, colocados debajo de las tejas o entre ellas. En el borde del alero, en la cumbrera y en las uniones donde resulta imposible el rejuntado interior, las tejas se colocarán sobre lecho de

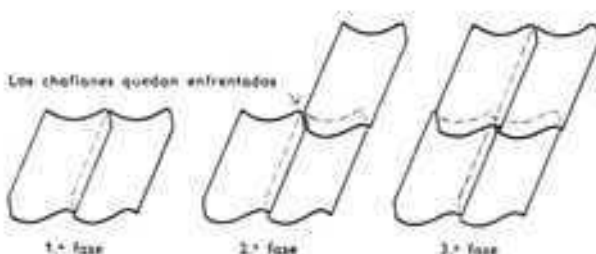
mortero de cal. Si no se colocan con mortero, es aconsejable, sobre todo en comarcas donde son frecuentes las lluvias y las tormentas, sujetar una de cada dos o tres tejas con ganchos de retención. Para cubrir limas, caballetes y aleros y en toda clase de encuentros, puede aplicarse generalmente cuanto se ha dicho en relación con la teja plana. En la visera del frontón se colocan tejas de doble reborde. En los aleros, hay que cerrar con mortero los huecos que quedan bajo las tejas, para evitar que puedan entrar pájaros y otros animales.

En las cubiertas de teja cóncava hay que distinguir el revestimiento con chaflanes adosados y el revestimiento de chaflanes superpuestos.

Revestimiento con chaflanes adosados

Para este revestimiento se emplean tejas cóncavas de corte largo que en las esquinas superponen tres gruesos. La distancia entre listones debe ser en este revestimiento igual a la longitud de la teja menos 7 cm. El recubrimiento lateral lo da la forma de la teja cóncava. El aparejo de chaflanes adosados sólo debe emplearse para longitudes de cabo inferiores a 6 m y para inclinaciones de tejados no inferiores a 40°. Este tipo de revestimiento tiene varios inconvenientes: la junta en que se unen los "cortes" resulta con recubrimiento sencillo y tiene que ser rejuntada indispensablemente con mortero. Las juntas de los "cortes" representan, por lo tanto, puntos débiles en el revestimiento. Además, si se hace el rejuntado por el interior existe el inconveniente de que, en las juntas de las cabezas, el mortero sólo puede ser aplicado de modo superficial, porque las tejas cóncavas quedan enrasadas según una misma superficie.

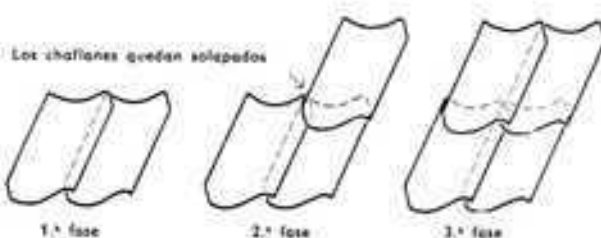
APAREJO DE CHAFLANES ADOSADOS



Revestimiento con chaflanes superpuestos

Para él se emplean las tejas cóncavas cortas. En las esquinas, las tejas se superponen según cuatro espesores. Las distancias entre los listones, para 35-40° de inclinación del tejado, deben ser iguales al largo de las tejas menos 10 cm. El aparejo de cha-

APAREJO DE CHAFLANES SUPERPUESTOS



Pendiente del tejado Grado (°)	Recubrimiento en mm	
	al tener aparejo de chaflanes superpuestos	al tener aparejo chaflanes adosados
de 35 a 50	100	no admisible
mayor de 40 a 45	90	70
mayor de 45	80	70

flanes superpuestos debe ser preferido en el caso en que el largo de los cabios sea superior a 6 m. Contra lo que ocurre en el aparejo con chaflanes adosados, el aparejo de chaflanes superpuestos ofrece la ventaja de un recubrimiento triple de las juntas en su punto crítico de unión con los "cortes". Hay además la gran ventaja de que en este revestimiento las tejas no quedan enrasadas como en el revestimiento de chaflanes adosados, sino que queda un hueco para el rejuntado transversal, al menos de un espesor de teja, en el que puede ponerse mortero en forma de capa. Gracias a la existencia de tales huecos, este tipo de revestimiento de cubierta tiene mayor abundancia de líneas horizontales sombreadas, que lo decoran. Aun cuando el revestimiento de "chaflanes superpuestos" exige una teja más por m² que el de "chaflanes adosados", resulta preferible, a pesar de ello, desde el punto de vista económico por ser más rápido el trabajo de colocación.

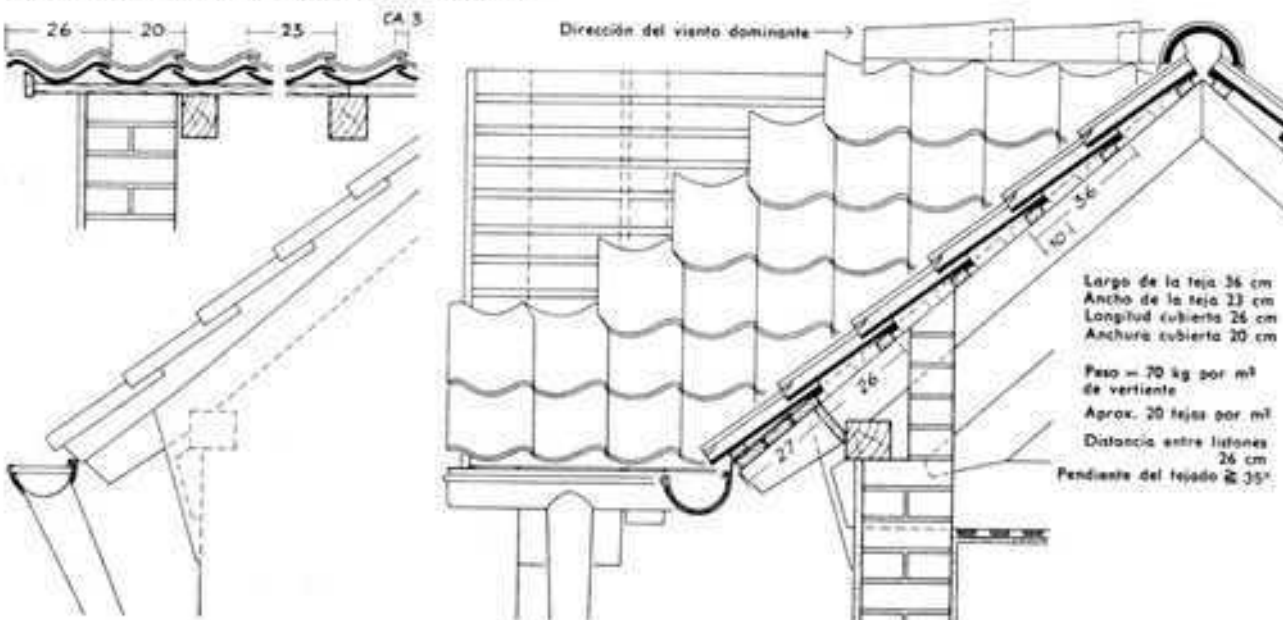
Encuentros de paredes y cubiertas de teja cóncava

Para los encuentros con paredes, chimeneas, ventanas de buhardilla, ganchos de escalada y paranieves se aplican en general las mismas reglas que en las cubiertas de teja plana alemana. En los encuentros con paredes y chimeneas se prefieren los enlaces móviles con chapa guardaguas porque con las tejas cóncavas las juntas siempre quedan más anchas.

Limas hoyas en las cubiertas de teja cóncava

Para determinar la longitud de los cabios de lima hoya, de la pendiente de esta última y del ángulo verdadero de la misma se

TEJA CÓNCAVA APAREJADA CON CHAFLANES SUPERPUESTOS



utilizan los mismos trazados que ya se explicaron al tratar de las cubiertas de teja plana. Las limas hoyas de las cubiertas de teja cóncava por lo regular se cubren con tejas de forma especial o con planchas.

Las tejas especiales para limas hoyas pueden descansar sea sobre el borde superior del enlustrado, sea sobre el borde superior de los cabios. En este último caso se clavan lateralmente en los cabios unos trozos cortos de listón y sobre éstos unas tablas de lima hoyo de unos 15 cm de anchura que rebasan por encima las tejas especiales, lo suficiente para que los listones del tejado puedan ser clavados con seguridad sobre la citada tabla.

Las tejas especiales de lima hoyo se fijan con dos clavos galvanizados. El recubrimiento depende de la forma que tengan las tejas especiales. Al cubrir las limas hoyas hay que tener cuidado en observar que el agua de cada hilada de tejas gotee dentro de la lima hoyo y que las tejas que hayan tenido que ser recortadas vengán a apoyarse correctamente en el borde.

En el caso de limas hoyas asimétricas y al emplear tejas de forma especial existe el peligro de que el agua que escurre por las vertientes de mayor pendiente hacia las limas se abra camino hacia el interior. Este peligro, desde luego, puede conjurarse mediante hoyas de plancha bien construidas.

Las limas hoyas de plancha, lo mismo que las tejas de forma especial, exigen un tablero o encofrado construido en forma que quede enrasado con el cabio de la lima. Las tablas de ese encofrado tienen que ser ajustadas individualmente en los tramos entre los cabios. La canal de plancha tiene que ser suficientemente ancha para que nunca el agua que por ella corre pueda rebosar hacia el interior. Las limas hoyas cojas o sea de vertientes desiguales, cuando se hacen de plancha deben cubrir mayor anchura en la vertiente menos inclinada, o curvarlas adecuadamente hacia arriba a fin de que el agua que salpica al descender por la vertiente más inclinada quede retenida. Deberían evitarse las limas hoyas al descubierto cuando están hechas de plancha y el tejado es de teja cóncava, porque todas las tejas de forma especial, como también por ejemplo las tejas de reborde, las especiales para tejados de muy poca pendiente, etcétera, no pueden cortarse con limpieza y una lima hoyo de esta clase daría siempre una impresión de rotura y fealdad. Por esta razón merece la preferencia la lima hoyo dividida y oculta. En esta clase de limas, la hoyo queda partida en dos por una tabla puesta de canto en su línea media y fijada en el cabio correspondiente. A una

distancia de unos 8 cm se clavan paralelamente a dicha tabla y sobre el encofrado los listones longitudinales ajustados a cada uno de los tramos entre cabios. Sobre éstos terminan a tope los listones de la cubierta correspondientes a la vertiente. Las canales de lima hoyo así formadas se forran de chapa que recubre después, por los costados, unos 25 cm de anchura del encofrado. Las planchas de la lima hoyo se colocan rehundidas entre los listones longitudinales y la tablilla colocada de canto, levantándolas junto a ésta por ambos lados de manera que el encofrado queda libre y aireado. Al cubrir con tejas la cubierta, las de más abajo deben recortarse de manera que entre ellas y la tabla quede un hueco de unos 2 cm por el que pueda escurrir el agua sin obstáculo, y sin que por ello la lima hoyo quede obstruida en modo alguno. Finalmente, las tejas de recubrimiento que, en la mayor parte de los casos, son tejas de caballete, se sujetan con dos puntas sobre la tabla colocada de canto.

Las limas hoyas partidas y cubiertas tienen las siguientes ventajas:

están perfectamente impermeabilizadas por las canales de chapa,

cada vertiente tiene su propia canal,

el agua de las vertientes del tejado no puede salpicar hacia afuera de la lima hoyo y las canales de chapa quedan ocultas por las tejas de recubrimiento.

El recubrimiento de las limas hoyas de las cubiertas de teja cóncava no debe hacerse con tejas planas alemanas ni con pizarra. Véase página (541)...

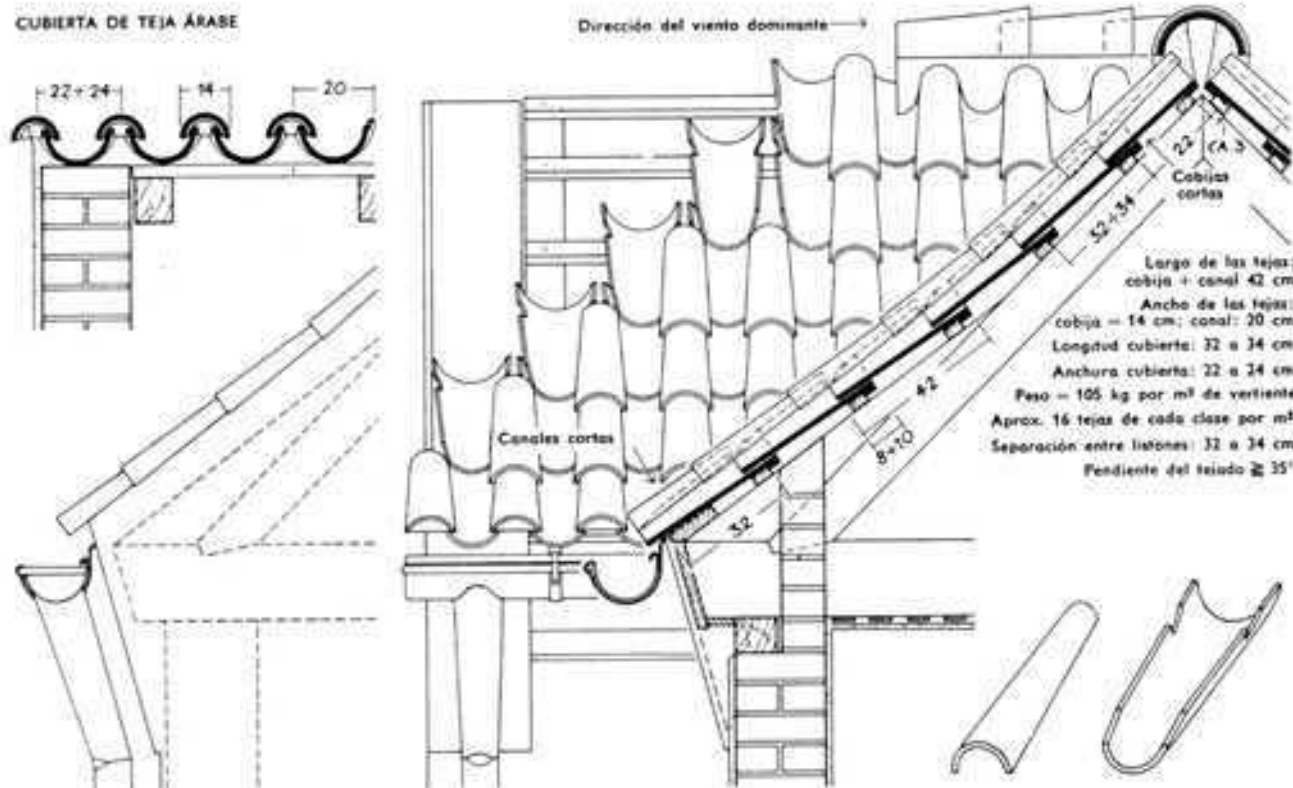
Revestimiento de teja árabe

El revestimiento de teja árabe es un tipo de tejado muy antiguo. Se aplica en nuestros días sólo en el campo de la conservación de monumentos, porque el tiempo que exige y el gasto de materiales son demasiado grandes. Otro inconveniente es el gran peso del revestimiento de la cubierta que requiere una estructura de madera más reforzada en proporción.

El revestimiento de teja árabe puede considerarse como la más bella de las formas de revestir cubiertas, por la perfección de sus líneas y sus contrastes de luz y sombra. Prácticamente domina el aspecto de toda la construcción.

Las tejas árabes son de forma cónica con bases semicirculares. Las tejas canales son más anchas por la cabeza que por el pie, mientras que con las tejas cobijas pasa lo contrario. La teja canal

CUBIERTA DE TEJA ÁRABE



puede llevar, cerca de su cabeza, dos entalladuras para retener las cobijas. En tal caso, la cabeza de las cobijas es cerrada. Este revestimiento suele apoyarse sobre listones. Las tejas canales se sujetan entonces en los listones de manera que cada cobija situada entre dos canales contiguos pueda cubrir el espacio intermedio que las separa. La teja cobija sobresale de las tejas canales por su línea inferior algunos centímetros; por consiguiente, si en el alero se desea una línea recta para su borde, habrá que colocar cobijas más cortas, así como en la parte de la cumbre habrá que colocar canales de menor longitud.

La colocación de estas tejas se hace sobre mortero (a torta y lomo), si la vertiente lleva entablado, o bien en seco clavándolas sobre los listones (a tejavana). Un tipo intermedio es el tejado rejuntado, en el cual las tejas canales en su parte alta se asientan sobre una faja transversal de mortero. El extremo inferior se embadurna con mortero para su unión a la canal inferior. Cuando se ha colocado una faja (de tres tejas canales, una al lado de la otra) desde el alero hasta la cumbre pueden colocarse las tejas cobijas sobre las canales. Se las traba con dos tiras de mortero. Las cobijas se rellenan con mortero por sus cabezas y se oprimen contra las tejas canales de abajo, para que encajen en las entalladuras de las tejas canales.

Las partes aparentes se rejuntan desde el interior por debajo. Los huecos que en los aleros se producen se rellenan formando una especie de cornisa. Si las cornisas son de madera se aplicará al alero una tabla de madera recortada según la forma de las tejas canales. La distancia entre listones debe ser de la longitud de las tejas canales, disminuida en 8 ó 10 cm.

Tejas cóncavas de encaje

En la cubierta de tejas cóncavas de encaje, la seguridad contra la infiltración de la lluvia se logra por medio de los encajes que lleva cada teja en los lados y en la cabeza. Estos encajes pueden ser sencillos o dobles. Una construcción bien concebida es la de las tejas "Ludowici". Garantiza contra las entradas de agua hasta pendientes de 30°. Contra lo que ocurre con otros tipos de revestimiento, el peso de las tejas es reducido, pues, como promedio, entran unas 15 tejas por m². Inclinação reducida y poco peso se traducen naturalmente en un menor gasto de madera en el entramado de la cubierta. El perfil de las tejas de encaje evita que aparezcan con superficie demasiado grande, acentúa las líneas verticales y disminuye, al mismo tiempo, el peligro de

roturas. Toda el agua recogida es conducida por la marcada concavidad de las tejas, por el camino más corto hasta el borde del alero. El agua que penetra en las juntas es evacuada rápida y seguramente por las acanaladuras de los encajes.

Cuando esas ranuras son suficientemente profundas basta en la mayoría de los casos un rejuntado con mortero. Como las tejas de encaje permiten una rápida colocación, este tipo de revestimiento puede calificarse de muy económico.

Las tejas de reborde que se encuentran en el mercado permiten el aparejo tanto por juntas seguidas como por juntas alternadas. Cuando se adopta este último aparejo, el reborde lateral de una teja viene a caer sobre el centro o línea media de la que está debajo.

Cuando se apareja a juntas continuas, en cambio, los bordes laterales con sus encajes vienen a caer en prolongación unos de otros y el agua corre por las acanaladuras sin ser conducida hacia la concavidad de la teja inferior. Por esta razón, y desde el punto de vista de la seguridad contra la lluvia, resulta preferible el aparejo a juntas alternadas, aunque tiene el inconveniente de exigir la colocación de medias tejas en la visera del frontón. La distancia entre listones depende del tamaño de las tejas empleadas. El recubrimiento tanto por los lados como por los extremos vienen determinados por los encajes.

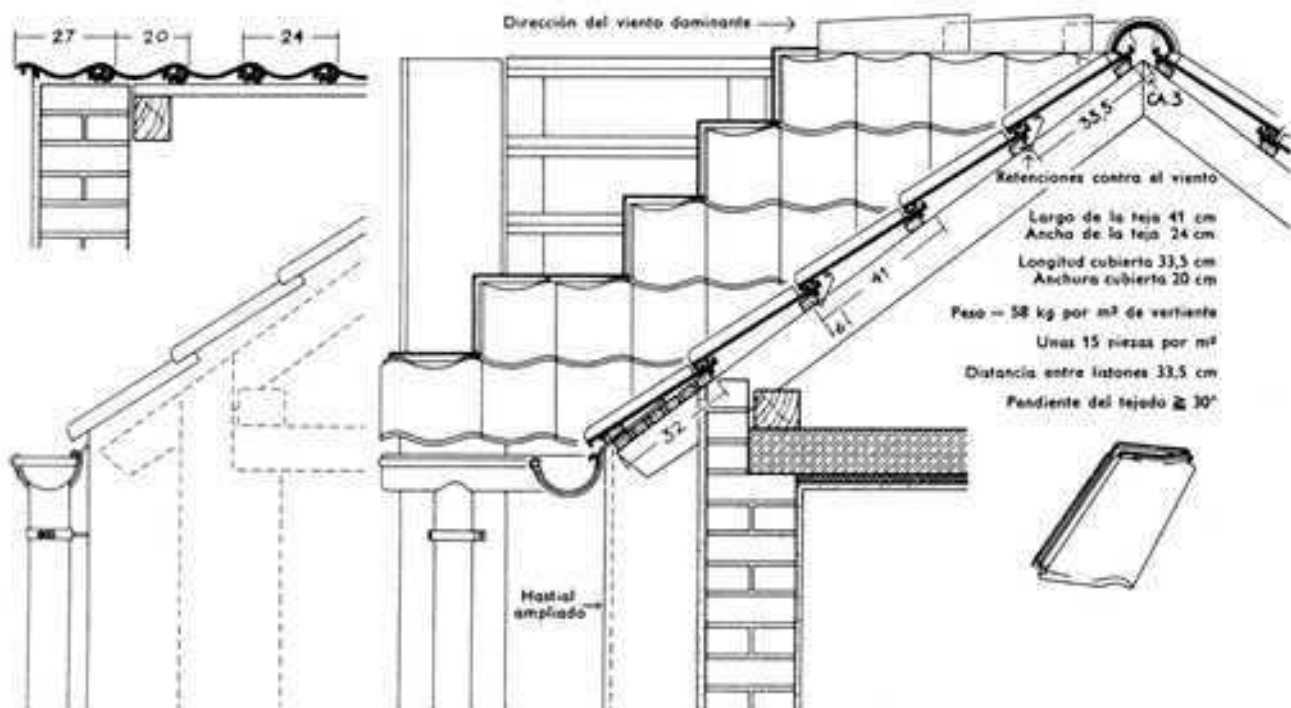
Para prevenir los desperfectos que pueden ocasionar las tempestades, pueden fijarse las tejas con ligaduras de alambre. Los encuentros de las superficies de la cubierta con otras construcciones más altas, como paredes, chimeneas, etc., deben protegerse con guardaguas de chapa.

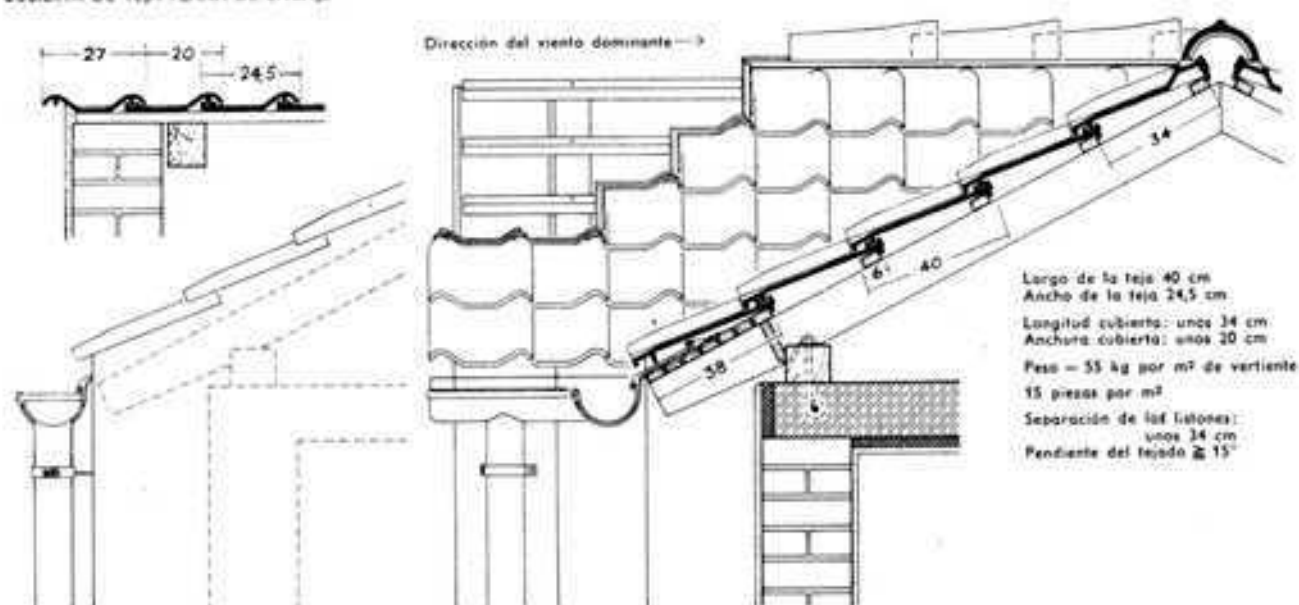
Al recortar tejas para una lima tesa, las que queden desprovistas de pico o tope de retención se mantendrán gracias al encaje de los bordes y en parte de la cabeza. Acerca de la tabla de lima tesa y su colocación y del rejuntado de las tejas de lima tesa es aplicable lo dicho en relación con las cubiertas de teja plana. El revestimiento con tejas cóncavas de encaje tiene un aspecto exterior demasiado movido e inquieto, por lo que no resulta estético. Los tipos de revestimiento a base de teja plana con encaje son preferidos, por regla general, para tejados de muy poca pendiente.

Tejas populares

Las llamadas tejas populares vienen a ser un perfeccionamiento de las tejas cóncavas de encaje. Proporcionan revestimientos

CUBIERTA DE TEJA CÓNCAVA DE ENCAJE





perfectamente seguros contra la lluvia con pendientes hasta los 30° y su aspecto es mucho más sereno que el que ofrece la teja cóncava ordinaria con encajes.

Tejas planas de encaje

Representan un perfeccionamiento de las tejas cóncavas y pueden emplearse hasta con pendientes de 15°.

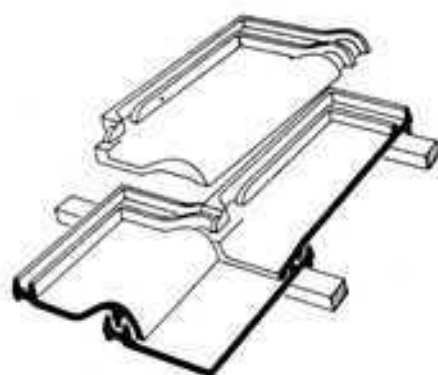
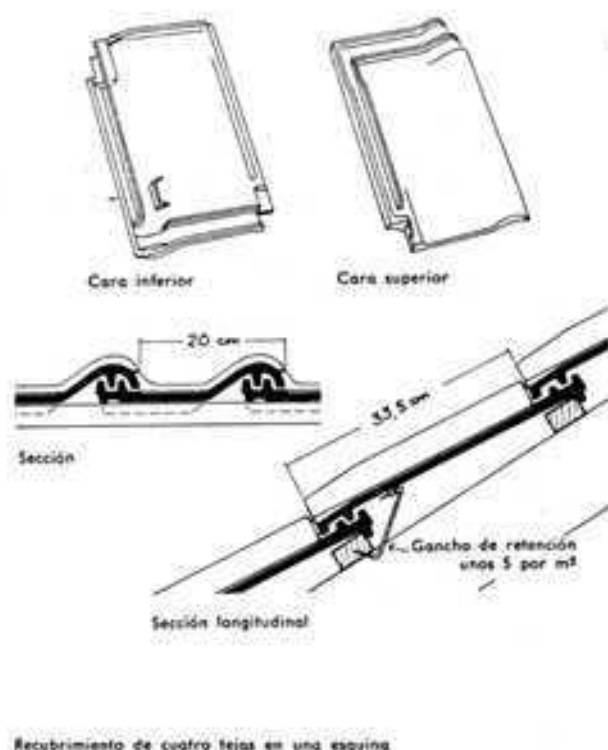
A diferencia de las tejas ordinarias de encaje, estas tejas planas para cubiertas de muy poca pendiente tienen el borde exterior de encaje tan levantado que resulta casi imposible que el agua pueda penetrar hacia el interior por los lados de la teja. Si, a pesar de todo y por efecto del viento, entrase agua en la canal interior no le ocurriría como en la teja ordinaria, que tiene que ir saliendo por la parte inferior, sino que tiene salida lateral para volver a correr hacia la superficie descubierta de la misma teja. Gracias a esta disposición se logra una superposición cuádruple y un recubrimiento doble de las tejas en cada fila.

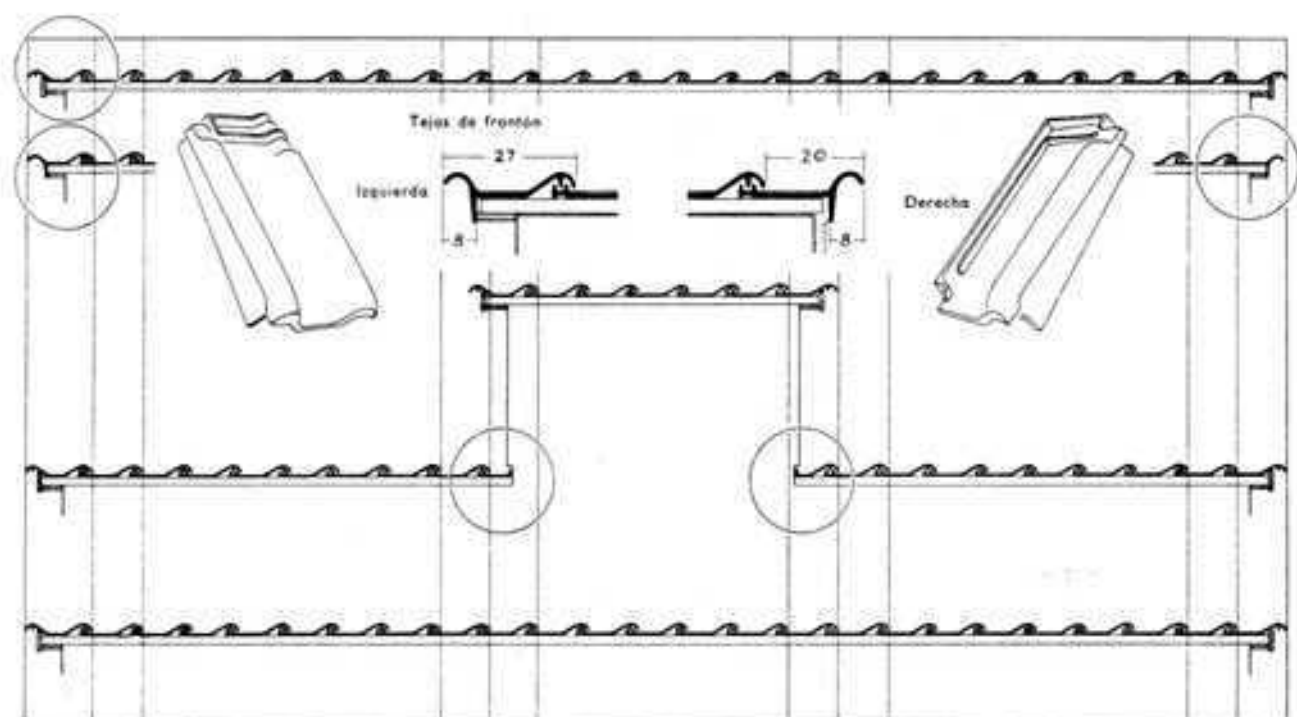
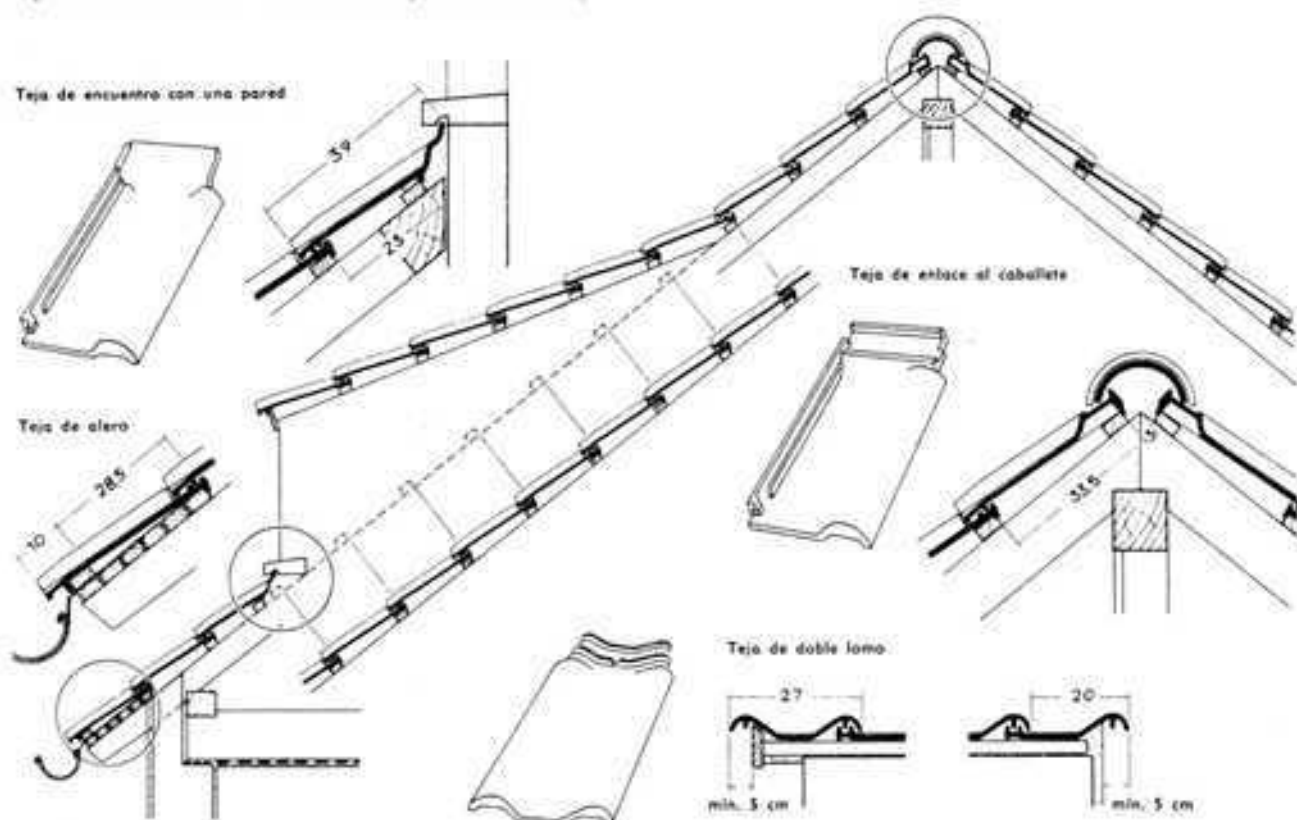
Para revestir una cubierta con tejas planas de encaje es necesario que el largo de los cabios sea múltiplo de la separación de los listones. Por consiguiente, el carpintero, antes de empezar su trabajo, debería ponerse de acuerdo con los tejadores para conocer exactamente las medidas. Asimismo el largo de la cubierta entre visera y visera debe acomodarse al ancho cubierto por el modelo de teja empleado. Como las dimensiones de las tejas varían algo de una a otra habría que colocar en posición una hilada de 10 tejas a modo de prueba para poder tomar las medidas: una vez colocándolas tan estrechamente como permitan los encajes de los rebordes, y otra vez tan separadas como den de sí las juntas. El promedio de ambas medidas que así se obtiene se utiliza como medida de la anchura cubierta por cada teja y sirve para el cálculo de la longitud del tejado. Igual tanteo se hace para establecer la longitud de los cabios: se disponen, p. ej., 10 tejas una a continuación de otra y primero se colocan todo lo apretadas que permitan las juntas y luego todo lo separadas que se pueda, tomando después el promedio de ambas medidas para el cálculo de los cabios. Estos tanteos nos dan las dimensiones exactas del tejado, que luego podrá cubrirse correctamente sin necesidad de cortar tejas.

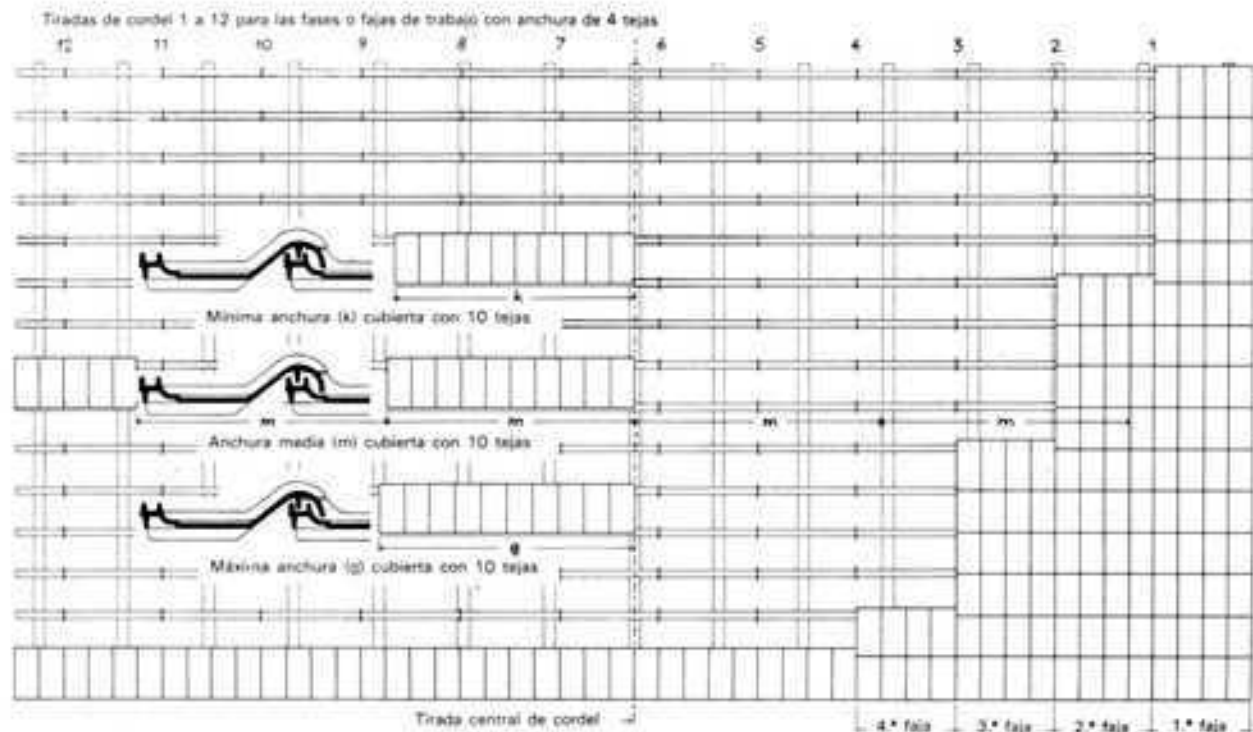
Los listones se clavan sobre los cabios según las reglas ya explicadas para la teja plana alemana.

Una vez clavado el enlistonado se empieza por colocar la hilada del alero en toda su longitud. Colocada esta hilada pueden marcarse con golpes de cordón tirante fajas de cuatro tejas de anchura, exactamente perpendiculares al alero. El aparejo que se sigue es el de juntas continuas. Para poder ejecutar debidamente los aleros, cumbres, viseras y uniones con paredes, la industria cerámica construye tejas especiales de forma adecuada.

TEJA PLANA DE ENCAJE

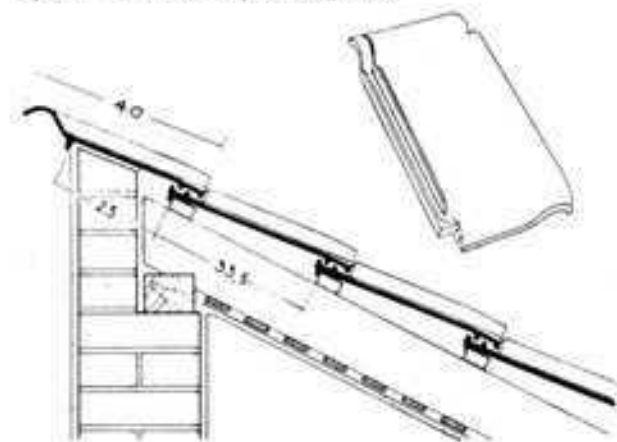






Las tejas de enlace con la cumbrera forman una superficie segura de apoyo para las tejas del caballete y al mismo tiempo cierran las juntas entre ellas y las tejas del caballete. Estas últimas se adaptan a la forma de las tejas de cierre de cumbrera y no deben fijarse con mortero, sino únicamente serán rejuntadas desde la parte exterior. Las tejas de alero llevan un nervio en su parte anterior, con encajes laterales, que cierra el espacio bajo el alero e impide la penetración de polvo, nieve, pájaros, etc. El empleo de tejas de cierre de cumbrera y de alero requiere una exacta distribución del enlustrado partiendo precisamente de la cumbrera, porque en este caso las tejas de caballete y las que con ellas enlazan tienen que adaptarse bien. Si la longitud de los cabios no concuerda bien con la separación de los listones se coloca en el alero una tabla del ancho preciso o una chapa (solución de urgencia).

Teja de terminación de un tejado a una vertiente



Las tejas de la visera del frontón pueden ser de varios tipos que se encuentran en el mercado. Las que llevan pestaña o nervio exterior cierran la unión de tejado y pared sin dejar solución alguna de continuidad. Si se desea una visera con cierto vuelo se clavará una tabla por debajo del saliente de los listones y otra de cierre frontal. Lo más sencillo y barato es el empleo de tejas con dos alomados, que únicamente se colocan en el borde izquierdo del tejado. Las tejas tienen que sobresalir por los menos 5 cen-

tímetros más allá del paramento exterior del muro o del tablero de soporte.

Encuentros con paredes de las cubiertas de teja plana con encajes

Para los encuentros con paredes y chimeneas se emplean, en general, las disposiciones indicadas para las tejas planas alemanas. También en este caso, como en las cubiertas de teja cóncava, es preferido el encuentro con chapa guardaguas a los enlaces rígidos, porque debido a la forma de las tejas planas con encaje producen juntas demasiado anchas.

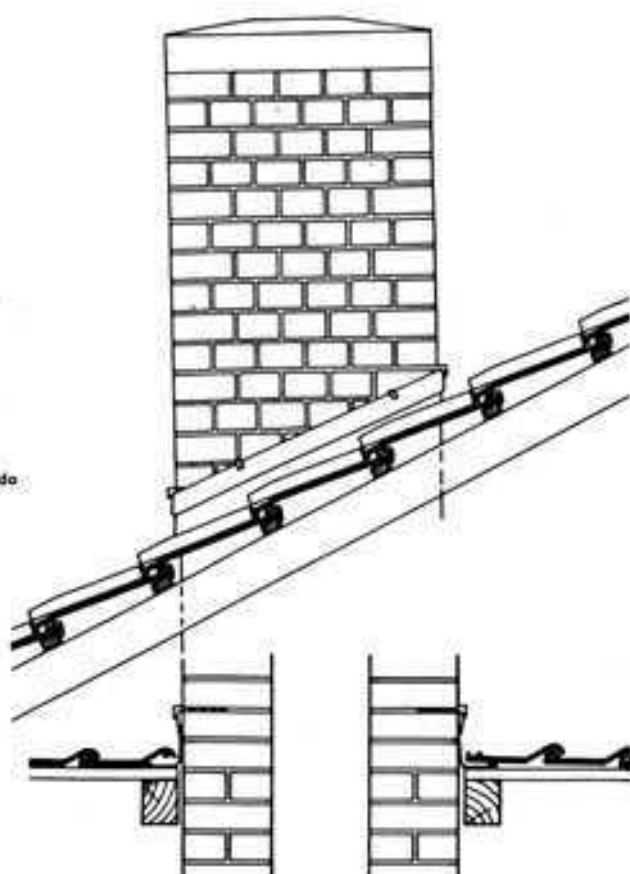
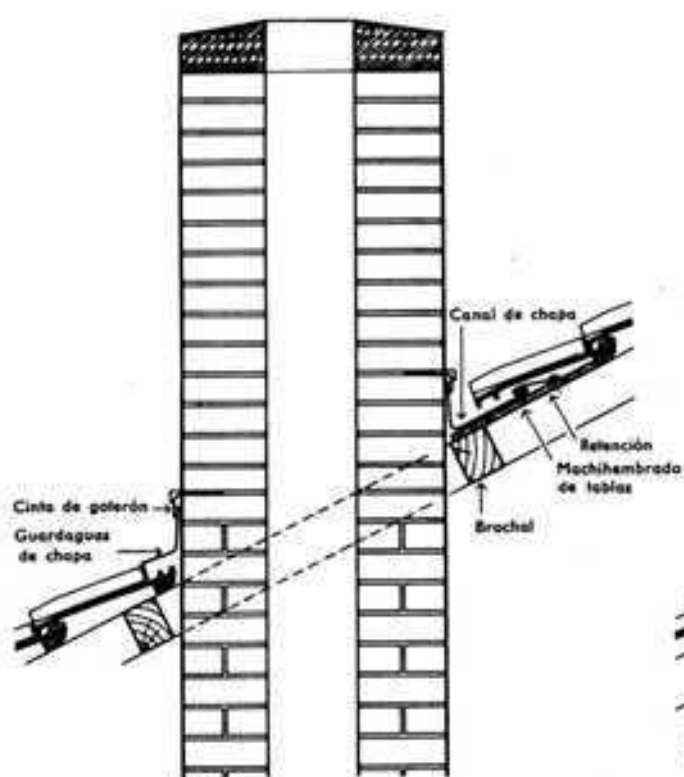
Para el encuentro de una cubierta de una sola vertiente con una pared de mayor altura se emplea la teja llamada "de enlace con pared", que en su extremo superior lleva una pestaña alta. Para el cierre de la unión sólo se necesita un guardaguas de banda de plomo laminado, que se fija a la pared con unas grapas que quedan luego cubiertas con el revoque. De esta manera se ahorran las laboriosas aperturas de ranuras en el muro y los rejuntados de mortero, que no siempre cierran bien.

Para cubiertas de una vertiente aisladas se pueden emplear las tejas de terminación que para este caso se fabrican con media caña y pestaña inferior. Como estas construcciones están muy expuestas a las inclemencias del tiempo conviene fijar las tejas con dobles ganchos o ligaduras de alambre.

También en lo referente a las ventanas de buhardilla, a la fijación de ganchos de escalada y a enrejados paranieves puede aplicarse lo dicho para las cubiertas de teja plana alemana. A las tejas de encaje que están situadas debajo y encima de los ganchos de escalada y de los hierros de fijación de los paranieves se les recortarán unas muescas en las pestañas de los encajes para el paso del gancho y el buen asiento de la teja. Es conveniente rejuntar con tiras de plomo los sitios recortados, para impedir la infiltración del agua de lluvia, nieve, etc. Para la ventilación del desván se emplean tejas de ventilación de anchura normal o doble, y para las salidas de los tubos de aireación, tejas provistas de tubo y sombrerete.

Limas hoyas en las cubiertas de teja plana con encajes

Se cubren siguiendo las mismas reglas dadas para los tejados de teja cóncava ordinaria. Las limas hoyas partidas y cubiertas son preferibles a las limas hoyas hechas con tejas de forma especial o con plancha metálica.



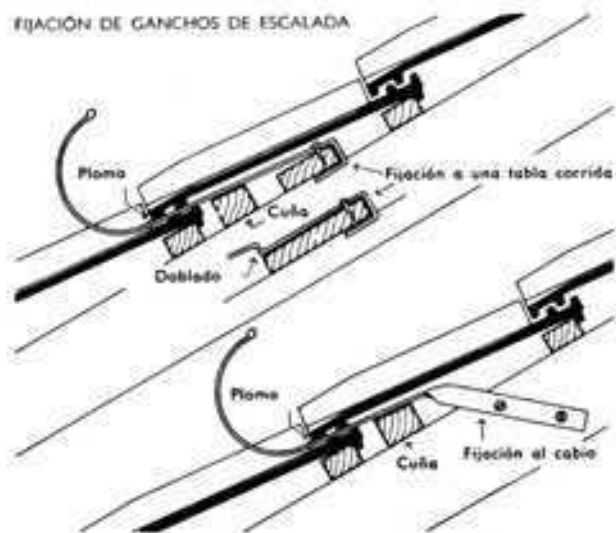
Tejas de claustro

Estas tejas combinan en una pieza la canal y la cobija del tejado árabe. Llevan encajes en la cabeza y en los costados y un perfil que en cierto modo, cuando el tejado está terminado, corresponde al de la teja árabe, pero con la diferencia de que las cobijas continúan, sin resaltos, las ondulaciones de las canales. Así pues, el borde del alero no es una línea dentada como en el tejado árabe, sino únicamente ondulada. Estas tejas combinadas son naturalmente de colocación mucho más rápida y fácil que la teja árabe. Subsiste, de todos modos, el inconveniente de su gran peso.

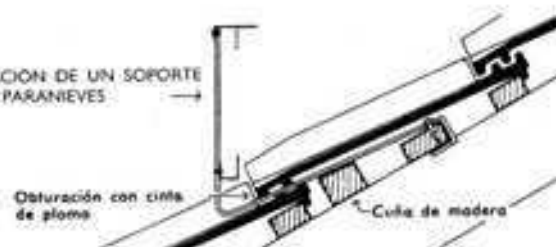
Ventana de buhardilla para cubiertas de teja plana.
Tamaño correspondiente a 5 tejas.

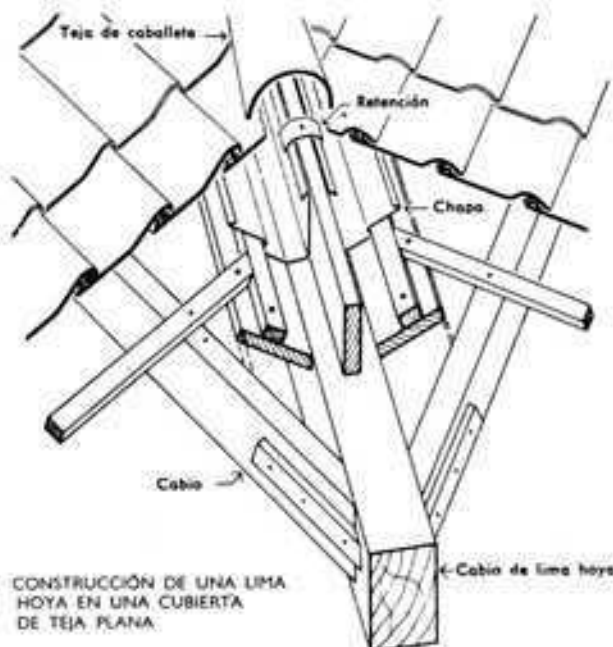


FIJACIÓN DE GANCHOS DE ESCALADA



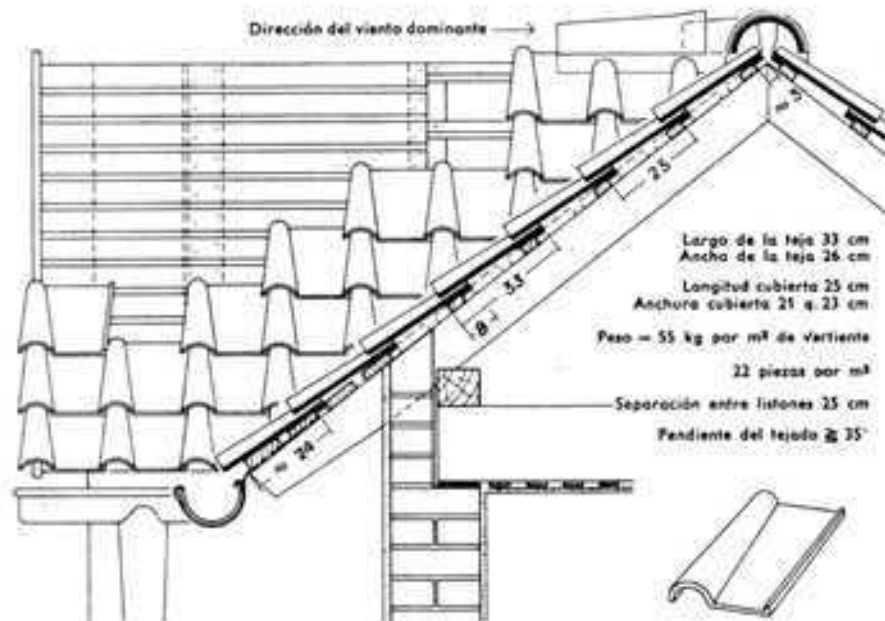
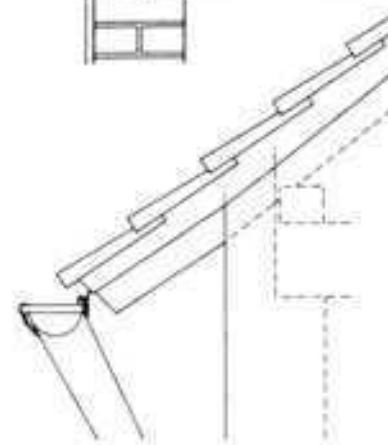
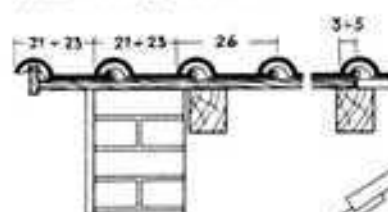
FIJACIÓN DE UN SOPORTE DE PARANIEVES





En Alemania oriental, donde principalmente se fabrica esta teja, la distancia entre listones se calcula a base de la longitud de la teja menos 8 cm y con este recubrimiento reducido debe aparejarse el tejado a juntas alternadas. Puede hacerse en seco con un rejuntado por el interior o con cintas transversales de mortero y rejuntados longitudinales, que pueden ser vistos u ocultos.

Para la colocación de esta teja hay que seguir las mismas reglas que para la teja cóncava. El revestimiento con tejas de aleta presenta los mismos puntos críticos que el de tejas cóncavas con chaflanes adosados. Por consiguiente, también aquí es recomendable un rejuntado interior con mortero. La separación entre listones debe ser igual a la longitud de la teja menos 8 cm y la pendiente mínima ha de ser de 40°. El revestimiento se puede hacer en seco con rejuntado o revocado interior, o bien, cuando esto no es posible, con cintas de mortero transversales y juntas longitudinales.



Tejas de vidrio

Las tejas de vidrio se hallan en el mercado con gran variedad de modelos. Se colocan en el tejado al mismo tiempo que las tejas cerámicas y sirven para dar luz a los desvanes y buhardillas o bien para aumentar la luz natural en tinglados y cobertizos, cubiertos con tejas. Las tejas de vidrio son resistentes a los agentes atmosféricos y no requieren cuidado alguno. Su empleo es, sin embargo, limitado por consideraciones de forma, porque rompe la continuidad del tejado.

Revestimiento con tejas de hormigón

Las tejas de hormigón están normalizadas en las DIN 1115 a 1118.

Según su forma se diferencian en:

Tejas planas (colas de castor), tamaños pequeño y grande según DIN 1116

Tejas de encaje, con obturación de cabeza y sin ella, según DIN 1117

Tejas cóncavas con encaje y sin él, DIN 1118.

Para el revestimiento con estas tejas deben tenerse en cuenta las prescripciones de los diversos fabricantes. Para cada tipo de tejas existen las correspondientes piezas para la cumbrera, para la visera del hastial, tejas de ventilación, así como aberturas para los conductos de vapor, para las ventanas, etc.

En general, las tejas son de color rojo, marrón o antracita. Las tejas no son porosas, no pueden filtrarse humedades como en el caso de las tejas cocidas. Por dicho motivo deben preverse suficientes tejas de ventilación. La densa estructura de las tejas evita daños producidos por heladas y por lo tanto se consideran como muy apropiadas para regiones con inviernos duros.

En regiones de fuertes nevadas y fuertes vientos, o también en zonas industriales con mucha polución, es recomendable prever medidas adicionales para aumentar la impermeabilidad de la cubierta y facilitar la limpieza de la buhardilla.

Estas medidas pueden consistir en llenar las juntas de las tejas con un plástico celular rígido o bien colocar debajo de las tejas un entablado adicional. Este último método es cada vez más corriente. Estos entablados deben facilitar la "respiración", con el fin de que por lo menos una parte del vapor de agua que se acumula debajo de la cubierta pueda difundirse.

Dicho entablado se coloca sobre la cara superior del cabio y paralelamente al alero (ancho en general 1,50 m, recubrimiento 10 cm). Con el fin de que entre el entablado y las tejas resulte un espacio suficientemente grande para la aireación a través de las

tejas de ventilación, debe clavarse sobre el entablado un listón en sentido longitudinal, y sólo sobre este listón se fijan los listones del tejado. Para 100 m² de cubierta se calculan 8 tejas de ventilación.

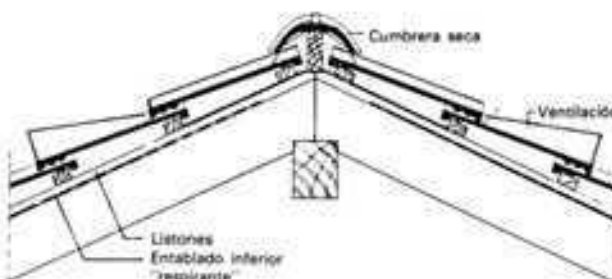
Para todas las pendientes de cubierta menores de 22° los fabricantes prescriben medidas adicionales de impermeabilización. Para las pendientes de 16° a 10° incluso debe preverse una cubierta inferior cerrada, compuesta de un revestimiento de tablas ensambladas (grueso una pulgada) y dos capas de cartón asfáltico, lo que ya por sí mismo serviría de cubrición del tejado.

Revestimiento con tejas de hormigón de tamaño especial con encaje longitudinal elevado

Pendiente de cubierta (Grados °)	Recubrimiento longitudinal en mm (recubrimiento mínimo)
de 25 a 30	105
mayor de 30 a 35	90
mayor de 35 a 40	80
mayor de 40	70

Revestimiento con tejas de hormigón de tamaño especial con encaje longitudinal elevado y nervadura múltiple en la base

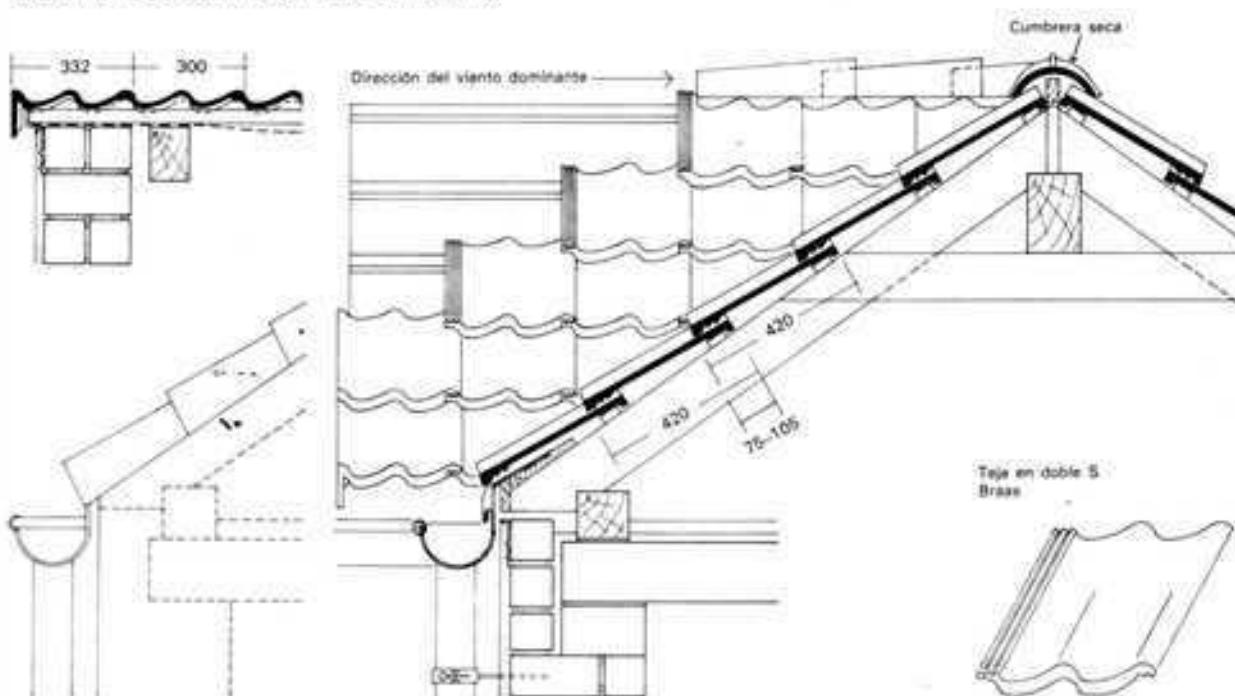
Pendiente de cubierta (Grados °)	Recubrimiento longitudinal en mm (recubrimiento mínimo)
de 22 a 25	105
mayor de 25 a 30	90
mayor de 30 a 45	80
mayor de 45	70

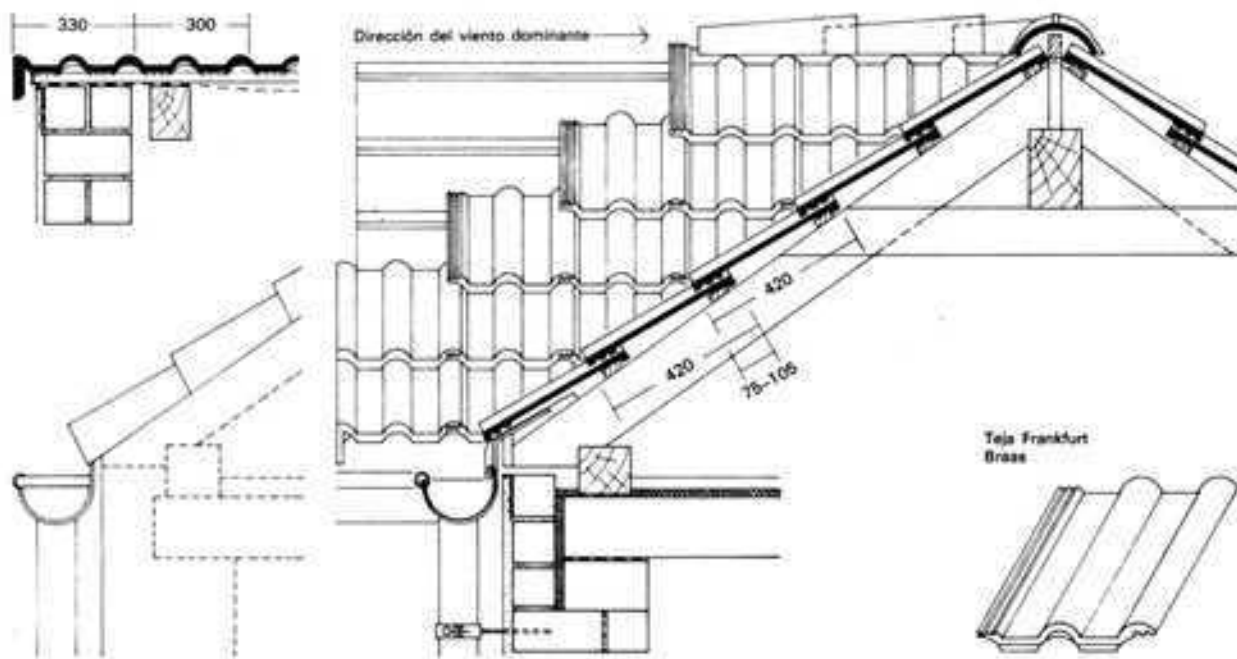


Cumbrera con entablado inferior según catálogo de BRAAS

Designación	Dimensiones mm		Pendiente mínima de cubierta	Ancho de cubrición mm	Recubrimiento cm	Cantidad necesaria Piezas/m²	Peso kg/m²	Superficie	
	Longitud	Anchura						Tipo	Color
Teja Frankfurt Braas 	420	330	16°	300	7,5 - 10,5	10	46	granulada	pardo rojizo pardo oscuro antracita
								lisa, tratado con materias plásticas	pardo oscuro antracita
Tegalt Braas B - F 	420	332	16°	300	7,5 - 10,5	10	47	lisa, tratado con materias plásticas	pardo oscuro antracita
Teja doble S Braas 	420	330	25°	300	8	10	56	lisa	pardo oscuro antracita
	432	379	25°	340	8	8,5	55		
Teja Markant Braas 	420	340	20°	300	7,5 - 10,5	10	45	lisa, tratado con materias plásticas	antracita pizama pardo oscuro
Teja romana 	420	332	22°	300	7,5 - 10,5	10	46	lisa, tratado con plásticos granulada	antracita rojo

REVESTIMIENTO DE CUBIERTAS CON TEJAS DE HORMIGÓN





Empizarrados

Los principales componentes de las pizarras son la sílice y la alúmina. La pizarra debe estar exenta de impurezas nocivas y ante todo de carbonato cálcico y de piritas, presentar una superficie bien lisa y de grano uniforme, dar un sonido limpio al golpearla y quedar marcada una línea clara al rayarla. El color de la pizarra, según su procedencia, es negro, gris azulado, verdoso o rojizo. Hay también canteras que dan material veteado.

Según la naturaleza del material, su obtención y su preparación, resultan los tan variados tamaños y formas de las pizarras empleadas para cubiertas de complicadas formas, construcciones que sobresalen de las mismas, cúpulas de torres, etc. Para tales aplicaciones, por consiguiente, ha encontrado también amplia difusión a distancia bastante grande de sus yacimientos y puntos donde se explota.

El revestimiento de pizarra es apropiado para cubiertas cuya pendiente exceda de los 25°. Las pendientes menos inclinadas son peligrosas desde el punto de vista de la seguridad contra la infiltración del agua de lluvia.

También en aleros y voladizos hay que guardar esa pendiente mínima porque precisamente son las fajas próximas al alero aquellas que mayor cantidad de agua reciben y tienen que conducir y por las masas de nieve, que retenidas por los paranieves, pueden formar represas que obstaculicen el escurrimiento del agua de fusión.

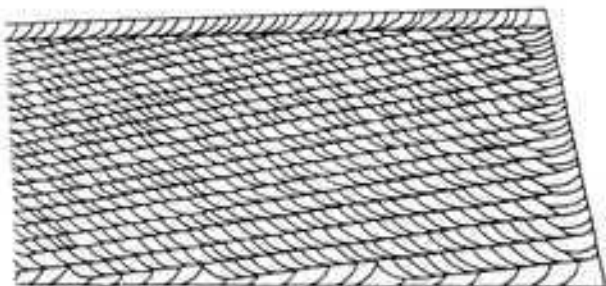
Tipos de empizarrados

Hasta el siglo XIX, el "empizarrado alemán antiguo" fue el único usado. En la segunda mitad del siglo precedente se empezó ya a introducir mucho el "empizarrado inglés".

Se colocaban las placas rectangulares y muy delgadas aparejadas en revestimiento doble, como se hace en los tejados de teja plana alemana. Con pizarras del país fue pronto imitada esta forma de cubierta y su revestimiento esquematizado, ya que el cortado de la pizarra según patrones no representa ningún trabajo de artesanía, sino que puede hacerlo cualquier operario sin preparación especial. Las pizarras cortadas según patrón producen una impresión de monotonía y de cosa esquemática; el atractivo y la belleza de las antiguas cubiertas de pizarra desaparecen. Normalmente, las pizarras no se obtienen en piezas grandes, como pasa con las inglesas; de aquí resulta que si se quiere lograr un aprovechamiento económico del material hay que emplear variados tamaños de piezas, que son los que producen el aspecto atractivo de las antiguas cubiertas de pizarra. Esto

Cubierta antigua

Sin alineación de los bordes dorsales

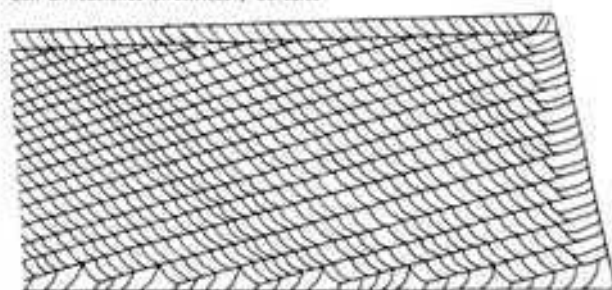


exige que los operarios que las construyen posean gran habilidad manual y gusto, cosa que hoy día ya no abunda en esta clase de operarios. El maestro de obras Conrado Hildebrand y la Escuela de Techadores de Mayen (Eifel) se han esforzado con excelente fruto en hacer revivir los métodos y enseñanzas antiguos, relativos a las cubiertas de pizarra tradicionales.

Antiguos tipos de cubiertas

Como las pizarras son diferentes en las principales zonas donde se emplean, Rin-Mosela, Harz y Turingia, el sistema de cubrir ofrece diferentes características según la localidad o comarca. En la zona pizarrera del Rin, la pizarra es suave, pequeña y delgada, las cubiertas ofrecen dibujos pequeños, finos y flexibles, las fajas del aparejo son reducidas y las limas hoyas presentan un aspecto de mosaico. En el Harz y en Turingia, el material es más grande y de mayor espesor y, por consiguiente, las cubiertas y las limas hoyas, en general, son más amplias y de mayores dimensiones. Las directrices o líneas de guía tampoco quedan tan finas y subdivididas como en las comarcas del Rin y del Mosela.

Si bien la pizarra ya trabajada representa una economía en el gasto de su transporte, sería siempre conveniente transportarla en bruto hasta pie de obra y, allí, el maestro que debe aplicarla darle la forma debida y trabajarla convenientemente. El tamaño y la forma de la pizarra son de gran importancia para su aspecto estético, y para garantizar su impermeabilidad contra las lluvias.



El techador que la tiene que colocar tiene que cortarla y acabarla de manera experta y segura, para tener certeza de lograr que la cubierta reúna luego las condiciones deseadas. Poniendo cuidado, atención y habilidad puede el techador aprovechar mucho mejor el material de lo que podría hacerlo el personal de la cantera, que ignora la forma como ha de ir colocado en obra. Precisamente en el sistema antiguo de cubiertas, en el que las piezas de pizarra nunca pueden ser demasiado pequeñas, es posible un extraordinario aprovechamiento de la pizarra bruta. Para labrarla se coloca la pizarra sobre un banco y se golpea con el filo de la parte cortante de un martillo de tejador, hasta darle la forma deseada. La cara inferior presenta entonces muchos desportillados y muescas en los bordes, pero en cambio la cara superior los presenta limpios y bien cortados. Cuando se quiere dar vida y variedad a la superficie se combinan dibujos a base de colocar algunas pizarras al revés, con los cantos irregulares en la parte superior. Al trabajar la pizarra, el operario práctico conoce por su sonoridad si el material está o no en condiciones de ser utilizado. Para las piezas de pizarra trabajadas no hay dimensiones prescritas. El tamaño se rige por la inclinación y las dimensiones de la superficie que hay que cubrir. Para tejados de fuerte pendiente o para revestimiento de paredes, las pizarras se proyectan visualmente de manera muy diferente que en cubiertas de débil pendiente. Las piezas de pizarra a emplear tienen, pues, que guardar una relación que esté en armonía con la superficie a cubrir. Para superficies grandes sin limas hoyas ni aberturas de ventilación convienen más las piezas grandes. En cambio, si hay que colocar limas hoyas o construcciones que rompan la continuidad de la vertiente convienen mejor las pizarras de pequeño tamaño.

Como designaciones del tamaño de las piezas son corrientes entre los suministradores las siguientes:

Pizarra entera	= 40/32 a 50/40 cm
" 1/2	= 38/30 a 42/38 cm
" 1/4	= 32/25 a 36/28 cm
" 1/8	= 28/23 a 30/28 cm
" 1/12	= 24/21 a 26/23 cm
" 1/16	= 22/17 a 24/19 cm
" 1/32	= 16/13 a 20/15 cm

Al pedir el material en bruto deben especificarse los tamaños que se deseen con arreglo a esas designaciones, con el fin de que el desperdicio que se produzca sea lo menor posible. Entonces, las placas de pizarra recibidas deben trabajarse de la manera que parezca más económica y conveniente.

Aun cuando el tamaño de las piezas es muy variable, su forma debe corresponder aproximadamente a la representada en la figura.

Cuanto más curva (más saliente) sea la giba o borde dorsal, mejor. El borde dorsal muy curvo que enlaza sin brusquedad con la línea de guía, hace que las directrices no aparezcan rígidas y da al empizarrado cierta suavidad.

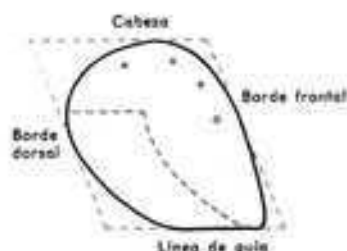
Aun cuando esto no proporciona ninguna medida bien determinada, al tallar la pieza de pizarra debe tenerse en cuenta que la altura de dicha pieza, desde su cabeza hasta la línea de guía, debe ser igual o mayor que la anchura tomada desde "pecho" a "espalda", o sea entre los bordes frontal y dorsal. En cada pieza se practican tres o cuatro orificios para los clavos (en los de ale-

ro, de cumbrera y de visera, de cuatro a cinco orificios), situados de manera que caigan debajo del recubrimiento, que de esta forma los protege.

Cuando las piezas tienen que ser talladas se seleccionan por su altura sobre la línea de guía. No se deben seleccionar nunca por sus anchuras; las pizarras de anchura diferente, dándoles un recubrimiento aproximadamente igual en su borde dorsal, proporcionan una irregularidad de dibujo que hace más atractivo el aspecto de la cubierta.

No sólo conviene encargar al operario que coloca las piezas de pizarra el trabajo de tallarlas sino también la colocación del entablado y así se hace en muchos casos, porque dicho operario es el que mejor sabe cómo hay que colocar la tabla en los puntos críticos para poder luego obtener una cubierta perfecta. Las tablas no deben conservar cantos rústicos y tienen que ser suficientemente fuertes para que al clavar no se flexen. Para distancias normales entre cabios se emplean generalmente tablas de pino de 25 mm. La madera verde recién cortada al desecarse posteriormente deja juntas muy abiertas que al clavar se notan en forma desagradable.

Bien



Giba más pronunciada, transición suave de la línea dorsal a la línea de guía. Recubrimiento más completo.

Mal

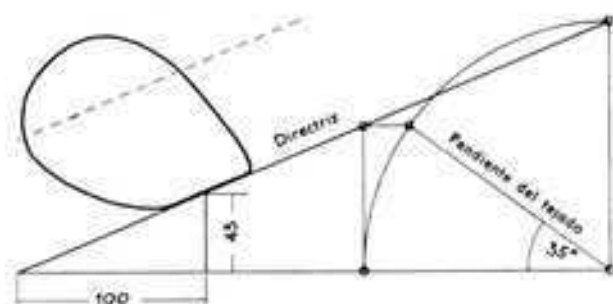


Demasiado rectangular; el borde dorsal forma esquina en la unión con la línea de guía; el borde dorsal con excesiva inclinación, da un recubrimiento mediocre.

No debe clavarse nunca la pizarra sobre madera poco seca, pues al secarse las tablas se deforman y son muchas las piezas que se rompen.

La condición de que cada pieza quede clavada en una sola tabla no siempre puede cumplirse, porque si hay, por ejemplo, un recubrimiento de cartón asfáltico que tapa las juntas de las tablas no hay forma de saber dónde están. Es, pues, conveniente que sólo se usen tablas anchas cuando el peligro de su deformación sea pequeño. Para proteger el tablero contra el agua durante el tiempo en que no está todavía revestido con la pizarra se suele colocar encima de la madera una capa de cartón alquitranado o asfáltico. Las piezas o fajas de cartón pueden disponerse perpendiculares o paralelas al alero. Las uniones o costuras deben llevar cuando menos un recubrimiento de 6 cm. Para el clavado hay que emplear clavos especiales para cartón. Este revestimiento de cartón impermeable no sirve, sin embargo, para mejorar la impermeabilidad contra la lluvia, pero sí sirve de defensa contra la entrada de polvo y de copos de nieve en el desván. Después de clavar el cartón debe mantenerse el tablero de madera algunas semanas expuesto al sol. El operario tejador debe tener cuidado de que tanto la armazón de cubierta como la obra de fábrica hayan hecho su asiento. Los plazos perentorios para la terminación de los empizarrados tienen resultados desfavorables sobre la duración y buena conservación de los mismos. Antes de cubrir el tejado hay que fijar la inclinación de las líneas directrices. Cuando se cubre de izquierda a derecha, esas líneas van subiendo también en dicho sentido, siendo la pendiente de las directrices contraria cuando se cubre de derecha a izquierda. Cuanto más inclinada es la vertiente del tejado tanto más agudo debe ser el ángulo de las directrices con el alero.

Según las reglas del operario tejador, la pendiente de las directrices se determina por la construcción geométrica que indica la figura.



Gracias a esta inclinación de las líneas de guía, el agua es alejada del borde frontal o "pecho" de la pieza de pizarra.

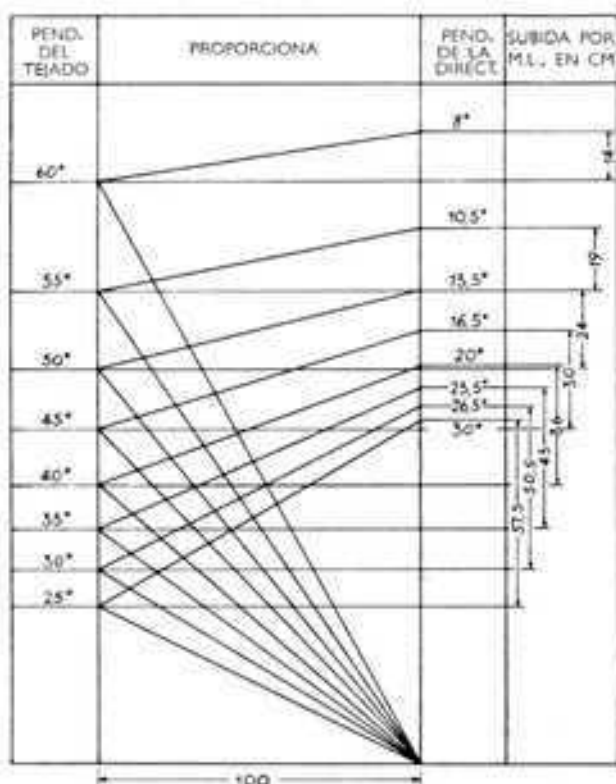
Al techar con pizarra de izquierda a derecha se empieza por la punta derecha del tejado junto al alero, colocando la pieza de pie en el ángulo; debe estar tallada de acuerdo con la pendiente de las directrices y clavarse en la forma debida.

Al clavar las pizarras sólo deben emplearse clavos de cabeza ancha, galvanizados al fuego. La inoxidableidad de los clavos es tan importante para la duración de la cubierta como la calidad de las pizarras. Una vez colocada la pieza de esquina del pie se traza una línea (valliéndose de un cordel tirante tiznado o de una regla) desde el borde superior de la pieza de esquina ya colocada y en dirección paralela a las directrices, es decir, con la misma inclinación que éstas. Esta línea marca el borde superior de las piezas de pie cuya altura va decreciendo de derecha a izquierda. Si las piezas del pie están debidamente talladas y clavadas, el recubrimiento en sentido de la altura se descontará a partir del borde superior de las piezas de la faja de base y se marcará con una línea: ésta será la línea de pie o línea base de la primera hilada (faja inferior de la cubierta) y será paralela a la directriz. Esta faja empieza en el alero con una pieza de enlace o pieza de pie de hilada, que debe colocarse de tal manera que la longitud del alero quede dividida en partes lo más iguales posible, constituyendo las longitudes de pie de cada una de las hiladas. Con las pizarras mayores escogidas se cubre luego la primera faja o hilada del tejado poniendo cuidado en los recubrimientos laterales. A continuación se traza la directriz correspondiente, con una tirada de cordel de marcar o con la regla, y se prolonga hacia la izquierda pasando más allá de la pieza de enlace o pieza de pie de hilada. Se coloca la pizarra siguiente a ella hacia la izquierda y

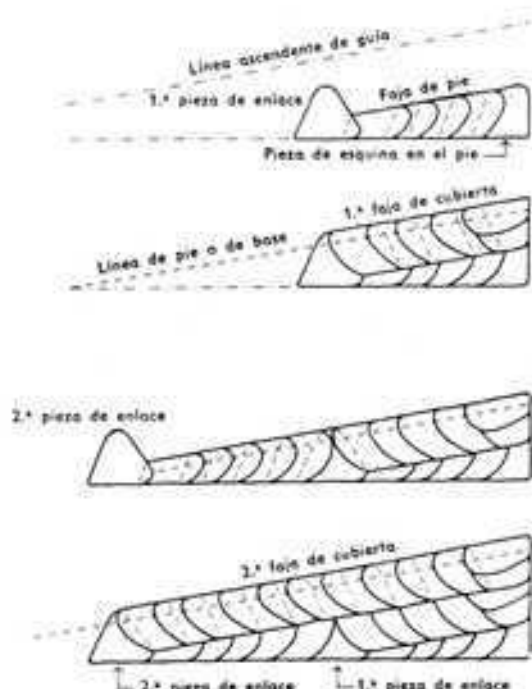
se sigue prolongando así la segunda sección de la faja de base o de alero hasta que puede colocarse la segunda pieza de enlace. Luego se marca la línea base de la segunda hilada de la cubierta y se clavan las piezas de la misma con el debido recubrimiento lateral. Las fajas o hiladas siguientes se van colocando de modo exactamente igual que la primera y segunda empleando cada vez pizarras menores. Si se conserva siempre igual el recubrimiento en altura, los anchos de las hiladas van siendo cada vez más estrechos hasta llegar a la cumbre. En los antiguos empizarrados se observa que las hiladas cercanas al alero son de 12 a 14 cm de anchura, en tanto que las cercanas a la cumbre son de 6 a 8 cm. El recubrimiento en sentido de la altura que hay que tener presente al cubrir depende del tamaño (altura) de las piezas de pizarra. Por regla general puede adoptarse el de 1/3 de dicha altura, es decir que la faja o hilada superior inmediata debe recubrir 1/3 de la altura de las piezas de la precedente. El recubrimiento por el dorso depende en primer término de la forma de la giba o borde dorsal. Con una giba muy pronunciada, el recubrimiento es completamente independiente de la anchura de la pieza y es mucho mayor que en las piezas cuya giba es poco marcada con un trazado muy inclinado sobre la línea de base. Para obtener una superficie de cubierta con abundante variedad, y de efectos vivaces y no esquematizados, las directrices no deben aparecer cortadas en forma demasiado rectilínea y además debe procurarse evitar que los bordes dorsales se alineen según líneas dorsales continuas y muy aparentes. Las líneas directrices de las hiladas que produzcan efecto demasiado duro o rígido pueden ser evitadas haciendo intervenir gibas de forma irregularmente pronunciada; la continuidad de las líneas dorsales que al cortar diagonalmente a las directrices del tejado dividirían éste en una especie de tablero de damas se evitará dando a las piezas anchuras irregularmente variables y alterando algo los recubrimientos. Deben evitarse en lo posible las líneas dorsales continuas. Al recubrir se hará que sobre una pieza ancha se apoyen dos piezas estrechas, o viceversa, sobre dos pizarras estrechas se hará corresponder, en la hilada superior inmediata, una pieza ancha.

Fajas de pie o de base

Corren por el alero en sentido contrario al de las restantes fajas del empizarrado y deben estar aseguradas contra la basculación, por lo cual se dispone en el borde inferior del entablado un listón de reborde de 1 1/2 cm de espesor.

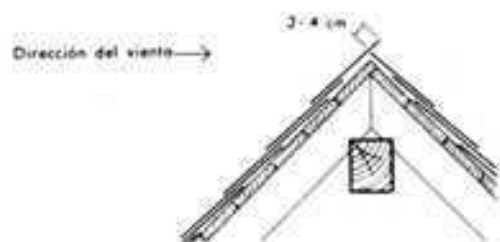


COLOCACIÓN DE LAS FAJAS DE PIE Y DE CUBIERTA



Fajas o hiladas de cumbrera

Se hacen con pizarras mayores, de tamaño y forma semejantes al de las piezas de enlace del alero, y pueden colocarse de derecha a izquierda o al revés, con un buen recubrimiento lateral. Las piezas de pizarra para cumbrera se colocan lo mismo que las de la vertiente, con irregularidad y sin sujetarse a esquema alguno. La faja o hilada de cumbrera correspondiente al lado de donde vienen los vientos dominantes debe sobresalir de la faja de cumbrera de la vertiente opuesta de 3 a 4 cm.



Visera de frontón y lima tesa

En las antiguas cubiertas de pizarra se ponían aparejadas. Tamaños escogidos de las piezas y formas variables en las gibas proporcionan el aspecto decisivo que no ha de dar la impresión de una cosa esquemática y artificiosa. Para alejar el agua de la visera y conducirla a la vertiente del tejado se hace que aquélla tenga cierta pendiente hacia dentro, interponiendo algún regreuso junto al borde.

Chimeneas

Como, antiguamente, las chimeneas solían hacerse de barro o de adobes sin cocer, era necesario que también quedasen empizarradas. Actualmente las chimeneas sólo se hacen con ladrillo cocido y no resulta necesario revestirlas de pizarra. Sin embargo, hay que prestar atención a sus encuentros con el empizarrado. La obra de fábrica de la chimenea debe sobresalir para recubrir la pizarra, y la junta debe taparse con un mortero de cal y pelote.

Limas hoyas

Las limas hoyas deben enlazar suavemente las superficies de las vertientes que las forman, de manera que tales superficies y la de la lima hoya no formen más que una superficie continua. Esta necesidad la sintieron ya los antiguos maestros y le dieron solución en las limas hoyas por ellos construidas. Tanto las gibas como las formas de las pizarras colocadas en las limas hoyas estaban libres de todo esquema e incluso en las limas se veían más hiladas y piezas más pequeñas que en las vertientes. Esto tenía como consecuencia que cada pieza quedaba más adaptada a la superficie dándole a la lima hoya mayor flexibilidad. Las limas hoyas subyacentes, como las que actualmente se construyen muchas veces, no quedan con aspecto satisfactorio, pues interrumpen y cortan la superficie de las cubiertas.

Empizarrado doble

Cuando aún no se colocaba cartón impermeable, se empleaba también el empizarrado doble; en la zona del Rin se usaba el doble recubrimiento dorsal, mientras que en el Harz se aplicaba

el doble recubrimiento de las directrices. Con el empizarrado doble la caída o pérdida de alguna pizarra no representaba ningún accidente grave.

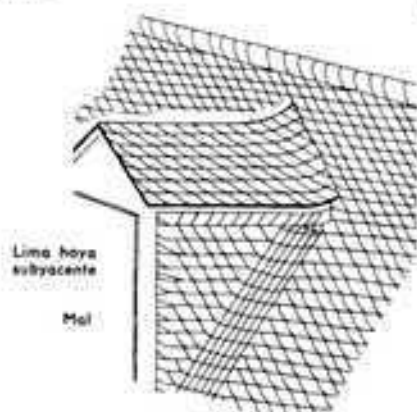
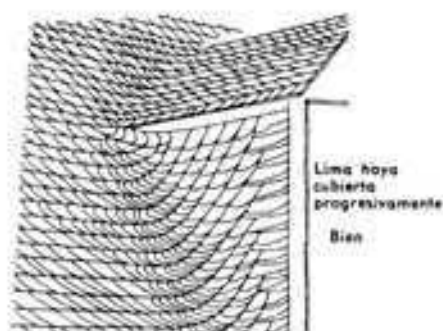
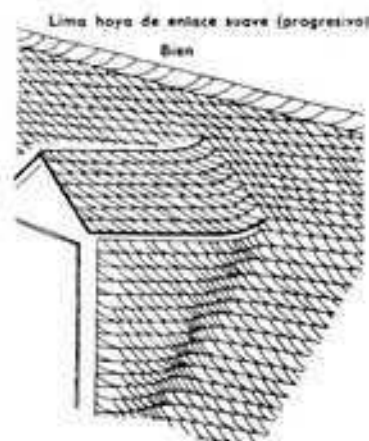
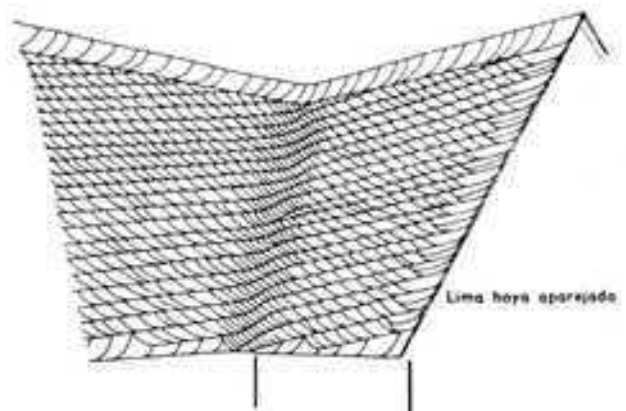
Con la aparición del cartón impermeable, cayó en desuso el empizarrado doble. El cartón, que sólo se colocaba para impedir la infiltración de polvo, polvillo de nieve, etc., contribuía también a proteger contra la lluvia. Se cubría entonces con tanto descuido que muchas veces, al desprenderse una pizarra, quedaba a la vista el cartón impermeable.

El recubrimiento dorsal doble ya no se aplica. Cuando se habla de recubrimiento doble se entiende que se hace referencia al recubrimiento doble por la directriz de la hilada. Se aplica en tejados de poca pendiente, en los que el recubrimiento sencillo ya no proporciona suficiente seguridad contra la lluvia.

El empizarrado doble se cubre lo mismo que el sencillo, con la sola diferencia de que en el recubrimiento se superponen tres espesores de pizarra.

Empizarrado de paredes

Entre un empizarrado bien hecho de una pared y el revestimiento de un tejado con pizarra no existe ninguna diferencia esencial. Las fajas o hiladas van en sentido horizontal.



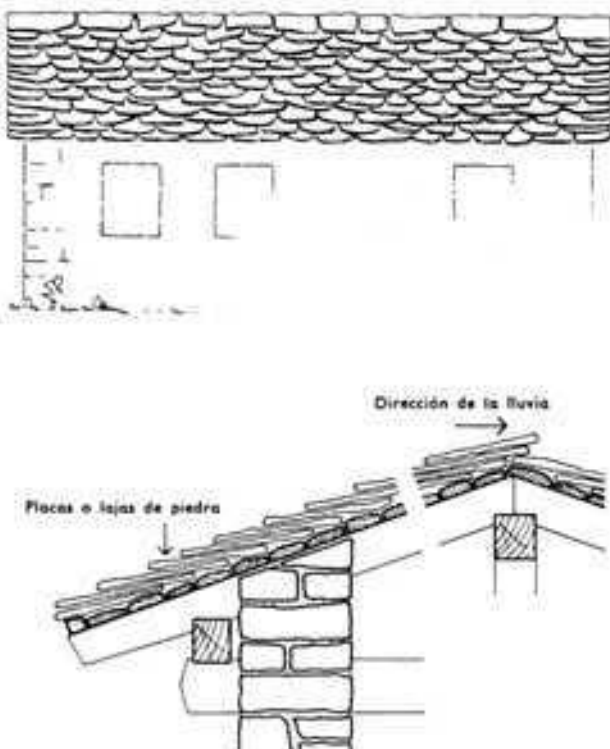
Cubiertas de lajas

Los estratos calizos, que no sirven para pavimentación por ser demasiado delgados, se pueden preparar para utilizarlos como placas para cubierta. Las más pequeñas, sin trabajarlas, se entregan como si fuesen placas de pizarra, y las mayores para ser talladas en diferentes formas para los revestimientos aparejados. El revestimiento de lajas de piedra se emplea raras veces en la actualidad, porque debido a su elevado peso exige una armazón muy sólida y antieconómica.

Revestimiento rústico

Este revestimiento, extraordinariamente atractivo y de muy bello aspecto, se hace colocando las piedras planas, o lajas, sin fijación alguna sobre el entarimado o enlistonado. Este tipo de revestimiento únicamente puede aplicarse, pues, a cubiertas de inclinación inferior a 30°. Con mayor pendiente resbalarían las lajas. La seguridad contra la infiltración de la lluvia exige que el recubrimiento de las piezas sea importante, tanto en sentido de la altura como en sentido lateral.

CUBIERTAS DE LAJAS



Revestimiento aparejado

Las piedras se tallan según plantillas y se colocan con el aparejo de tejado doble o de corona, como la teja plana alemana: un clavo que se pasa por un orificio previamente abierto sustituye al pico o tope de las tejas planas. Las placas de base, que mediante el mencionado clavo quedan suspendidas del enlistonado, tienen en su extremo superior dos esquinas cortadas; en las muescas o entalladuras que así se forman se suspenden las piezas cubrejuntas que van sobre las otras.

Cubiertas de placas de hormigón

Las placas de hormigón armado se emplean preferentemente para cobertizos y hangares, o construcciones parecidas. En la DIN 4028 se normalizan las losas huecas de hormigón armado,

fabricadas con hormigón compacto de grava o de piedra machacada, y las losas huecas armadas de hormigón ligero. Además hay también losas de hormigón armado con vidrios y placas armadas de hormigón poroso que se encuentran corrientemente en el mercado.

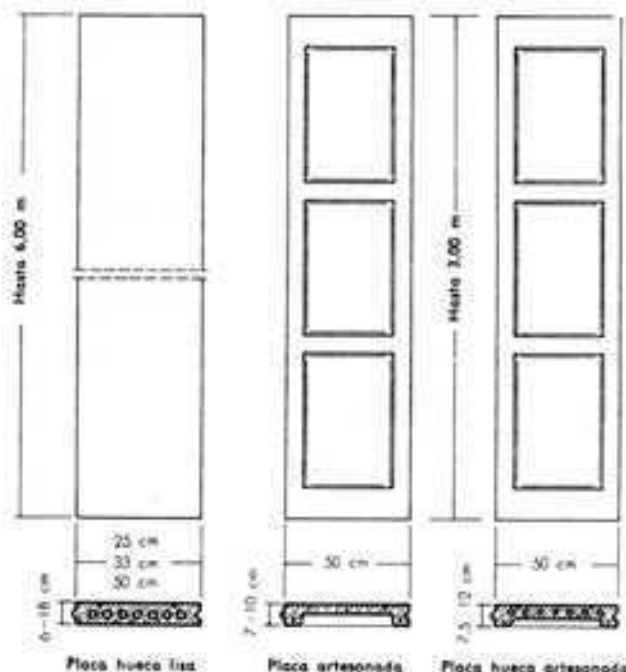
Losas corrientes de hormigón armado

Se emplean raras veces, por su considerable peso, en los revestimientos de cubiertas.

Losas ligeras de hormigón armado

Son placas huecas armadas o losas armadas de hormigón de pómez.

PLACAS MACHICHEMBRADAS DE HORMIGÓN ARMADO, DIN 4028



PLACAS MACHICHEMBRADAS ARMADAS DE HORMIGÓN DE PÓMEZ SEGÚN DIN 4028

Dimensiones y pesos

Espeor	Ancho	Luz entre apoyos	Peso en saco
6 cm	50 cm	hasta 1,60 m aprox.	55 kg/m² aprox.
7 cm	50 cm	» 2,00 m »	64 » »
7,5 cm	50 cm	» 2,30 m »	68 » »
8 cm	50 cm	» 2,40 m »	70 » »
8,5 cm	50 cm	» 2,55 m »	75 » »
9 cm	33 cm	» 2,70 m »	80 » »
10 cm	33 cm	» 3,05 m »	85 » »
11 cm	33 cm	» 3,40 m »	90 » »
12 cm	33 cm	» 3,55 m »	95 » »
16 cm	25 cm	» 4,00 m »	150 » »

Placas huecas machihembradas

Con perforaciones longitudinales que reducen el peso y aumentan el efecto aislante de las mismas. Se emplean cuando es necesario un revestimiento que proteja contra el frío y el calor.

Placas con casetones

Cuyo plano inferior forma casetones y sirven para techos a los que quiere darse un decorado arquitectónico a su superficie inferior sin que sea necesario un aislamiento térmico muy enérgico.

Placas huecas con casetones

Llevar perforaciones longitudinales y casetones en su cara inferior; son apropiadas cuando interesa tanto el aspecto del techo como la protección térmica. Estas placas de hormigón de pómez se fabrican hasta longitudes de 300 cm y con espesores de 5 a 12 cm. También con poco plazo de demora, la mayoría de las fábricas de tales artículos suministran modelos especiales. Las placas de hormigón de pómez son aislantes en mayor o menor grado, pueden clavarse, no se deterioran por las heladas y son resistentes al fuego. Su peso reducido permite una subestructura ligera y económica, reduce los gastos de transporte y facilita la colocación de las placas.

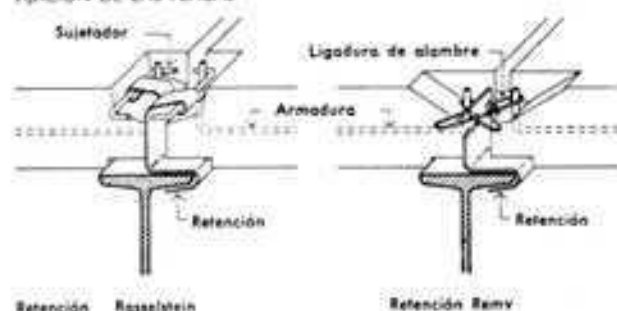
Desaparece el costoso revestimiento de madera, y las reformas, ampliaciones, etc., pueden ser efectuadas sin grandes gastos. A pie de obra se han de apilar las placas, puestas de canto y apoyadas por la parte de la ranura; también deben ser transportadas en esa misma posición.

La colocación en obra es sencilla y puede ser efectuada aun por personal poco experto siempre que se sigan las instrucciones de las casas productoras. Se empieza a cubrir siempre por el alero. Las juntas de las placas se hacen coincidir con la línea media de las correas. Mediante sujetadores o medios de fijación se evita que las placas resbalen hacia abajo o se levanten de su posición debida.

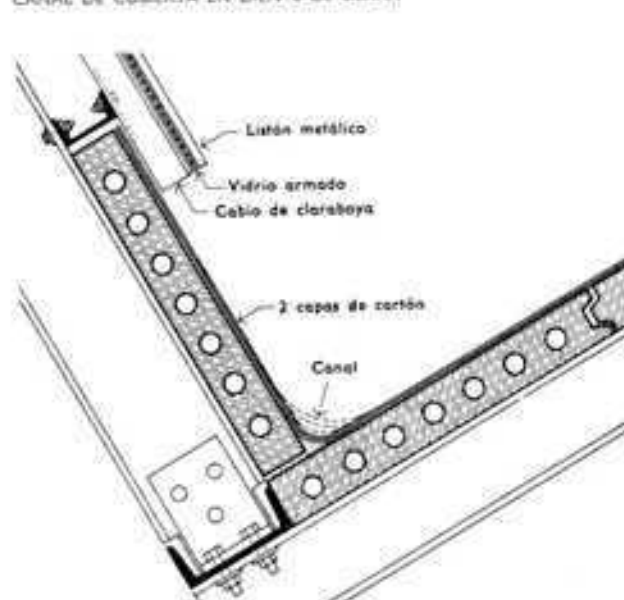
Una vez terminada la operación de cubrir hay que limpiar cuidadosamente la superficie de la cubierta, mojar las juntas y rellenarlas vertiendo en ellas un mortero fluido de cemento, 1 : 1. Sobre una cubierta de esta clase recién acabada no debe transitarse hasta pasados 3 ó 4 días después del rejunto y cuando el mortero está ya perfectamente fraguado.

La capa de protección, cartón asfáltico o chapa metálica puede entonces aplicarse inmediatamente sobre la capa de placas que sirve de base.

FIJACIÓN DE LAS PLACAS

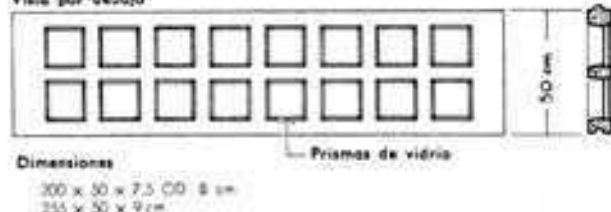


CANAL DE CUBIERTA EN DIENTE DE SIERRA



PLACAS VIDRIERAS DE HORMIGÓN ARMADO

Vista por debajo



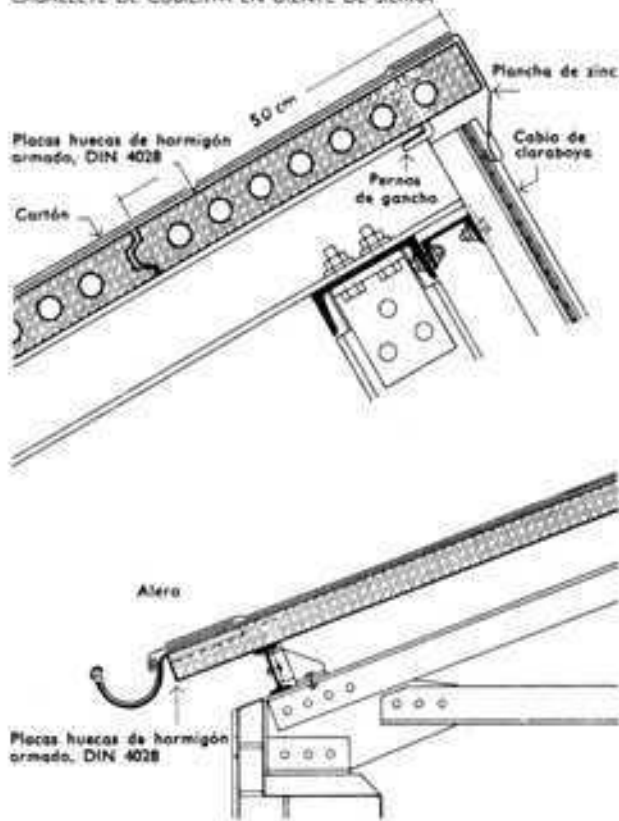
Losas de hormigón armado de pómez y prismas vidrio

Se trata de placas con casetones, hechas de hormigón de pómez, con prismas de vidrio empotrados en ellas. Se fabrican con dimensiones iguales a las de las losas de hormigón armado (fábrica de piezas de hormigón de pómez para la construcción en Rasselstein, Neuwied/Rh.). Se pueden emplear estas placas en las cubiertas de hangares y tinglados en lugar de claraboyas, para proporcionar luz al local, intercalándolas entre las otras placas en algunas de las fajas de construcción de la cubierta. No es necesaria ninguna subestructura especial. La perfecta impermeabilidad de las placas se consigue por medio de un procedimiento especial. Los ensayos han demostrado que la unión del vidrio con el hormigón se mantiene bien, aun con elevadas cargas y flechas sensibles.

Placas armadas de hormigón poroso

Donde se requiera con especial interés un buen aislamiento térmico pueden emplearse placas de hormigón ligero de cal (Ytong), hormigón gaseoso (Syporex) u hormigón de espuma (Celonita). Se encuentran en el comercio con diferentes dimensiones. Hay que ceñirse lo más estrictamente posible a las instrucciones que los fabricantes dan para su aplicación.

CABALLETE DE CUBIERTA EN DIENTE DE SIERRA



Cubiertas de fibrocemento

Introducción

El fibrocemento o pizarra artificial se fabrica con fibras largas de amianto de buena calidad y cemento portland normal. La fibra mineral desempeña en este caso el mismo papel que las armaduras de acero en el hormigón armado, eleva las resistencias por tracción, por flexión y por desgarramiento.

Se fabrica con los nombres especiales de eternita, fulgurita, etc., hallándose en el mercado en forma de placas planas y de chapas onduladas, que resisten bien a los agentes atmosféricos y a las heladas; que son totalmente incombustibles, resistentes contra agentes químicos y tienen un coeficiente de conductividad térmica $\lambda = 0,4 \text{ kcal/m h } ^\circ\text{C}$. Pueden trabajarse como la madera, con sierra y barrena, y clavarse. Las placas cuyo espesor no pasa de 6 mm pueden rayarse con una punta, marcando con una ranura el sitio por donde quieren partirse, golpeándolas luego contra una arista o esquina viva. Si tienen mayor espesor hay que cortarlas o aserrarlas.

Placas planas de fibrocemento

Las placas planas para tejados están normalizadas en DIN 274. Las hay, en el mercado, de numerosos tamaños y formas.

El revestimiento con placas planas se parece al de pizarra aplanada y tiene como éste un aspecto esquemático. El revestimiento de "escamas" con placas cuadradas de puntas redondeadas es una imitación de los antiguos revestimientos de pizarra. Este tipo de cubiertas está normalizado en DIN 18 338, página 19.

Como el fibrocemento permite fabricar placas de gran tamaño, que sólo requieren un número relativamente escaso de juntas, debe procurarse aprovechar esa ventaja limitándose a emplear chapas onduladas de grandes dimensiones.

Chapas onduladas de fibrocemento

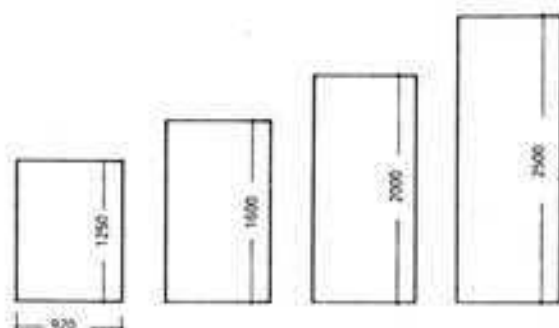
Hace muchos decenios que las chapas onduladas se han mostrado, especialmente en construcciones industriales, como el revestimiento más ligero y resistente a la intemperie, que apenas requiere trabajos de mantenimiento y de reparaciones. Su color natural es de un gris poco atractivo que con el tiempo llega a ser negrozco; a menudo las chapas se cubren con líquenes y musgo. Hace años que se fabrican chapas con superficies tratadas en los colores gris oscuro y rojo marrón, que se adaptan más a las cubiertas.

Mejoradas de esta forma y disponibles en distintas longitudes, las chapas onduladas se han abierto paso a otros tipos de construcciones, aplicándose incluso a edificaciones ya existentes. Los fabricantes han proporcionado unos detallados catálogos en donde constan las necesarias piezas especiales y propuestas de soluciones para todo tipo de detalles problemáticos. Así pues, el arquitecto sólo debe elegir entre las distintas piezas ofrecidas.

Sin embargo, aún le queda suficiente libertad para la composición de la cubierta empleando el apropiado tamaño de chapa y de ondulación, para la ejecución del alero, las viseras del frontón y la cumbre.

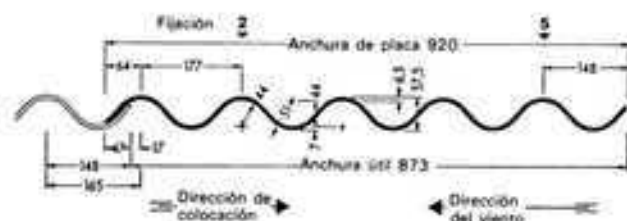
Utilizando estas posibilidades pueden resultar unas cubiertas ligeras y de aspecto elegante, como se puede comprobar, por ejemplo, en muchas casas unifamiliares en donde la cubierta inclinada es un elemento fuertemente dominante.

Placas onduladas perfil 177/51



Datos técnicos

Anchura de la onda	177 mm
Altura de la onda	51 mm
Espesor de la placa	6,5 mm
Tensión de flexión (adm.)	65 kg/cm ²
Momento resistente	85 cm ² /m



Material necesario:

Pendiente mínima de cubierta 7°

Material necesario como en el caso de 10° de pendiente. Colocación adicional de un cordón de masilla Prestik en los recubrimientos longitudinales, aprox. 1,25 m/m ancho de placa.

Pendiente mínima de cubierta	Distancia máxima alero-cumbre
7°	10 m
8°	20 m
10°	30 m
12°	> 30 m

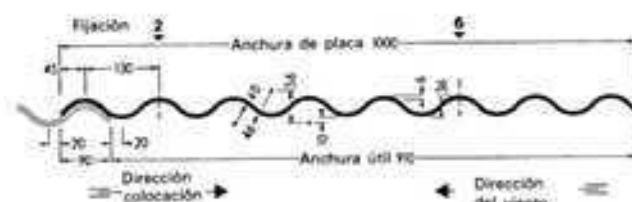
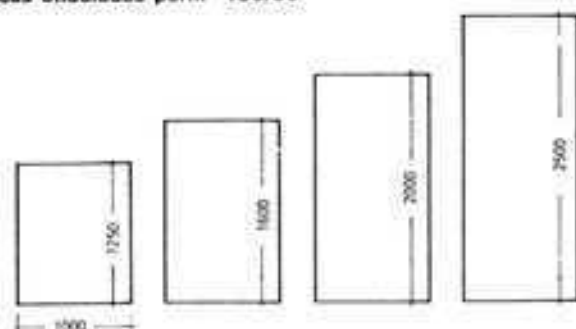
Pendiente mínima de cubierta 10°

Tamaño de placa b x h mm	Peso Kg/placa	Recubrimiento longitudinal mm	Tamaño útil de placa b x h mm	Cantidad piezas/m ²	Hipótesis de carga Kg/m ²	Distancia máx. entre correas en mm
920 x 2500 = 2,30	32,0	200	873 x 2300 = 2,01	0,498	20,0	1150
920 x 2000 = 1,84	25,5		873 x 1800 = 1,57	0,634		900
920 x 1600 = 1,47	20,5		873 x 1400 = 1,22	0,820		700
920 x 1250 = 1,15	16,0		873 x 1050 = 0,92	1,087		1050

Pendiente mínima de cubierta 20°

Tamaño de placa b x h			Peso Kg/placa	Recubrimiento longitudinal mm	Tamaño útil de placa b x h			Cantidad piezas/m²	Hipótesis de carga Kg/m²	Distancia máx. entre correas en mm
mm	mm	m²			mm	mm	m²			
920	×	2500	= 2.30	150	873	×	2350	= 2.05	0.488	1175
920	×	2000	= 1.84		873	×	1850	= 1.62	0.617	925
920	×	1600	= 1.42		873	×	1450	= 1.27	0.787	1450
920	×	1250	= 1.15		873	×	1100	= 0.96	1.042	1100

Placas onduladas perfil 130/30



Datos técnicos

Anchura de la onda	130 mm
Altura de la onda	30 mm
Espesor de la placa	6.0 mm
Tensión de flexión (adm.)	65 kg/cm²
Momento resistente	42 cm³/m

Material necesario:

Pendiente mínima de cubierta 7°

Material necesario como en el caso de 10° de pendiente mínima.

Colocación adicional de un cordón de Prestik en los recubrimientos longitudinales, aprox. 1,25 m/m de ancho de placa.

Pendiente mínima de cubierta	Distancia máxima alero-cumbrera
7°	10 m
8°	20 m
10°	30 m
12°	> 30 m

Pendiente mínima de cubierta 10°

Tamaño de placa b x h			Peso Kg/placa	Recubrimiento longitudinal mm	Tamaño útil de placa b x h			Cantidad piezas/m²	Hipótesis de carga Kg/m²	Distancia máx. entre correas en mm
mm	mm	m²			mm	mm	m²			
1000	×	2500	= 2.50	200	910	×	2300	= 2.09	0.478	1150
1000	×	2000	= 2.00		910	×	1800	= 1.64	0.610	900
1000	×	1600	= 1.60		910	×	1400	= 1.27	0.787	700
1000	×	1250	= 1.25		910	×	1050	= 0.96	1.042	1050

Pendiente mínima de cubierta 20°

Tamaño de placa b x h			Peso Kg/placa	Recubrimiento longitudinal mm	Tamaño útil de placa b x h			Cantidad piezas/m²	Hipótesis de carga Kg/m²	Distancia máx. entre correas en mm
mm	mm	m²			mm	mm	m²			
1000	×	2500	= 2.50	150	910	×	2350	= 2.14	0.467	1175
1000	×	2000	= 2.00		910	×	1850	= 1.68	0.595	925
1000	×	1600	= 1.60		910	×	1450	= 1.32	0.758	725
1000	×	1250	= 1.25		910	×	1100	= 1.00	1.000	1100

También las placas de fibrocemento están normalizadas en la DIN 274. Para las placas onduladas rigen los valores siguientes:

Peso específico aparente: 1500-2000 kg/m³

Absorción de agua ≤ 27%

Resistencia a flexión, perpendicular a la fibra ≤ 1700 kg/cm²

Momento resistente:

placa de onda grande 177/51, $W_x = 85 \text{ cm}^3/\text{m}$

placa de onda pequeña 130/30, $W_x = 42 \text{ cm}^3/\text{m}$

Recubrimientos

Hay que distinguir:

Recubrimiento longitudinal (bordes de las placas paralelos al alero).

Recubrimiento lateral (bordes de las placas perpendiculares al alero).

La medida del recubrimiento longitudinal depende de la pendiente de la cubierta.

En las cubiertas cuyas pendientes estén comprendidas entre 7 y 20° es necesario dar un recubrimiento longitudinal de 20 cm.

En cubiertas con pendiente de 3° a 10° el recubrimiento longitudinal debe impermeabilizarse adicionalmente mediante cordones

de material plástico como p. ej. Prestik. Para inclinaciones superiores a 20° el recubrimiento necesario en sentido longitudinal es de 15 cm.

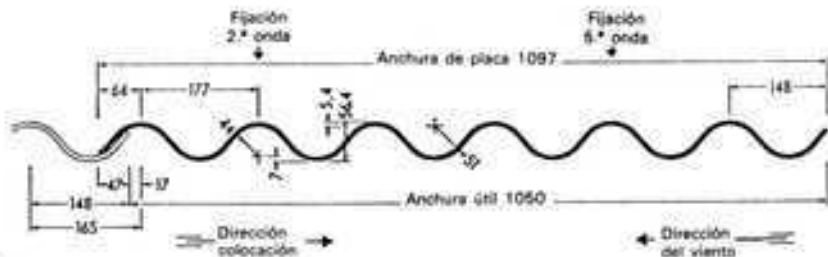
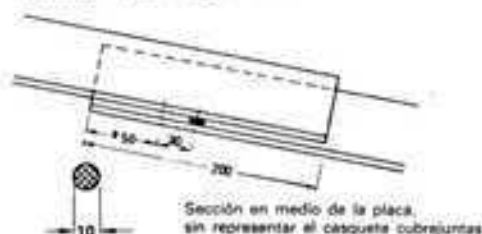
En una superficie de cubierta, todos los recubrimientos longitudinales deben ser iguales. Si las placas y las piezas especiales, aun conservando la anchura del recubrimiento indispensable, rebasan el tamaño de la superficie de la cubierta, puede repartirse por igual el exceso de longitud entre los recubrimientos longitudinales de cada una de las placas.

Cuando las anchuras del recubrimiento resultan muy grandes y antieconómicas, deben emplearse otras longitudes de placas. Mejor que una placa más corta en la cumbrera es una placa más larga en el alero.

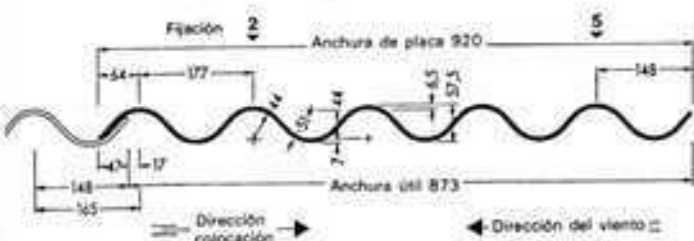
Recubrimiento longitudinal



Recubrimiento longitudinal



Cubrimiento en cubiertas con pendientes entre 5° y 7°

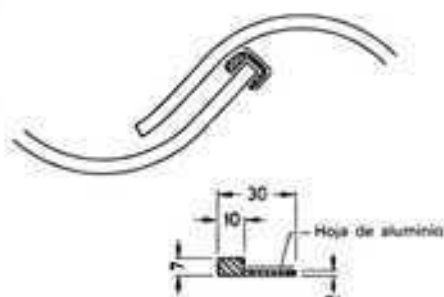


Datos técnicos

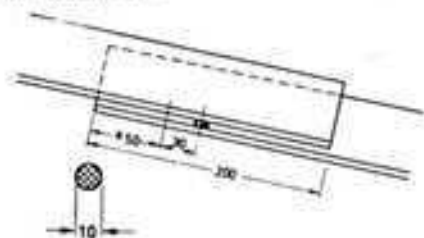
Longitud	625 mm
Anchura	1097 mm
Espesor	5,4 mm
Recubrimiento longitudinal	125 mm
Recubrimiento lateral	47 mm
Anchura útil	1050 mm
Longitud útil	500 mm
Superficie útil	0,525 m²/placa
Peso	7,8 kg/pieza

La colocación tiene lugar como para pendientes de 10°, pero con la inclusión de los materiales de juntas que se indican en las figuras, para los recubrimientos lateral y longitudinal.

Recubrimiento lateral



Recubrimiento longitudinal



Placas de ondas cortas

Las placas de ondas cortas para pendientes de la cubierta > 10° se fabrican con el perfil 177/51, con cinco y seis ondas. Sólo se emplean para las cubiertas de casas de viviendas y representan una imitación del tejado de tejas.

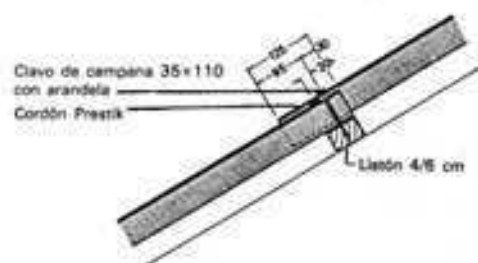
En el cubrimiento especial de cubiertas entre 5° y 7° no se alcanza la pendiente mínima prescrita.

La colocación es igual que en el caso de la pendiente de cubierta = 10°, pero han de preverse materiales aislantes tanto para el recubrimiento longitudinal como para el lateral.

Debe tenerse en cuenta que también el recubrimiento longitudinal requiere la colocación del cordón especial de 10 mm.

Pendiente mínima de cubierta

≥ 10° ≥ 18°



Colocación y fijación

Las placas se colocan en sentido inverso de la dirección de la lluvia y en tiras desde el alero a la cumbrera. A 20 mm por debajo de los orificios se dispone el cordón de Prestik "Z"; los dos extremos del cordón parten del seno de la onda y van con inclinación hacia arriba para no impedir la salida del agua. Una vez realizado el recubrimiento longitudinal, se hace el clavado a través de los orificios taladrados en la segunda y quinta cresta de las ondas.

Aleros, viseras del frontón y cumbreras

Aquí se sitúan placas del tipo O, las cuales por motivos de estabilidad al viento deben fijarse con tres clavos de campana sobre la segunda, cuarta y sexta cresta de onda. Los caballetes de una sola pieza llevan en total 6 clavos de campana.

Los recortes de la esquina y los orificios de las placas del tipo O deben hacerse en la obra.

Tipos de placa

Tipos L y R

Longitud 625 mm, anchura 1097 mm

En fábrica se las prevé con dos recortes de esquina, dos orificios de 10 mm Ø en el lado de la cumbrera y otros dos orificios de 5 mm Ø en el lado del alero. Los orificios se sitúan sobre la segunda y quinta cresta de las ondas. (figs. 1 y 2).

Tipo O longitud 625 mm

sin recortes de esquina y sin orificios. Preparación en la obra para colocarlas en los aleros, las viseras del frontón y en algunos casos también en las cumbreras (fig. 3). Para compensación de longitud en el alero, las placas del tipo O pueden suministrarse también con una longitud de 830 mm (fig. 4).

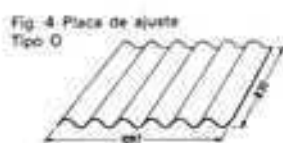
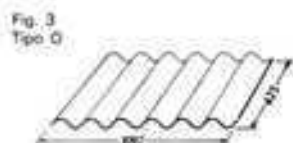
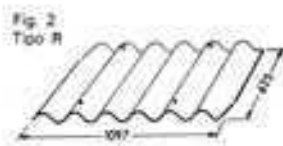


Fig. 5 Cubierta vista por encima.

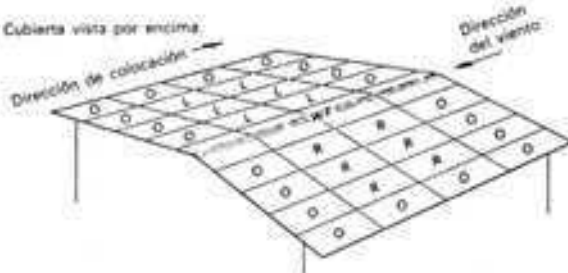
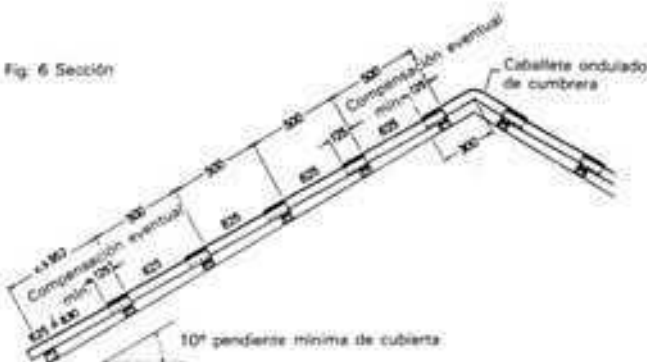


Fig. 6 Sección.



Almacenaje

Las placas onduladas que se apilan al aire libre deben cubrirse adecuadamente y ser protegidas contra las humedades y el ensuciamiento. Esto debe tenerse muy en cuenta al almacenarlas en las obras.

Colocación de las placas y distribución del enlustrado

Las placas se colocan sobre listones de madera de 4 x 6 cm que a su vez se fijan sobre los cabios con una separación de 500 mm entre sí. En caso de ser posible, ya en el proyecto la longitud de los cabios debería determinarse según una distribución económica, que puede hallarse fácilmente mediante la fórmula $x \cdot 500 + 250$ (x = número de separaciones entre listones), no tiempo resulta un saliente en el alero de aproximadamente 50 mm. En el cálculo estático de la cubierta se recomienda tener en cuenta el poco peso propio del revestimiento del tejado (según DIN 1055, hoja 1, $g = 20 \text{ kg/m}^2$). El ajuste de medida entre alero y cumbre se puede conseguir (fig. 6):

- Aumentando el recubrimiento longitudinal en la primera y eventualmente también en la segunda junta de placas del lado del alero (recortes de esquinas y orificios deben ajustarse debidamente).
- Aumentando el recubrimiento longitudinal entre la placa situada junto a la cumbre y la pieza moldeada que enlaza con ella (caballete ondulado de 1 o de 2 vertientes, pieza de encuentro con el muro o placa normal).
- Empleando en el alero la placa O de 830 mm de longitud.

Criterios para determinar el tamaño de las placas y la anchura de las ondas

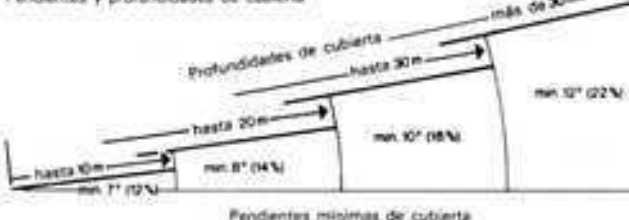
En principio se toma como regla:

Cuanto más pequeña es la pendiente de la cubierta, tanto más espacio escurre el agua de lluvia. En el caso de vientos fuertes, el agua puede incluso ser empujada hacia arriba, por lo que se requiere un recubrimiento completamente estanco. Por lo tanto se ha limitado la separación entre alero y cumbre de cubiertas hasta 7° a menos de 10 m; y por la misma razón deberían elegirse longitudes de placas de 2000 y 2500 mm para reducir el número de recubrimientos longitudinales.

Las pendientes de cubierta mayores de 10° ya condicionan menos la determinación de las longitudes de placa. Al distribuir las placas deberían tenerse en cuenta las dimensiones y el aspecto visible de la cubierta.

Por su poco peso se emplean preferiblemente las placas onduladas de 1250 mm de longitud. La elección de la anchura de la onda, es decir entre 177 y 130 mm, debería hacerse por el tamaño y la visibilidad de la cubierta. Se emplean más las placas de ondas grandes.

Pendientes y profundidades de cubierta

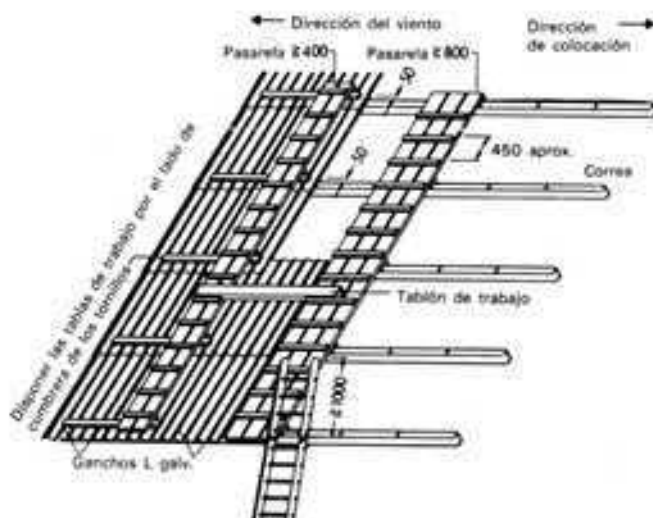


Entramado de cubierta

El escaso peso del revestimiento con placas onduladas (20 kg/m^2 de superficie inclinada) en contraste con el peso de un tejado corriente (con tejas planas de encaje, 55 kg/m^2) permite usar un entramado muy ligero. Para lograr la máxima economía en el entramado de las vertientes, las casas productoras preparan, a petición del cliente, planos de construcción (distribución de las correas). La construcción de los entramados de vertiente puede hacerse con madera y con acero. Las correas de madera son preferibles para las placas onduladas, que son bastante sensibles a los choques debido a que sus aristas son menos duras que las de las correas de acero. Si se desea que dichas correas sean resistentes al fuego es necesario darles una capa de pintura de protección, o impregnarlas suficientemente según DIN 4102. Las correas deben ser rectilíneas. La anchura de los apoyos para las placas onduladas debe ser, por lo menos, de 40 mm.

Colocación de las placas onduladas

Para la colocación de las chapas onduladas se sitúa sobre las correas un puente volante o pasarela de 80 cm de ancho, que se



asegura de manera que no pueda resbalar. Al colocar las placas previamente perforadas y achaflanadas en su ángulo se empieza por el muro piñón que da a la parte opuesta a los vientos dominantes. Una vez cubierta la primera serie desde el alero a la cumbre junto al muro piñón se corre el puente volante el ancho de una placa y sobre las tablas puestas transversalmente a las ondas y destinadas a repartir las cargas se coloca otro puente volante de 40 cm de ancho. Así, las placas de las series siguientes pueden ser colocadas y fijadas desde los dos lados. Dado que la obra y con ella las superficies de la cubierta siempre hacen algún asiento, es necesario repasar y apretar al cabo de algún tiempo los tornillos y las tuercas.

Sistemas de fijación

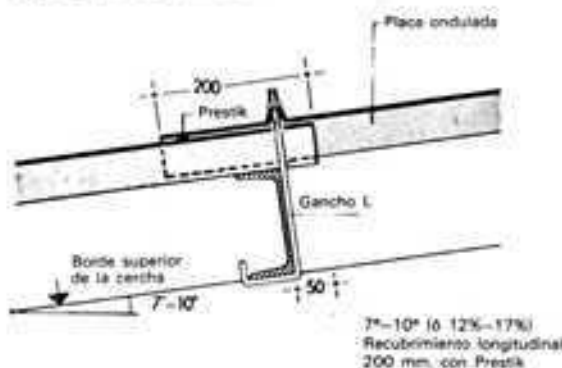
En general, en cada encuentro entre dos filas, la placa ondulada que queda debajo sobresale de la correa 50 mm por la parte que mira a la cumbre.

En los edificios que se hallan expuestos a grandes vibraciones o movimientos del entramado de cubierta, se recomienda la utilización de ganchos articulados.

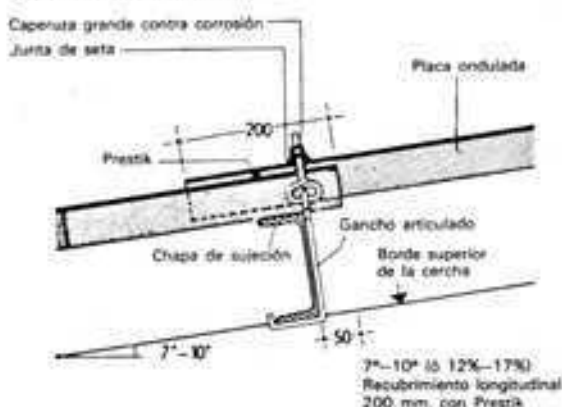
Los ganchos articulados están formados por dos piezas con una unión en forma de lazo. La parte inferior se atornilla sobre la correa de madera; la parte superior es un estribo de 90 mm de longitud para el perfil 177/51 y de 70 mm para el perfil 130/30. Para absorber el deslizamiento, se fijan las placas en el alero con tornillos para madera.

Las placas onduladas pueden fijarse sobre entramados de madera, correas de acero, correas tubulares y correas de hormigón armado, mediante tornillos galvanizados para madera, ganchos L o ganchos articulados, que se fijan sobre las crestas de onda prescritas. Todos los elementos metálicos que sobresalen de la cresta deben equiparse con una protección anticorrosiva en forma de caperuza. En el caso de tornillos para madera, basta con una caperuza pequeña; en el caso de ganchos, se precisa una caperuza grande.

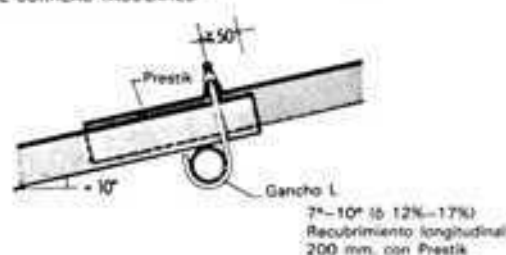
FIJACIÓN MEDIANTE GANCHOS L SOBRE CORREAS METÁLICAS



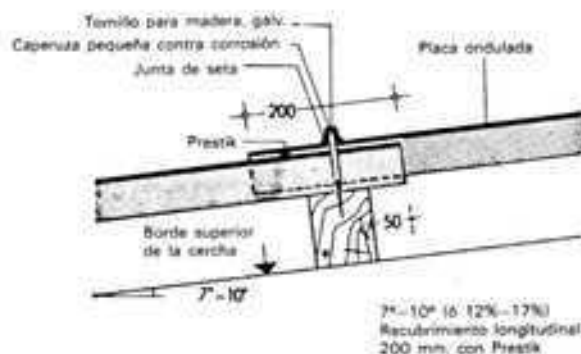
FIJACIÓN MEDIANTE GANCHOS ARTICULADOS SOBRE CORREAS METÁLICAS



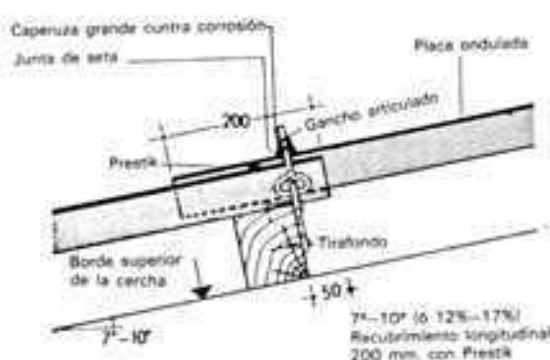
FIJACIÓN MEDIANTE GANCHOS L SOBRE CORREAS TABULARES



FIJACIÓN MEDIANTE TORNILLOS SOBRE CORREAS DE MADERA



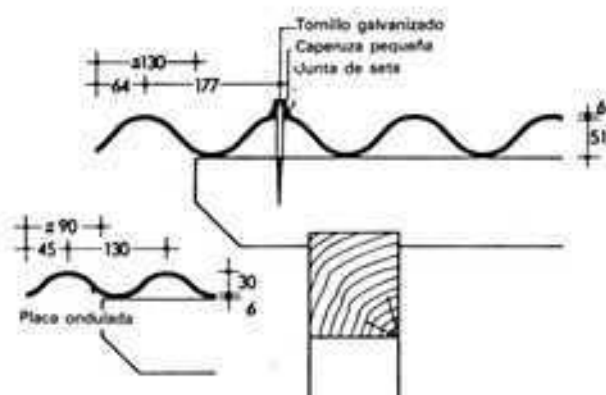
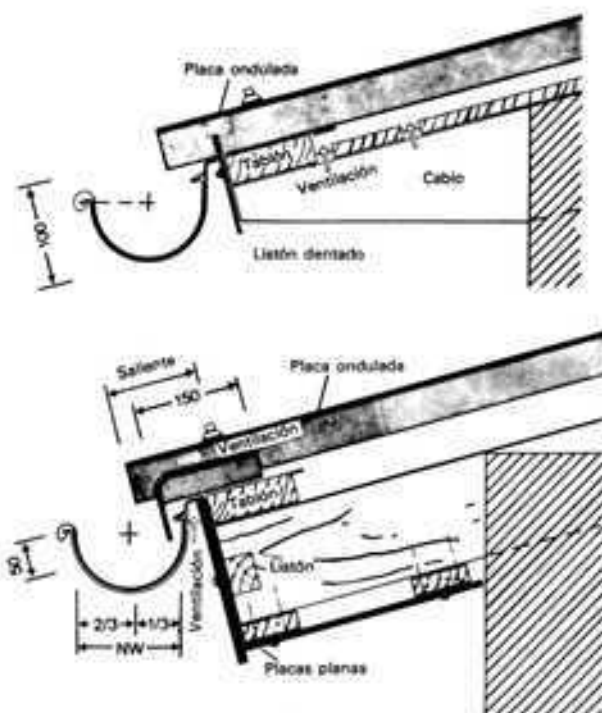
FIJACIÓN MEDIANTE GANCHOS ARTICULADOS SOBRE CORREAS DE MADERA



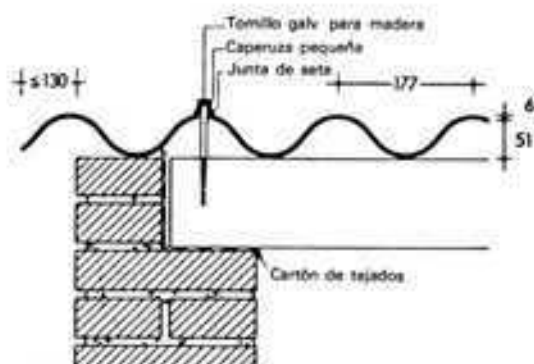
Aleros

El alero de una cubierta con placas onduladas presenta el mejor y más atractivo aspecto cuando la línea senoidal formada por los extremos de las placas queda totalmente a la vista. Este propósito se consigue mediante cornisas salientes y canalones bien separados del alero. Las molduras en forma de cajón que ocultan esa línea perjudican dicho aspecto. El cierre del alero puede hacerse con un listón dentado o con piezas especiales de fibrocemento.

Los listones dentados constituyen la terminación más sencilla de los aleros siempre que exista una base de apoyo donde fijarlos con tornillos. El borde dentado u ondulado de los mismos encaja exactamente en las ondulaciones de las placas. Los listones tienen las dimensiones siguientes: longitud 873 y 910 mm; altura total 150 mm; altura de las ondas 51 mm; espesor unos 6,5 milímetros. Se fijan con tornillos en tres puntos o se clavan con clavos. Si no se dispone de una base donde atornillar se usarán piezas de cierre del alero. Consisten en unas piezas en forma de escuadra con una de las caras ondulada como las placas de cubierta y de 150 ó 200 mm de longitud, y la otra cara plana de 40 mm de longitud. La fijación se hace simultáneamente con la de las placas onduladas de la faja del pie del alero. Al pedir esas piezas especiales para el alero debe indicarse la dirección de los vientos dominantes porque el ala plana va provista de enchufe o encaje lateral.



Buen remate en construcciones simples abiertas, sin sellado, para los perfiles 177/51 y 130/30.



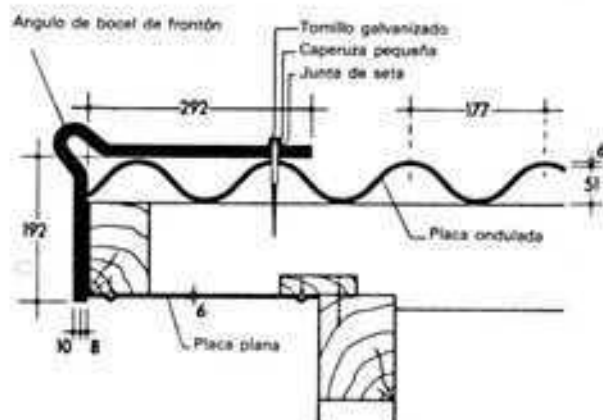
Visera del frontón

Igual que en el caso de las cubiertas de tejas, los aleros y las viseras del frontón deben considerarse conjuntamente. En las figuras se exponen una serie de posibles soluciones de viseras. Las placas onduladas causan mejor efecto cuando las viseras del frontón quedan al descubierto, sin perfiles de cierre, y en el alero es visible la línea senoidal. Sin embargo, en la mayoría de los casos sólo puede realizarse en casas de viviendas y en casas unifamiliares.

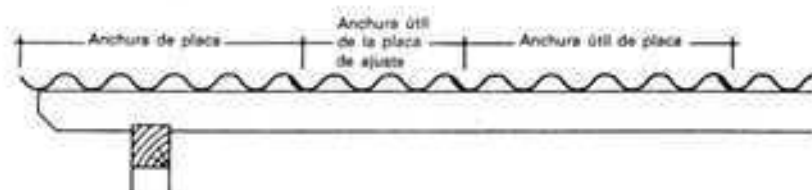
Reglas

1. El saliente lateral de las placas onduladas debe tener como máximo
con perfiles 177/51, 130 mm
con perfiles 130/30, 90 mm.
El seno de la última onda debe apoyarse completamente sobre el entramado de cubierta.
2. El remate bajo las placas puede conseguirse mediante
a/ placas planas,
b/ piezas angulares de frontón,
c/ ángulos de frontón ondulados.
3. En las viseras de frontón con pendientes superiores a 35° las placas marginales deben fijarse también en dos puntos sobre la correa central. Cuando las pendientes de cubierta son menores de 35°, las placas onduladas deben fijarse en una zona marginal de 2 m sobre la correa central y además en otros dos puntos.

Remate simple en construcciones cerradas para el perfil 177/51.



Ángulo de bocel de frontón. Para contrarrestar la acción del viento, la fijación se efectúa alternadamente en la primera y la segunda cresta de onda.

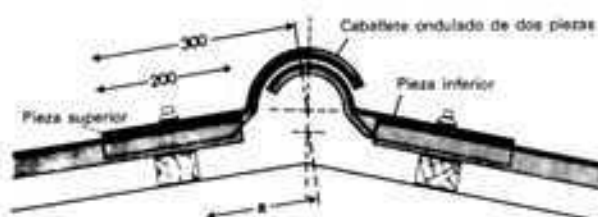
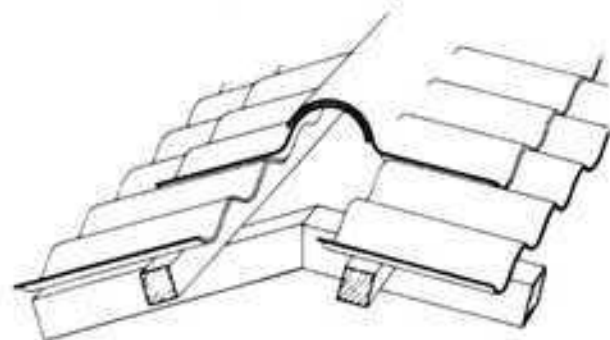


Disposición de la placa de ajuste.

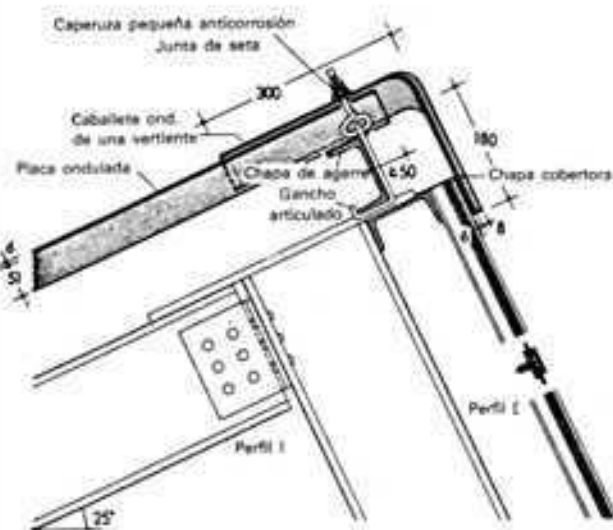
Cumbrera

También para la cumbrera existen una serie de piezas especiales. Si no es preciso ventilar el tejado por la cumbrera, como por ejemplo en el caso de naves aisladas y sin calefacción, los caballetes formados por dos piezas, que pueden ser utilizados para cualquier pendiente de cubierta, representan una solución satisfactoria. En el caso de la cumbrera de un tejado doble (ventilado), debe emplearse aparte de las dos o varias piezas especiales un casquete que cubra aquéllas. En las zonas de mucha nieve se emplean sistemas más seguros y más complicados.

CUBRIMIENTO DE CUMBRERA CON CABALLETE DE DOS PIEZAS

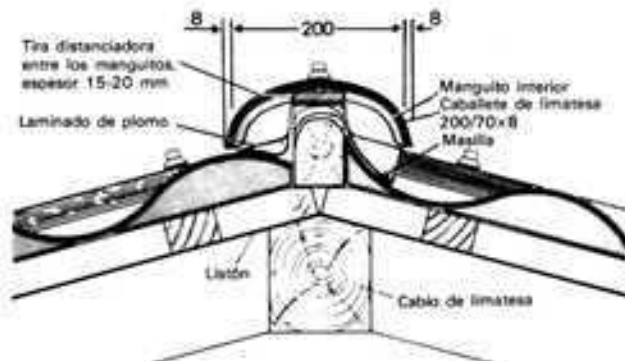


Cierre mediante caballete ondulado de una vertiente, perfil 177/51. Fijación con ganchos articulados.



Limas tesas

Las limas tesas se hacen estancas mediante solapado con plomo y luego se cubren con caballetes. También hay piezas planas especiales que deben impermeabilizarse con mortero de cal y pelote. Cada una de las casas productoras fabrica sus formas especiales para esta clase de piezas destinadas a cubrir las limas tesas.



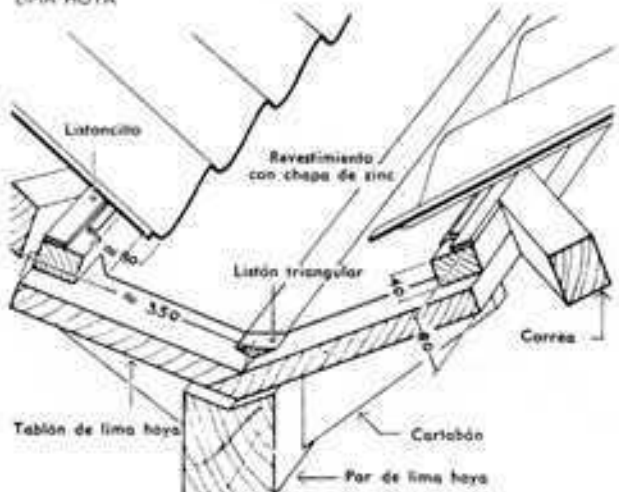
Limas hoyas

Pueden ir recubiertas con metal o con piezas de fibrocemento de forma especial.

En las limas hoyas de muy poca pendiente es fácil que se produzcan defectos de impermeabilidad.

Los cortes oblicuos de las chapas onduladas no tienen buena apariencia, por lo cual es aconsejable la cubierta de fibrocemento ondulado para edificios de un solo cuerpo y de planta regular.

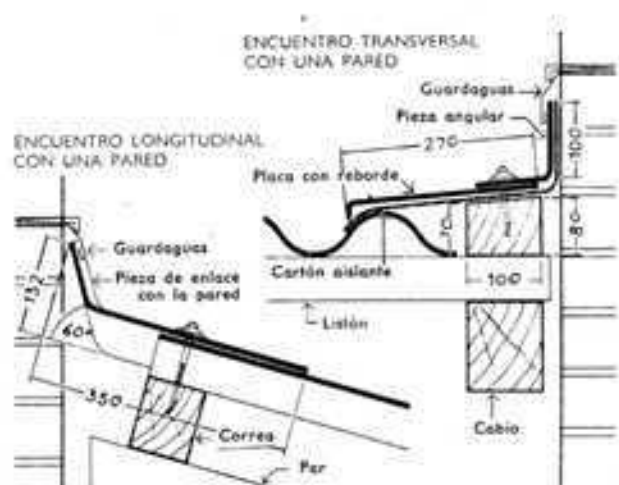
LIMA HOYA

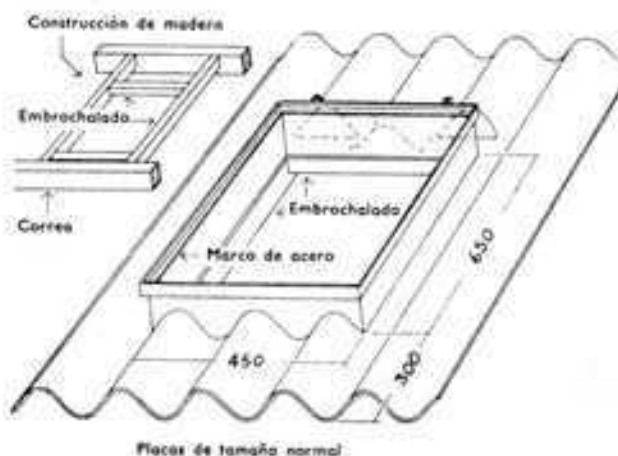


Encuentros con paredes

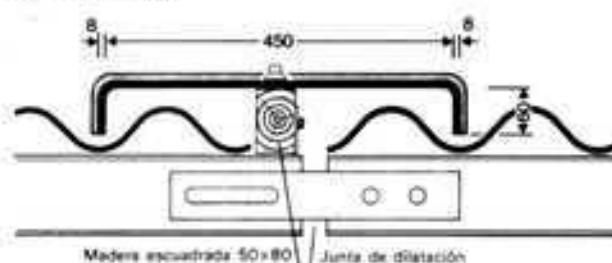
Las piezas de encuentro tienen una aleta plana y otra ondulada. La dirección de los vientos dominantes debe ser indicada al pedir esas piezas. Entre la obra de la pared y las piezas de forma especial debe dejarse una junta movable de 1 a 2 cm, que se cubrirá con un guardaguas de chapa.

Los encuentros con los hastiales de las cubiertas sin visera se obturan con piezas angulares especiales o con escuadras de chapa metálica. Hay que evitar los enlaces rígidos.



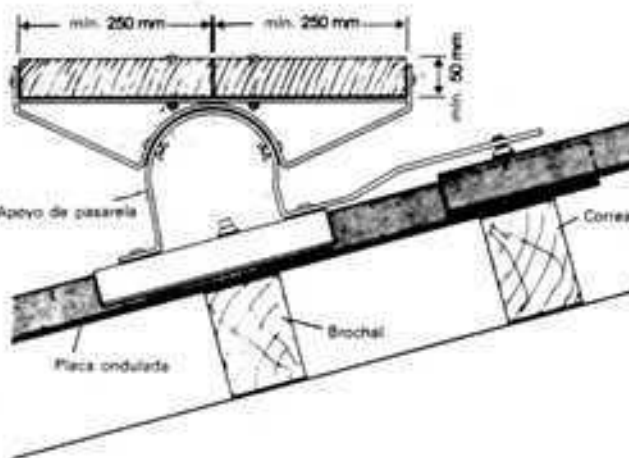


Junta de dilatación



Tablones de paso

Sobre las cubiertas de placas onduladas normalmente no se puede circular. Para dar acceso a algunos puntos de la cubierta, como pueden ser chimeneas, ventiladores, etc., deben colocarse los tablones correspondientes que garanticen una segura circulación. Estos tablones tendrán una anchura mínima de 50 cm. En muchos casos se colocan dos tablones de 25 cm de anchura cada uno sobre unas armazones que los fabricantes entregan juntamente con los tablones.



Plexiglás ondulado

También las placas de plexiglás onduladas se fabrican con las mismas dimensiones en placas y ondas que las placas onduladas de fibrocemento.

Las placas onduladas de plexiglás, lo mismo que las de vidrio armado, pueden colocarse junto con las de fibrocemento.

El plexiglás es muy insensible a las temperaturas y tiene una elevada resistencia a la rotura, así como un peso muy ligero. El peligro de que se ensucie es escaso, porque la suciedad es arrastrada fácilmente de su superficie por la lluvia.

Su precio es más elevado, pero con frecuencia queda compensado por permitir una armazón más sencilla, debido a su menor peso.

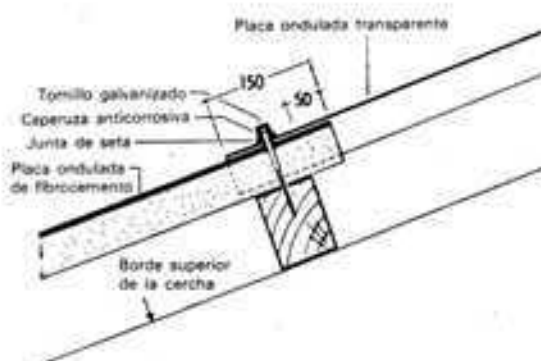
Debido al distinto grueso que tienen las placas onduladas (6 ó 6,5 mm) y las de Eterplast (aprox. 1 mm), si no se disponen correctamente resultan anchas juntas en el recubrimiento longitudinal. Para evitarlo, las placas transparentes no deben colocarse entre las placas de fibrocemento, sino en el enlace superior por debajo de éstas y en el enlace inferior por encima.

Fijación

Cada placa debe fijarse sobre cada correa —por lo tanto también sobre las correas centrales—: los perfiles de 177/51 se fijan sobre la primera, tercera y quinta cresta de onda; y los perfiles 130/30 sobre la primera, tercera y sexta cresta de onda.

Al enmasillar el recubrimiento longitudinal se recomienda para el perfil 130/30 un atornillado sobre la primera, tercera, quinta y séptima cresta de onda.

En los puntos de fijación se colocan distanciadores en el caso de recubrimientos entre placas onduladas de fibrocemento y placas transparentes y para la fijación sobre la correa central. Los recubrimientos laterales deben atornillarse entre las correas, siempre que la separación entre correas sea superior a 1175 mm.



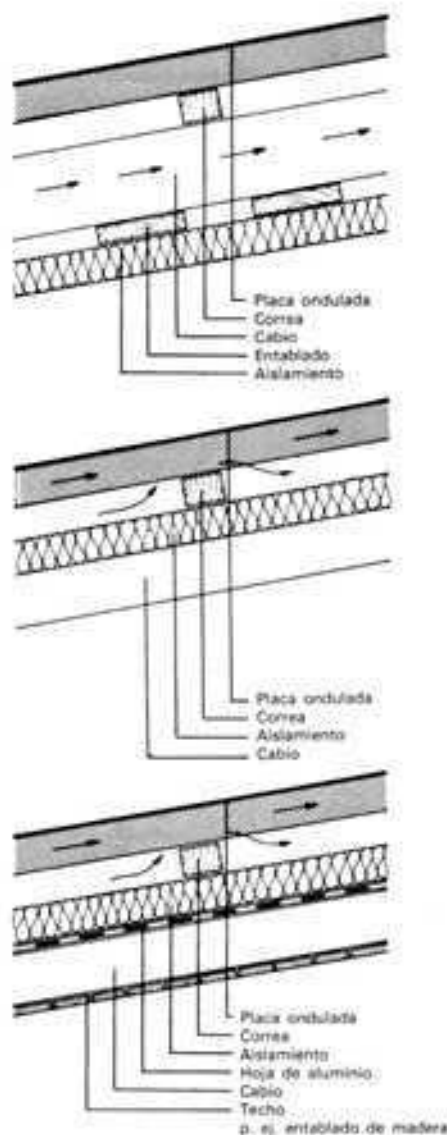
Cubiertas ventiladas

La crisis energética ha demostrado que en el futuro habrá que estudiar con más profundidad el aislamiento térmico de las cubiertas de placas onduladas de fibrocemento.

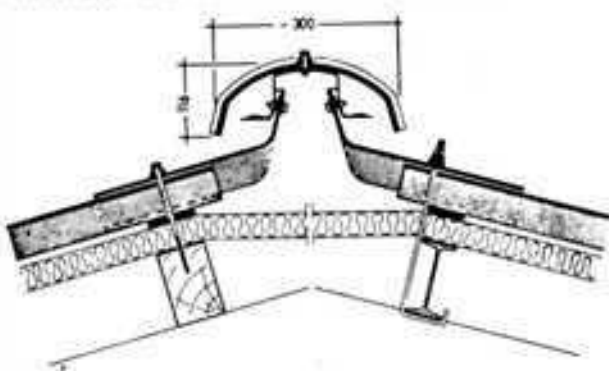
Para las naves industriales y construcciones parecidas se emplea como aislante en la mayoría de los casos una espuma de poliéster. Sin embargo, estas espumas deben ser de difícil inflamabilidad y garantizar una perfecta ventilación del tejado. También en la construcción de viviendas se emplean cada vez más las placas onduladas; en los edificios con buhardillas habitadas se prestará especial atención a un adecuado aislamiento térmico (si es posible con lana mineral de grueso superior a 80 mm). En el caso de sotabancos de cubierta inclinada deben tenerse muy en cuenta los siguientes puntos:

- 1) Las construcciones ligeras requieren barreras contra el vapor adicionales;
- 2) perfecta ventilación (cubierta de cubierta ventilada);
- 3) protección contra la nieve en forma de tiras de polietileno de baja inflamabilidad o placas de fibrocemento con alto contenido de celulosa de 1 mm de grueso.

Un revestimiento en la cara inferior del forjado proporciona un aislamiento óptimo.



Ventilación por la cumbrera en cubierta de dos hojas (ventilada)



Cumbrera de cubierta ventilada para perfiles 177/51 y 130/30. Sección de ventilación para ambas vertientes de la cubierta aprox. 500 cm²/m, con piezas de enlace a pared, chapa galvanizada y perfiles protectores así como casquetes de cumbrera con manguito (1200 mm longitud constructiva).

Ventilación continua por la cumbrera

Para las capas de aislamiento dispuestas directamente bajo el forro de placas onduladas de la cubierta, sólo la ventilación continua por la cumbrera puede considerarse como sistema adecuado.

En la tabla siguiente se recogen las secciones requeridas para las entradas y salidas de aire, como valor orientativo, en función de la profundidad del edificio. Estas secciones corresponden a cubiertas de una sola vertiente; para cubiertas a dos vertientes con la misma profundidad de edificio, el valor dado en la tabla ha de repartirse entre ambos aleros.

Profundidad del edificio m	Secciones de ventilación	
	Entrada de aire en el alero	
	$S_{\text{alero}} \sim \frac{1}{800} \cdot S_{\text{cubierta}}$ cm ² /m	$S_{\text{cubierta}} \sim 1,2 \cdot S_{\text{alero}}$ cm ² /m
8,0	100	120
10,0	125	150
12,5	157	188
15,0	188	226
17,5	219	263
20,0	250	300

Revestimientos metálicos para cubiertas

El revestimiento de chapas u hojas metálicas es apropiado para cubiertas ligeras con escasa pendiente y para las cubiertas de formas complicadas. Los revestimientos de planchas figuran en la categoría de los que tienen por misión conducir y desviar las aguas, es decir, de aquellos cuya capa superficial no obtura herméticamente el paso al aire o al agua. Los copos o el polvillo de nieve, el humo con sus partículas de hollín y el agua en salpicaduras pueden llegar a penetrar en el interior del cobertizo. Sin embargo, de todas esas cubiertas, las metálicas son las menos permeables.

Uno de los inconvenientes de la cubierta metálica es que apenas protege contra las fluctuaciones de la temperatura, por lo que hay que contar con notables cantidades de agua de condensación. El elevado coste de construcción viene compensado las más veces por el reducido gasto de mantenimiento y por el valor del material de desecho cuando se procede a renovaciones del revestimiento.

El revestimiento hecho con hojas metálicas es un revestimiento de obturación. Las hojas se pegan y resultan una superficie unida e impermeable.

Materiales

Como materiales para las cubiertas metálicas se emplean chapas de cinc, de cobre, de plomo y de aluminio, chapas Armco y más raramente chapas de acero; además, hojas (láminas delgadas) de cobre y de aluminio.

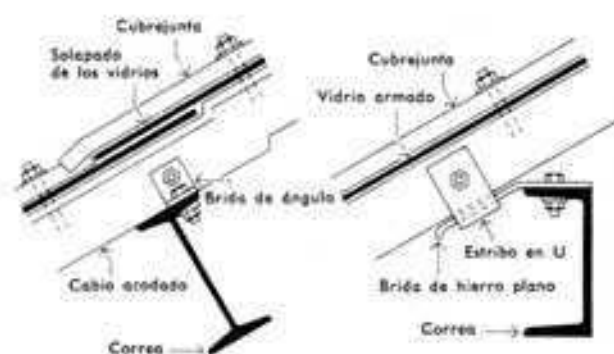
Chapa de cinc

Es un material agrio, que sólo a temperaturas de 120 a 140° C puede deformarse plásticamente. Sin embargo, las chapas de cinc pueden doblarse y plegarse en frío hasta unos -8° C; a temperaturas inferiores son quebradizas y no se pueden trabajar. Si se le quieren dar dobleces formando aristas vivas paralelas a la dirección del laminado se producen roturas ya a la temperatura normal.

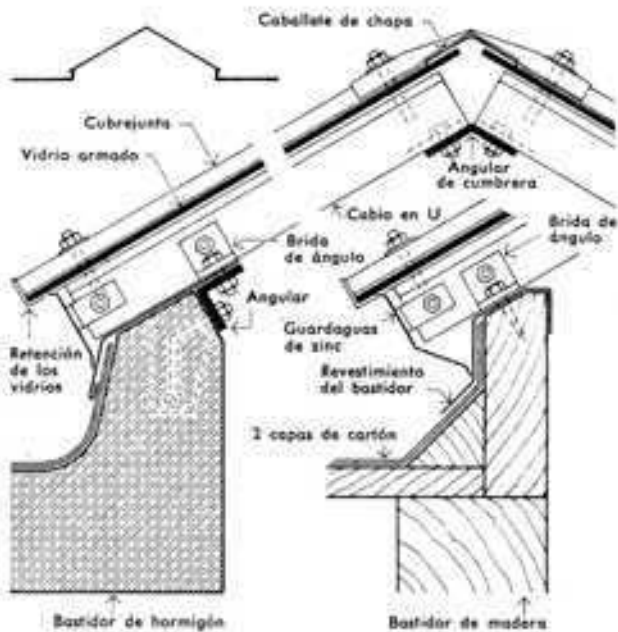
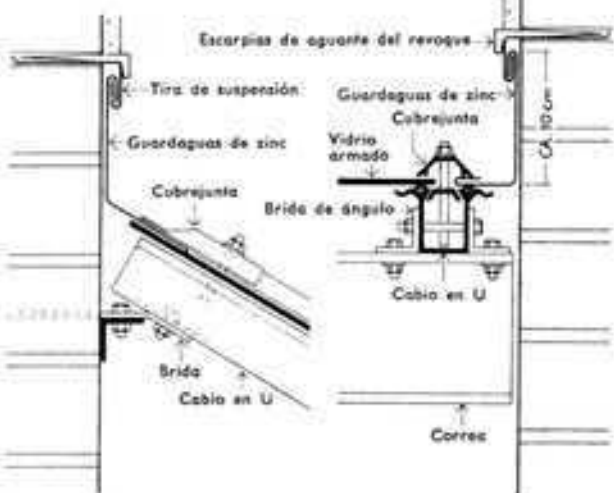
Expuesto al aire, el cinc se recubre de una capa gris blanquecina de carbonato de cinc, insoluble en el agua y que preserva el metal de nuevas oxidaciones. Expuesto largo tiempo a los agentes atmosféricos va modificándose su estructura, que se va volviendo más cristalina y frágil. En tanto que en las construcciones rurales la chapa de cinc alcanza una duración de unos 40 años, en las ciudades y bajo el efecto de atmósferas agresivas esa duración es más reducida: 20 a 30 años. No son únicamente los contenidos ácidos o salinos del aire los que tienen efectos destructores sobre la plancha de cinc sino también el agua de las condensaciones y los morteros de cal, cemento o yeso de amasado reciente.

Como todas las chapas metálicas (excepción hecha de la de plomo), debe mantenerse fuera de contacto con otros metales, a fin de evitar acciones electrolíticas. Las adherencias o costuras de

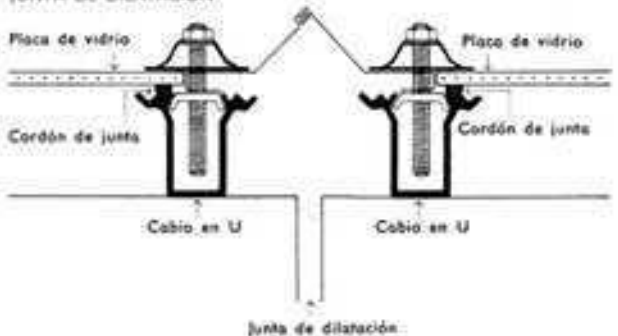
FIJACIÓN A LAS CORREAS



ENCUENTROS CON PAREDES

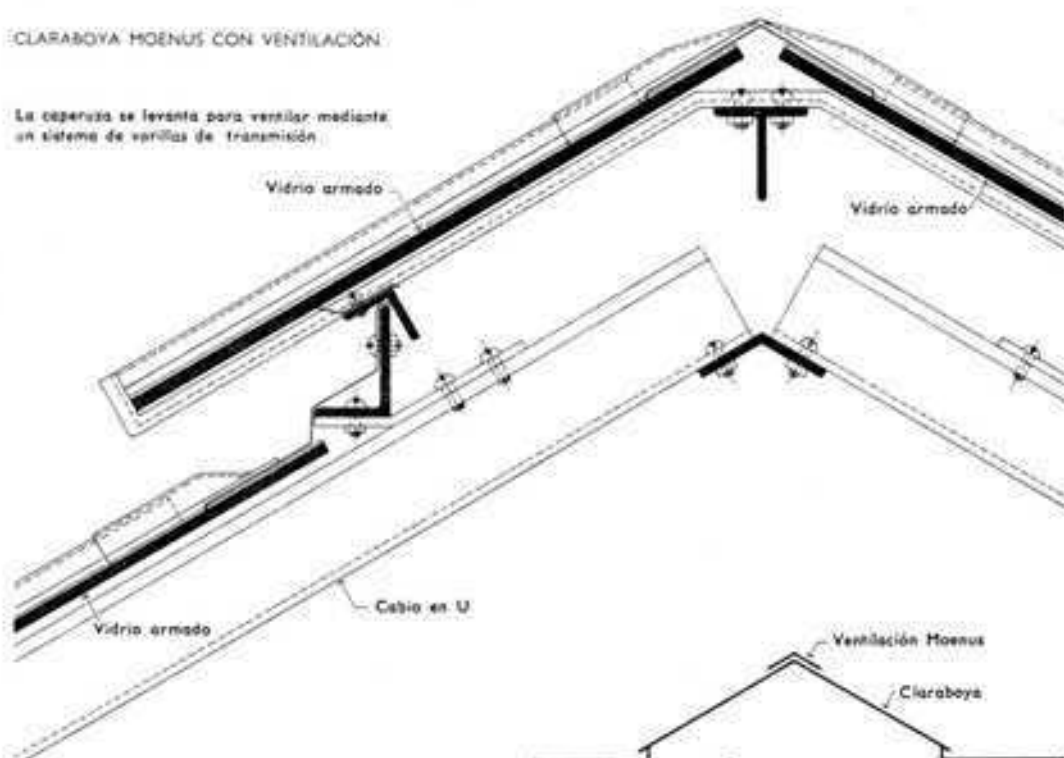


JUNTA DE DILATACIÓN



CLARABOYA MOENUS CON VENTILACIÓN

La caperuza se levanta para ventilar mediante un sistema de varillas de transmisión.



hollin combinadas con el agua de lluvia dan lugar también a su corrosión electrolítica.

El coeficiente de dilatación térmica del cinc (0,00003) es muy elevado. Con una diferencia de temperatura de 50° una tira de chapa de este metal se alarga o se encoge 1,47 mm por metro lineal. En iguales circunstancias, el cobre sólo varía 0,86 mm y el hierro sólo 0,61 mm. Las construcciones con chapas metálicas de estos metales deben tener en cuenta estas características del material.

La chapa de cinc (DIN 9721) se encuentra en el mercado con espesores

desde 0,15 mm con un peso 1,08 kg/m²
hasta 6,0 mm con un peso de 43,1 kg/m²

Para construcción se emplean los espesores de
0,65 mm con 4,67 kg/m² para tubos bajantes de lluvia
y de

0,75 mm con 5,38 kg/m² de peso para canales de alero,
revestimientos de cubiertas, etc.

Entre los tamaños de las chapas comerciales:

0,65 x 2,00 m,
0,80 x 2,00 m,
1,00 x 2,00 m y
1,00 x 2,50 m

el montador de cubiertas metálicas prefiere las de 1,00 x 2,00 m. Todas las chapas de cinc deben llevar troqueada la marca de fábrica del taller de laminación que las entregó.

Chapas de cobre

Son de duración casi ilimitada, como lo prueban cubiertas que tienen 900 años. El cobre expuesto al aire se oxida progresivamente y se recubre de una capa que se suele denominar "pátina", que al principio es pardusca y más tarde se vuelve de un color verde azulado. El contacto con otros metales debe evitarse, a excepción del de las piezas de bronce, con forros de cobre. Las chapas de cobre (DIN 1752) se obtienen por laminación con espesores que van desde 0,1 mm (0,890 kg/m²) hasta 5 mm (4,45 kg/m²). Para revestimientos de cubiertas se emplean en la mayoría de los casos chapas de 0,7 mm de espesor (6,23 kg/m²). Se encuentran en tamaños comerciales con anchos de 30 a 100 cm y largos de 100 a 300 cm. (Son preferidas las chapas de 1,00 x 2,00 mm.) Las chapas de cobre, sin embargo, suelen resultar demasiado caras para poderlas emplear en el revestimiento de toda una cubierta. Se suele acelerar la formación de "pátina" dando a las chapas después de colocadas varias manos de barniz de aceite de pescado. En las localidades industriales adquiere el cobre una pátina negra poco agradable.

Chapas de plomo

La chapa de plomo es de muy fácil adaptación por su gran plasticidad. Se fabrica como chapa blanda o como chapa dura con espesores desde 0,50 mm (5,70 kg/m²) hasta 15 mm (171,00 kg/m²) y se vende comercialmente arrollada en piezas hasta de 4 metros de anchura y 20 m de largo (peso de los rollos hasta 6000 kilogramos).

La chapa de plomo duro, para techar con un espesor de 0,5 mm se emplea principalmente para impermeabilizar las uniones o las limas hoyas cuyo aparejo ofrece dificultades.

La chapa de plomo duro de 0,5 mm de espesor corresponde a la de plomo blando de 1,00 a 1,25 mm de espesor. Las chapas de plomo son insensibles al contacto de otros metales (casi electrolíticamente neutras) e insensibles también a los agentes atmosféricos. Como material para revestir cubiertas por completo apenas se usa.

Chapas de aluminio

La chapa de aluminio se usa en la actualidad cada vez en mayor escala en el revestimiento de cubiertas por haberse comprobado su alta resistencia a la corrosión. Cubiertas que se revistieron a principios de siglo por vez primera con metal ligero, no muestran todavía en la actualidad ningún desgaste. La aleación "alumán" especial para cubiertas que producen las fábricas de laminación de aluminio de Singen/Hohentwiel supera todavía a los materia-

les usados anteriormente. La chapa de aluminio laminada en frío (DIN 1753) se fabrica con espesores de 0,2 (0,54 kg/m²) a 5 mm (13,50 kg/m²). Comercialmente se encuentran placas de aleaciones de aluminio (DIN 1783) de 0,2 mm a 3,00 mm. El "alumán" con una resistencia a la tracción de 18 a 25 kg/mm² y una dureza Brinell de 45 a 60 kg/mm² se emplea con espesores de 0,6 (1,62 kg/m²) a 0,8 mm (2,16 kg/m²). Cuando el aluminio está en contacto con obra de fábrica, las sustancias alcalinas, procedentes del fraguado del cemento, combinadas con la humedad, atacan el aluminio. También debe evitarse su contacto con el acero sin preparar y con metales a base de cobre. Todos los puntos de contacto, por consiguiente, deben protegerse con pintura de cromato de cinc o de betún asfáltico (no usar minio!) o, mejor aún, interponiendo cartón asfáltico, sin arena, yute asfáltico o alguna otra materia análoga. El contacto de las aleaciones de aluminio con acero galvanizado o cadmiado no es peligroso. En el caso del acero inoxidable o de los aceros fosfatados es recomendable un sencillo pintado. También hay que evitar el contacto con la humedad de las maderas mediante el pintado del aluminio. En las construcciones de aluminio y madera impregnada en determinados productos, es siempre conveniente un pintado del aluminio.

Chapas "Armco"

Son chapas de hierro galvanizadas preparadas con un hierro muy puro (99,85 %) ("Armco" es la denominación abreviada de la casa norteamericana que las fabricó originariamente). Debido a su gran pureza, su oxidación se produce lentamente y la capa de óxido sólo penetra muy despacio y uniformemente en la masa. Otra consecuencia de dicha cualidad es su maleabilidad, que lo hace recomendable como material para techar, por lo fácil que es hacerle dobleces y pliegues. La chapa "Armco" casi siempre se hace de 1 mm de espesor.

Chapas de acero

La chapa de acero galvanizada, cobreada o emplomada tiene corta vida si se emplea como revestimiento de cubierta. Al plegarla suele estropearse el baño en los sitios de los pliegues, con lo cual aumenta el peligro de su oxidación.

Hojas metálicas

Las hojas Alcuta¹ (aluminio) y Tecuta¹ (cobre) se fabrican en longitudes de 35 a 40 m, comercialmente. El producto Alcuta está tratado por el método MBV, es decir, está obtenido por medio de un tratamiento químico especial, que le da una protección superficial eficaz contra la corrosión.

Hojas Alcuta		Hojas Tecuta	
Espesor	Peso (aprox.)	Espesor	Peso (aprox.)
mm	kg/m ²	mm	kg/m ²
0,4	1,08	0,3	2,7
0,5	1,35	0,4	3,6
0,6	1,62	0,5	4,5
0,7	1,89	0,6	5,4
0,8	2,16	0,7	6,3
		0,8	7,2

Cantidad necesaria de masilla adhesiva:

Sobre madera 2,75 kg/m²;

Sobre obra de fábrica 3,50 kg/m².

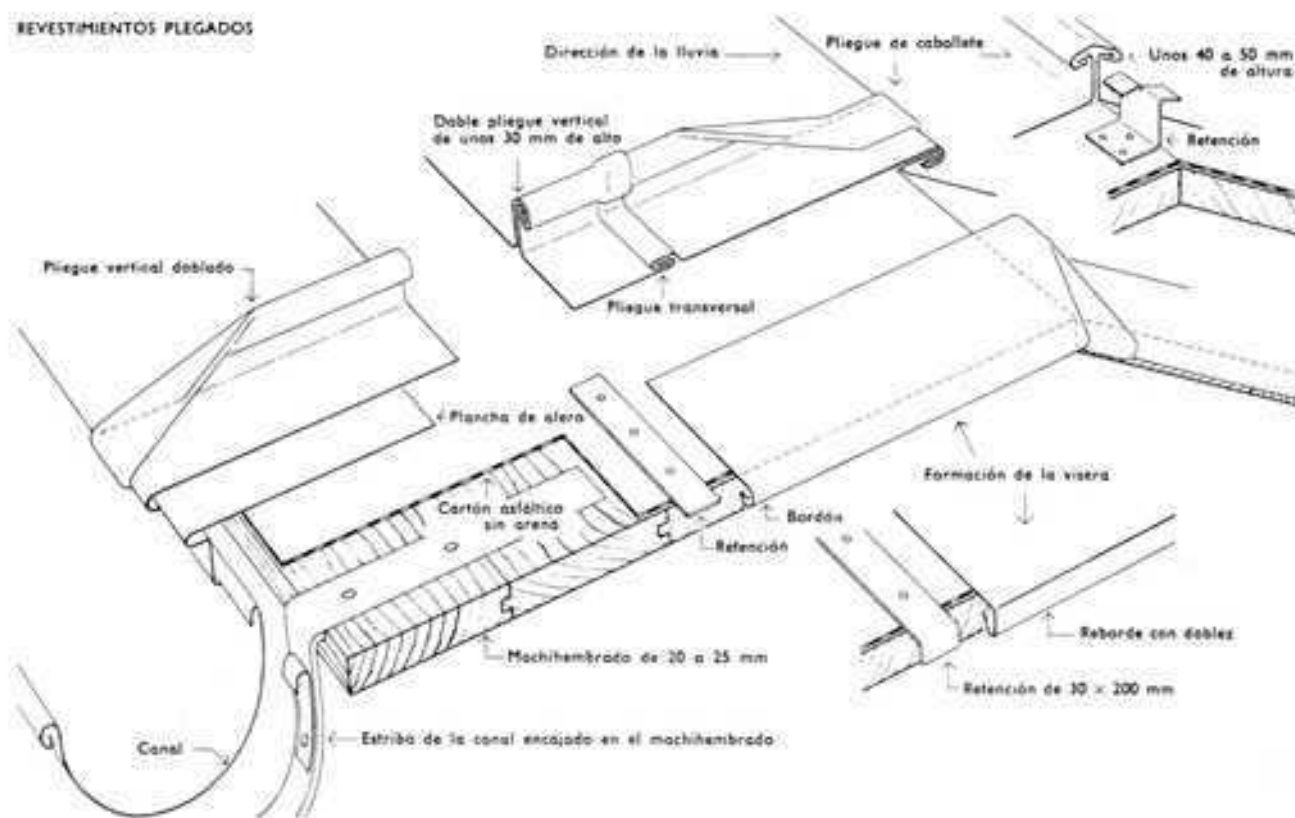
Para más detalles acerca de las hojas metálicas véase más adelante.

Sistemas de colocación de los revestimientos metálicos

De los antiguos sistemas de colocación solamente dos subsisten en la actualidad: el sistema de pliegues y el de listones. En todos los revestimientos metálicos sólo debe emplearse en la cubierta una única clase de metal, pues si hay puntos en que se ponen en contacto dos metales diferentes, por la acción de la humedad se producen corrosiones electrolíticas.

Las chapas metálicas pueden ir colocadas sobre madera o sobre forjado de obra u hormigón. El tablero de madera que ha de ser-

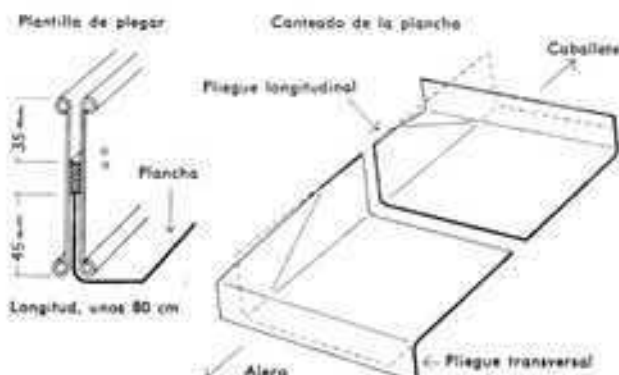
1. De la Vereinigte Deutsche Metallwerke A. G. Establecimiento central, Hedderheimer Kupferwerk, Frankfurt/M-Hedderheim.



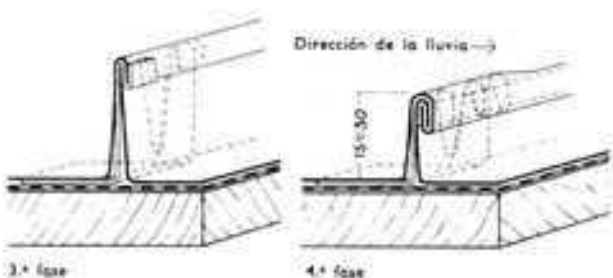
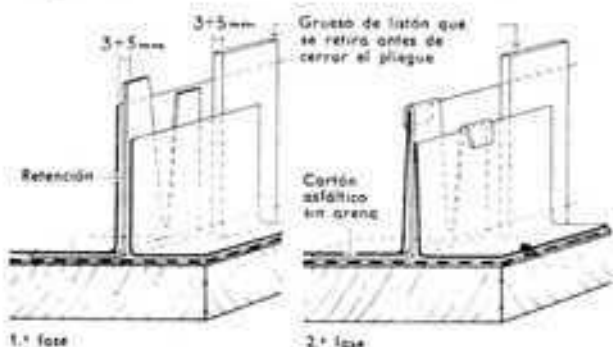
vir de base o soporte no debe ser flexible, tendrá por lo menos de 20 a 25 mm de espesor y será de tablas machihembradas. En las vertientes de obra o de hormigón ordinario se colocarán, para la fijación de las retenciones, listones de madera alquitranados con sección de cola de milano, dispuestos paralelamente al alero a distancias de 50 cm. La capa de soporte se ha de despojar de todas sus desigualdades a fin de no dañar la chapa metálica. Entre la lámina metálica y la capa o base de soporte debe interponerse una capa de cartón asfáltico, sin alquitrán ni arena. Sobre una base de apoyo de hormigón, el cartón se pegará con una materia adhesiva; sobre tablero de madera se fijará con clavos. La capa de cartón protege el metal contra las emanaciones húmedas de la madera o del hormigón y asimismo el soporte de base contra el agua de condensación que se forma debajo de la chapa metálica. Además amortigua el ruido de la lluvia sobre la cubierta.

Revestimientos metálicos plegados

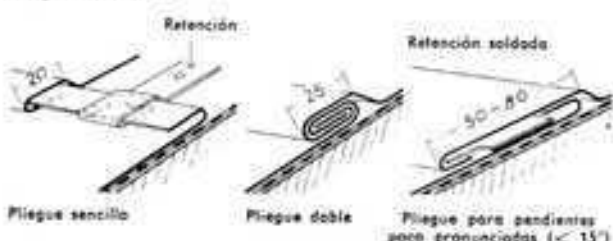
Cada chapa metálica se une con las otras mediante pliegues sencillos o, generalmente, dobles. Estos pliegues no permiten movimientos importantes de las planchas. Por consiguiente, este sistema de colocación es principalmente adecuado para las planchas de cobre que, por ejemplo, con 10 m de largo y diferencias de temperatura de 100° C sólo se dilatan 17 mm, en tanto que el aluminio, en iguales circunstancias, se dilataría 24 mm y el cinc 29 mm.



Pliegue vertical



Pliegues transversales



Los pliegues longitudinales, perpendiculares al alero, son rectilíneos y se suelen hacer dobles. Los paralelos al alero o pliegues transversales solamente se hacen dobles en el caso de cubiertas de muy poca pendiente; para cubiertas de mayor inclinación basta con el pliegue sencillo. Las chapas se colocan con las juntas horizontales alternadas. Antes de la colocación se doblan hacia arriba los bordes que han de plegarse, mediante las tenazas o con una plantilla de doblar. El levantamiento de los bordes longitudinales se efectúa de manera que su altura, una vez levantados, sea de unos 15 ó 30 mm. Para poder doblar los bordes transversales es preciso que los bordes longitudinales previamente levantados se doblen hacia atrás en sus extremos superior e inferior. En los edificios altos se emplean, generalmente, tiras de chapas metálicas. Por lo tanto se prescinde en estos casos de doblar los bordes transversales.

La parte del pliegue transversal que tiene que quedar del lado de arriba tiene que doblarse hacia arriba y la otra parte, que es la que mira hacia el alero, tiene que doblarse hacia abajo. Al proceder a la colocación se ponen primero las chapas inferiores del alero, de las viseras de los frontones y todas las de las protecciones y defensas que se hayan previsto. Luego se comienza por el alero la colocación de las chapas de cubierta, embordándolas con las de protección antes colocadas.

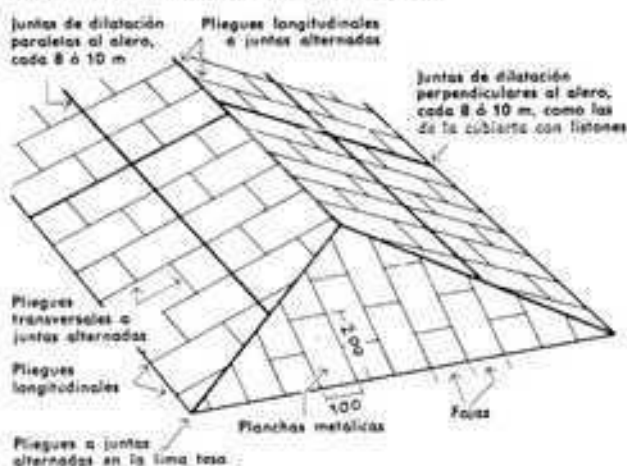
A continuación se fijan encima, en la parte de los pliegues transversales, dos retenciones de plano, en tanto que en la parte de los pliegues longitudinales se fijan dos o tres retenciones verticales por metro, cuyas puntas se doblan a uno y otro lado por encima del borde levantado de las planchas inmediatas, que quedan así sujetas. Las planchas siguientes se embordan por su borde inferior al borde superior de las que están más abajo y se van fijando con las correspondientes retenciones. Y así se va siguiendo de plancha en plancha hasta llegar a la cumbre. Una serie de esta clase recibe el nombre de "faja". La faja siguiente empieza con una plancha corta o "media plancha" porque los dobles de dos embordados transversales no conviene que caigan en el mismo punto. Una vez las planchas de la segunda faja están fijadas con sus retenciones puede procederse al embordado: se les da primero un embordado o doblez sencillo para pasar luego al doble.

Revestimientos metálicos con listones

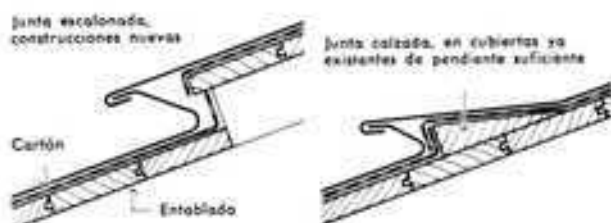
Los listones, perpendiculares al alero, son asiento y molde de las juntas longitudinales de las chapas.

En este revestimiento de cubierta, las chapas trabajan con independencia unas de otras. Para los revestimientos con plancha de cinc, este sistema de colocación es muy adecuado. Una pendiente del 15% suele ser muy favorable en estos casos. Los listones con sección trapecial deben ser de madera de buena calidad, sin nudos y de fibras rectas.

ESQUEMA DE COLOCACIÓN DEL REVESTIMIENTO

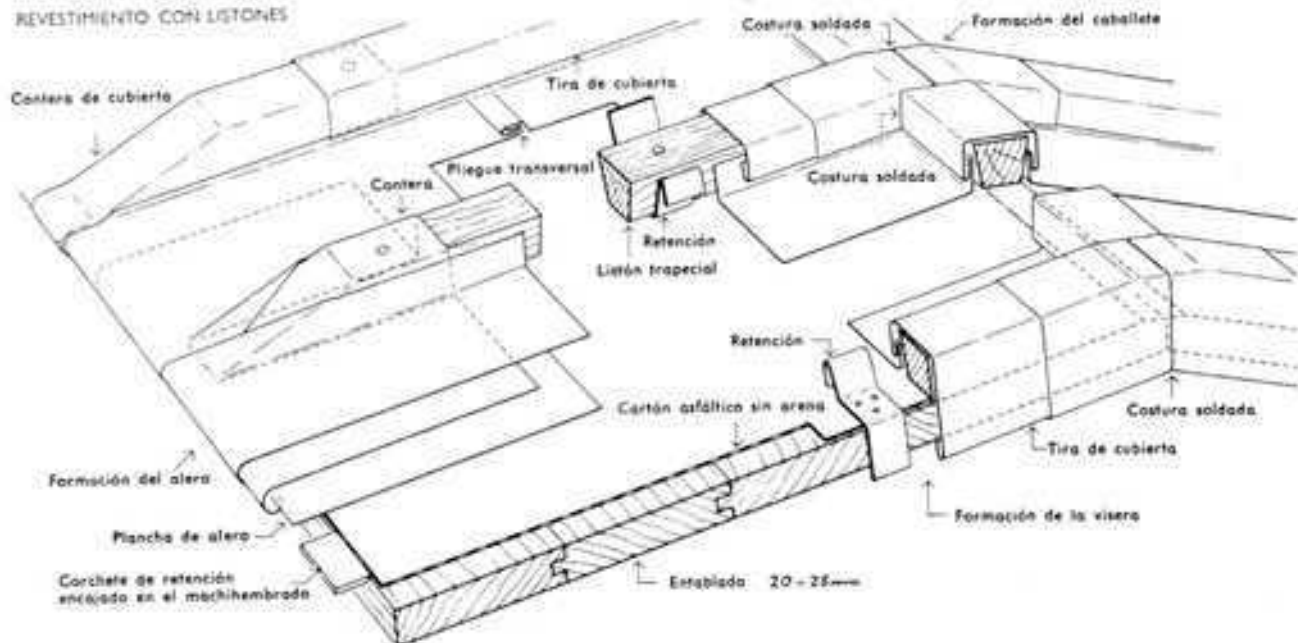


JUNTAS DE DILATACIÓN PARALELAS AL ALERO



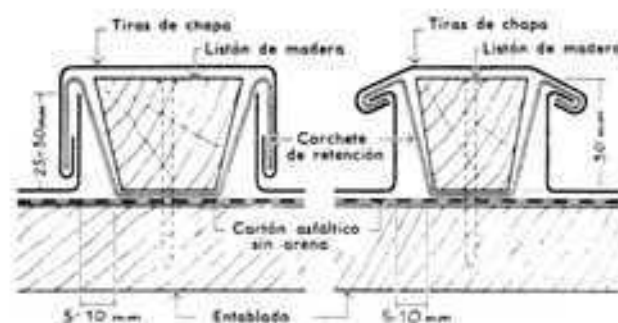
Las chapas se doblan hacia arriba por sus bordes longitudinales levantándolos en una anchura de 30 a 35 mm. Los lados estrechos de las chapas de las distintas fajas se embordan entre sí. Cuando las planchas que forman el saliente en el borde del alero y las demás protecciones están colocadas, se clavan los listones y los corchetes o retenciones con clavos suficientemente largos (a distancias de unos 40 cm) sobre la madera del entablado de manera que entre los listones y los bordes levantados quede un hueco de 1/2 a 1 cm para la manipulación de la plancha metálica. En el alero se da a los listones un corte oblicuo o en bisel y sobre éste se coloca una contera metálica. La chapa más baja de la cubierta queda embordada sobre la plancha del saliente del alero y sus bordes longitudinales y transversales se fijan con corchetes y retenciones. A continuación se puede embordar y fijar

REVESTIMIENTO CON LISTONES



la chapa siguiente de cubierta con su borde transversal doblado hacia abajo, que se une y enlaza con el borde transversal doblado hacia arriba de la parte alta de la chapa inmediata inferior. Por último es necesario cubrir también los listones. Las cintas o tiras de chapa rebordeadas, destinadas a cubrirlos, que en la mayoría de los casos tienen 1 m de largo, deben hacerse deslizar

REVESTIMIENTO DE LOS LISTONES

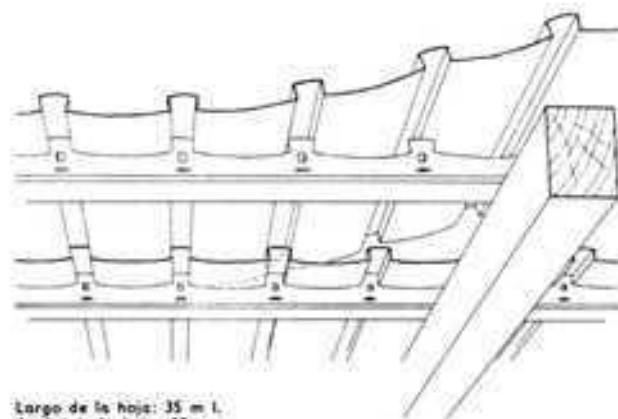


a lo largo de los listones hasta que queden retenidas y sujetas en los corchetes de retención previamente doblados. Cada tira se clava sobre el listón correspondiente por su parte superior. El punto del clavo debe quedar cubierto por la tira siguiente.

Chapas "Fural"

El revestimiento "Fural" o chapa de alumin (aleación de aluminio) lo fabrican los talleres de laminación de aluminio de Singen y se vende en rollos de unos 35 m de longitud, 58 cm de anchura y 0,63 mm de espesor.

El revestimiento se coloca sobre listones distanciados 50 cm, que van colocados sobre cables, entablado, obra metálica o losas de hormigón. La forma de este material permite su fijación por medio de unas tiras metálicas especiales, que se venden hasta con longitudes de 25 m, clavadas lateralmente en los listones de la cubierta por medio de clavos galvanizados de los que se usan para el cartón asfáltico. En esta forma, toda la capa



Largo de la hoja: 35 m l.
Ancho de la hoja: 58 cm
Recubrimiento 8 cm
Separación entre listones 50 cm
Peso 2,7 kg/m²
Pendiente de la cubierta $\geq 10^\circ$

superficial del revestimiento queda intacta sin sufrir lesión alguna. Si es necesario puede ser desmontada y vuelta a montar. La forma especial de cola de milano de los pliegues transversales del "Fural" hace posible además realizar la totalidad del revestimiento sin juntas de dilatación. El hueco que queda por el enlazonado evita las condensaciones y con ello la destrucción de la subestructura y de la cubierta. El revestimiento con un solapado de 8 cm de las fajas metálicas proporciona una seguridad absoluta contra lluvias y temporales.

Para la colocación de cumbreras, limas tesas, etc., los fabricantes proporcionan piezas de formas especiales.

Revestimiento de hojas metálicas

Las fajas de "Alcuta" y de "Tecuta" se colocan sobre tableros de madera o sobre vertientes de obra.

La base de apoyo debe estar perfectamente seca, limpia y plana. Para el entablado se utilizará tabla machihembrada.

Entre la base de apoyo y la hoja del revestimiento debe colocarse siempre una lámina intermedia de cartón de techar. Sobre el tablero de madera, la fijación se hace por medio de cuatro filas de clavos. Las vertientes de obra, antes de colocar sobre ellas la capa de cartón, se pintan de betún asfáltico (aproximadamente 0,2 a 0,3 kg/m²).

La fijación de las bandas metálicas se hace pegándolas y con ayuda de corchetes de retención en los pliegues. Los tacos de madera necesarios para fijar los corchetes se empotran al hormigón, a distancias de 30 cm, en filas paralelas al alero. Para pegar las bandas de 60 cm de anchura se vierte una masa adhesiva fluida y caliente, que se extiende con una espátula. Inmediatamente después se "planchan" las hojas metálicas colocadas encima con un cepillo fuerte. Para los pliegues y la formación de la cumbrera y los aleros se aplica cuanto se ha dicho para los revestimientos de chapas. Las superficies de cubierta se han de subdividir tanto a lo largo como a lo ancho por medio de juntas de dilatación cada 8 ó 10 m.

Revestimientos con hojas

Bajo este concepto se entiende hoy día el revestimiento de cubiertas planas con capas de asfalto, fieltro de lana y lana de vidrio, así como con capas de impermeabilización y capas soldadas con interposición de hojas metálicas o de tejido de fibras de vidrio o de yute. También las hojas de materiales termoplásticos pertenecen a este grupo.

El revestimiento con hojas es una forma de cubierta de obturación; la capa superficial no respira. Las actuales cubiertas planas pudieron desarrollarse sólo gracias al perfeccionamiento de tales sistemas.

En el siglo XIX la expansión industrial y la construcción de naves con grandes luces requerían unas cubiertas ligeras. La coquización del carbón, necesaria para la producción del acero, suministró simultáneamente el producto de "desecho" alquitrán, que se empleó para la impermeabilización de cubiertas. La impermeabilización se realizaba mediante unas capas de cartón-fieltro impregnadas de alquitrán, que desde hace 100 años existen en el mercado en forma de rollos. El revestimiento se componía de dos capas sobre un encofrado de madera, la inferior clavada y la superior pegada y provista con una capa de pintura. Renovando esta última capa cada dos años, las cubiertas duraban decenios. La llamada "cubierta de madera y cemento" era una forma especial de la cubierta de alquitrán que se empleó hasta la I Guerra Mundial para cubiertas de pequeñas dimensiones. Con una pendiente de aproximadamente 2 %, se aplicaba sobre el recubrimiento de dos capas otra capa de más de 10 cm de arena y grava. Debido a la protección de su superficie, estas pesadas cubiertas (~ 180 kg/m²) tenían una durabilidad de 5-7 décadas sin necesitar cuidados.

Desde principios de siglo el alquitrán fue sustituido poco a poco por el asfalto, que resulta como residuo natural o artificial en la producción de petróleo. Estas cubiertas de asfalto, que proceden de Estados Unidos, eran más resistentes y requerían una renovación de la capa de pintura en intervalos de tiempo considerablemente mayores.

Cubiertas planas

Las modernas cubiertas planas vienen utilizándose en Alemania desde hace relativamente poco tiempo, en comparación con las clásicas cubiertas de vertientes. No es extraño pues que en este campo, como en cualquier otra técnica nueva, haya que pagar el tributo del aprendizaje por la experiencia. A través de los estudios e investigaciones realizadas últimamente, se ha dado solución a todos los problemas prácticos planteados, de suerte que hoy pueden evitarse los desperfectos en las cubiertas planas, siempre que se haga caso de los conocimientos teóricos y las experiencias efectuadas y se lleve a cabo una ejecución esmerada.

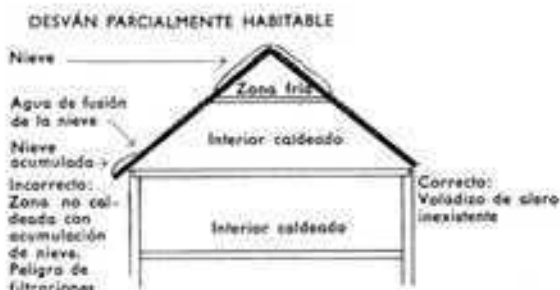
Las cubiertas planas deben cumplir diversas misiones:

Protección contra precipitaciones meteorológicas, evitar pérdidas innecesarias de calor del interior del edificio, ofrecer suficiente aislamiento térmico para evitar la formación de agua de condensación y al mismo tiempo proteger del calor producido por la irradiación solar. Por otra parte su composición debe ser tal, que no sufra daños (formación de burbujas, etc.) por la difusión del vapor de agua que durante la mayor parte del año se verifica de dentro a fuera.

Veamos brevemente cómo se produce esta traslación de la humedad (véase también la página 46): la presión parcial del vapor de agua depende de la temperatura del aire y aumenta rápidamente con ella. La presión parcial de vapor de agua en el aire a la temperatura normal interior de $+20^{\circ}\text{C}$, con una humedad relativa del 60 %, es: $238,5 \times 0,60 = 143 \text{ kg/m}^2$; en el aire a la temperatura media invernal de $\pm 0^{\circ}\text{C}$ y 80 % de humedad relativa, la presión parcial es $62,3 \times 0,80 = 50 \text{ kg/m}^2$. De donde se observa una diferencia de presiones parciales de 93 kg/m^2 aproximadamente. Esta diferencia es la que fuerza las moléculas de vapor de agua a difundirse hacia el aire exterior atravesando las capas de cerramiento del local. Si la presión parcial del vapor alcanza el valor de saturación en algún punto se forma en él agua de condensación. Combinando las distintas capas de cubrición de manera adecuada, según su resistencia al paso del vapor, se consigue influir decisivamente en la distribución de presiones parciales del vapor.

Para abordar estos problemas se creyó que había que empezar por estudiar cómo se habían resuelto en las tradicionales cubiertas inclinadas ventiladas. Las cubiertas de teja, paja o tablas no tenían los desperfectos que presentan las cubiertas planas, porque el último forjado plano (generalmente con relleno grueso de barro, muy aislante) permitía el paso del vapor de agua y la forma escamosa del "tejido" de cubierta permitía la renovación del aire y la eliminación del vapor de agua difundido a través de aquel forjado. Si se formaba un poco de agua de condensación en el recinto bajo la cubierta debido a su propia temperatura (diferencia de temperaturas entre la del interior del desván y el aire exterior) o debido a las humedades de la obra recién terminada,

caliente a la fría. El agua de fusión que se forma sólo puede evitarse que penetre mediante impermeabilización con una capa de cartón por debajo de las tejas. En vista de ello, conviene que las cubiertas caldeadas desde el interior no tengan aleros muy salientes para evitar el peligro de formación de hielo en la parte de voladizo "fría". Algo más difíciles suelen ser las circunstancias en las cubiertas tradicionales de chapa de cinc o pizarra sobre una capa de hojas. Una sola capa no es, desde luego, impermeable al vapor, pero sí, en cambio, al aire, con lo cual ya



no cabe esperar una renovación de aire suficiente en la cámara bajo la cubierta. Algo mejor resulta, en este aspecto, la cubierta de tablas de madera que es ligeramente más aislante y con mayor efecto de succión. En todo caso estas cubiertas requieren una ventilación transversal ya sea mediante aberturas en los hastiales o tímpanos, o bien a través de ventanas salientes (tragaluces), en el caso de edificios muy largos con desván dividido por paredes cortafuegos. De este modo se mantendrá en la cámara de aire la misma temperatura que en el exterior.



DESVÁN NO HABITABLE



el efecto de succión de la cubierta provocaba su eliminación o su devolución, en vapor no saturado, al aire del local inferior. Si la cámara de aire es ventilada, de modo que puede decirse que su temperatura es la exterior, se puede elegir a voluntad entre un mayor o menor vuelo de aleros.

La función de la cubierta respirante es perturbada por la construcción de un piso de buhardilla. La cubierta presenta en este caso zonas de distinta temperatura según corresponda a la parte ventilada o la que cubre directamente un local caldeado. El mayor riesgo consiste en la posible fuga de calor de la zona

En algunos casos se utiliza la cámara de aire como desván practicable para guardar objetos, muebles, etc., cosa que motiva que las ventanas tragaluces permanezcan cerradas originándose —en invierno sobre todo— una zona de temperatura intermedia entre la exterior y la de los locales inferiores habitados. Se hace difícil determinar cuál puede ser esta temperatura puesto que influyen en ella la permeabilidad térmica de la cubierta y la relación entre las superficies que desprenden calor y las que lo irradian. Pero aun en el caso de que el último forjado sea muy aislante se formará agua de condensación bajo la cubierta. Las más perjudicadas son, naturalmente, las capas de chapa de cinc y cartón. Si el poder aislante se distribuye a partes iguales entre la cubierta y el último forjado se corre el peligro de formación de condensación debajo de este último, es decir, en el techo del local habitado. Una adecuada distribución del aislamiento térmico entre la cubierta y el último forjado puede llegar a evitar la formación de agua de condensación en ambas. Esta relación, sin embargo, no puede establecerla el arquitecto, sino un especialista (o una empresa competente) a través de cálculos empíricos muy detallados.

Teniendo en cuenta las diversas misiones que deben cumplir, se han establecido dos clases de cubiertas:

1) Cubiertas no ventiladas (llamadas cubiertas caldeadas)

En estas cubiertas las distintas capas que las componen yacen unas inmediatamente encima de las otras. Para evitar que el

vapor de agua forme humedad en el seno de la capa de aislante térmico —con lo que ésta pierde eficacia— y se acumule debajo de la capa superior —con lo que hay peligro de formación de burbujas—, debe tomarse como principal medida la colocación por debajo de la capa aislante de una barrera contra el vapor. De todos modos es prácticamente imposible formar barreras totalmente estancas al vapor debido sobre todo a las entregas y penetraciones de medios de sujeción con otras capas. Como, por otra parte, es imposible evitar que tanto el forjado macizo como la capa aislante tomen cierta "humedad en estado de equilibrio" —incrementada con el aporte de condensaciones eventuales— que al aumentar la temperatura se vaporiza y dilata, hay que colocar sendas capas de cartón "respirante" (o de "reparto de presión del vapor" y de movimiento), una encima del forjado y otra encima de la capa aislante, para evitar la formación de burbujas y que se arranque la cola adhesiva entre capas. Con esta precaución se logra que ninguna capa que pudiera acumular humedad quede "cerrada" entre otras dos más estancas. Este sistema resulta apropiado para todos los casos con temperatura media de $\approx 20^{\circ}\text{C}$ y una humedad relativa de alrededor de 60 %, como es la que se da en el aire de las viviendas y oficinas. En conjunto, la cubierta descrita se compone de:

- a) Forjado resistente, eventualmente revestido con un mortero para alisar la superficie o dar pendientes.
- b) Cartón respirante (1.ª capa de reparto de presión de vapor y de movimiento).
- c) Barrera contra el vapor ("freno", en realidad).
- d) Capa de aislamiento térmico.
- e) Cartón respirante (2.ª capa de reparto de presión de vapor y de movimiento).
- f) Capas de cubrición o revestimiento final.
- g) Protección de la superficie.

2) Cubiertas ventiladas (cubiertas planas dobles, llamadas "frías")

Se componen de las siguientes capas:

- a) Forjado resistente.
- b) Capa de aislante térmico.
- c) Cámara de aire ventilada de más de 5 cm de altura, aberturas de entrada mayores de 1/750 de la superficie y aberturas de salida mayores de 1/1000 de la superficie.
- d) Placas superiores con revestimiento exterior.

En este tipo de cubiertas la capa superior se encarga de la protección contra los agentes atmosféricos y la irradiación solar; la capa inferior realiza la protección térmica.

La cámara de aire está comunicada con el aire exterior, para lo cual deberán preverse aberturas suficientes en las paredes exteriores y en la cumbre, de modo que se consiga mantener el aire interior de la cámara a la temperatura más próxima posible a la del exterior.

En las cubiertas frías se permite la difusión del vapor de agua a través del forjado y la capa aislante. Gracias a la ventilación de la cámara este vapor se elimina, desapareciendo la posibilidad de formación de agua debajo de las capas superiores. La ventaja principal de las cubiertas dobles es su efecto de "parasol", es decir, evitan que el calentamiento del forjado macizo en periodos de intenso calor haga de él un "acumulador" térmico e irradie hacia el interior del local. Este inconveniente es prácticamente imposible de evitar en cubiertas simples o caldeadas, por más espesor que se dé a la capa de aislamiento térmico. Sin embargo los problemas técnicos y físicos de las cubiertas dobles no son menores que los de las simples. A causa de sus elevados costes de construcción, de que no pueden utilizarse en estructuras complicadas (p. ej. cubiertas-cáscara) y de que en su versión más barata (con segunda capa de madera) no resisten al fuego, las cubiertas dobles se utilizan cada vez menos.

Los conocimientos normales que el arquitecto debe poseer sobre ciencias físico-naturales le capacitan para dar respuesta a los problemas que puedan plantearse con este tipo de cubiertas, pero no debe vacilar en consultar con un especialista cuando existan condiciones difíciles de humedad o temperatura. Para un buen funcionamiento y duración de estas cubiertas es esencial la composición acertada y ejecución correcta de ambas capas.

Los numerosos casos de desperfectos y experiencias de fracasos habidos durante la posguerra en las cubiertas planas, así como los mayores conocimientos (físicos y científicos, aplicados a la construcción) con que se cuenta hoy en día han hecho ver que había que estudiar más intensamente este tipo de cubrición. Ante todo se plantean los problemas del aislamiento térmico y de la impermeabilidad al agua y al vapor (formación de agua de condensación); esto último es lo principal en la práctica, ya que ha resultado ser la causa más frecuente de los desperfectos. Al escoger una cubierta "ventilada" o una "compacta" se toma una decisión que habrá de influir notablemente en el resto del edificio.

Cubiertas no ventiladas

Consideraciones generales sobre las formas y los recubrimientos de las cubiertas

En principio se puede considerar las formas de las antiguas cubiertas con tejas imbricadas, con desagües exteriores, como una solución ideal y la más segura para los tejados planos, como por ejemplo los tejados a simple vertiente, los tejados de dos vertientes y los tejados de copete. Sus formas inversas con desagües interiores tienen más riesgos respecto a la seguridad de la cubierta y dependen más del tipo y de la calidad del material de cubrición, así como de la ejecución de ésta. Cuanto más pequeña es la pendiente del tejado, tanto más problemática será la cuestión de desagües y la de la estanquidad de la cubierta. Naturalmente los tejados planos sin pendiente requieren los mayores cuidados; sin embargo, estas cubiertas se emplean cada vez más.

Esta tendencia en la construcción coincide con todo el desarrollo técnico, en el que se busca el ahorro de mano de obra, incluso a costa de crecientes precios de material. En general la subida de los salarios es mayor que la de los precios de material.

El reducir el trabajo invertido en la obra acorta el tiempo que se necesita para techar, lo que resulta ventajoso especialmente en las construcciones de grandes naves. Los trabajos de acabado sólo pueden iniciarse una vez cubierta la obra.

Respecto a la ejecución se sabe con seguridad que la estanquidad de una cubierta queda tanto más garantizada cuantas más capas con juntas de adherencia desplazadas y cuanto más asfalto tenga. Inversamente, la reducción del número de capas y de las juntas de adherencia disminuye la seguridad de las cubiertas, siendo ésta mínima cuando se coloca una sola hoja de material plástico.

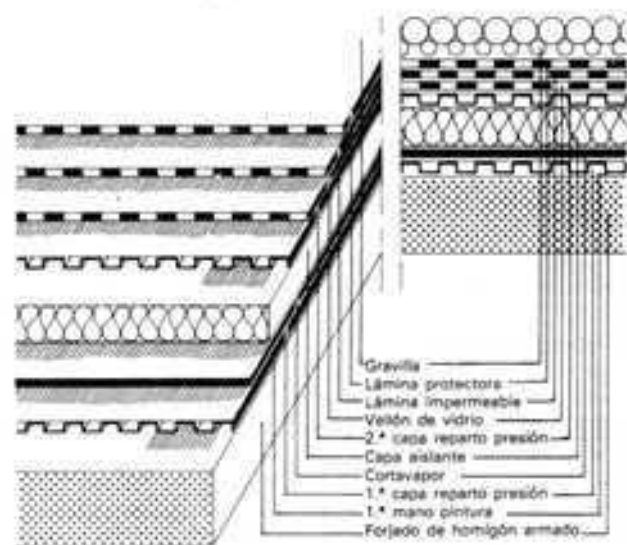
Por otra parte, las posibilidades de evacuar las aguas pluviales determinan mucho el tipo de ejecución de las cubiertas planas. Por ejemplo, en las grandes naves sin pilares intermedios, los desagües sólo pueden colocarse en los bordes de la cubierta. Muchas veces la situación de los conductos ya existentes en el terreno determinan si los desagües pueden colocarse en uno o en los dos bordes del tejado, o bien en su zona central. La ampliación de la red de conductos existentes en el terreno ocasionaría unos considerables costes adicionales.

Las características y servidumbres del revestimiento con cartón deben tenerse en cuenta desde el momento mismo del proyecto. Los movimientos, alabeos o bombamientos de la cubierta por cambios bruscos de temperatura y humedad son la causa principal de la rotura de las capas de cartón. Las cubiertas planas sometidas a fuerte insolación llegan a alcanzar, en verano, 80°C de temperatura y en invierno descienden hasta -20°C , lo cual representa una oscilación anual de $\approx 100^{\circ}\text{C}$. Lógicamente las capas superiores de la cubierta se calientan más que las inferiores. Las distintas capas (de diversos materiales) sufren por ello dilataciones diferentes y hay que procurar que puedan deformarse con total independencia unas de otras.

Forjados de losas de hormigón in situ

La cubierta ideal es en este caso la losa maciza de hormigón armado. Las placas o losas más ligeras tienen la desventaja de que se calientan mucho más en verano. La losa maciza, por su parte, requiere para su construcción mucha agua y un tiempo relativamente largo de secado; presenta un aislamiento térmico escaso (aunque tiene gran inercia térmica, es decir, actúa como un "regulador") y necesita dispositivos adicionales de protección para evitar que sufra deformaciones. Gracias a su peso es poco sensible a las trepidaciones (las perturbaciones vibratorias pueden ser muy peligrosas para la estabilidad de las cubiertas). Su masa actúa favorablemente en la manutención del nivel térmico de los locales inferiores. Especialmente en edificios con grandes ventanales y pocas paredes —o sólo tabiques— interiores, este tipo de cubiertas son la única masa importante capaz de acumular calor, y por lo tanto de irradiarlo en invierno cuando está apagada la calefacción; en verano, en cambio, tarda en calentarse y mientras está fría contribuye a refrescar el aire interior sobrecalentado. Estas cualidades pueden aprovecharse al máximo mediante una cubierta doble o con las llamadas "cubiertas-estanque" o "inundadas".

CUBIERTA NO VENTILADA SOBRE UN FORJADO DE HORMIGÓN ARMADO CON DOS CAPAS DE REFARTO DE LA PRESIÓN DEL VAPOR

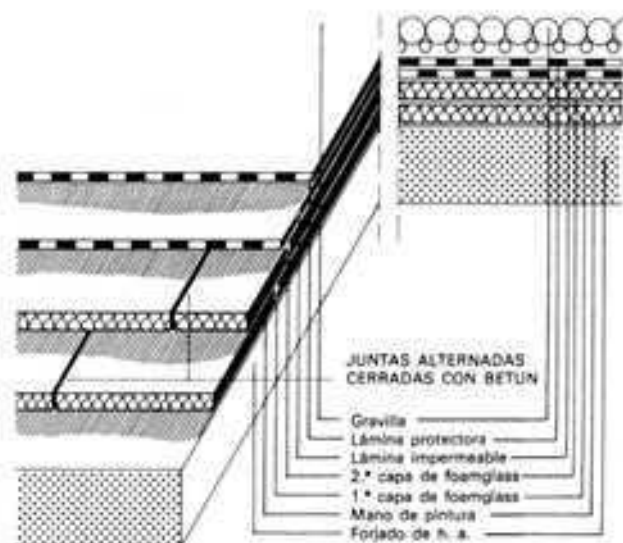


En forjados con luces importantes entre apoyos puede resultar antieconómica la losa continua maciza. En este caso vale más recurrir a la losa nervada. Como en la mayoría de los casos no se desea que los nervios queden a la vista, se suele colgar un cielo raso de placas de yeso, placas acústicas, etc. En estos techos compuestos es importante que la cámara de aire sea ventilada para evitar la formación de agua de condensación en la cara inferior de la losa; por ello los cielos rasos no deben atracarse a las paredes.

Los forjados de cubierta de hormigón armado no deben exponerse, antes de proceder a recubrirlos con protección térmica, a los rigores del cambio brusco de temperatura que ocasionan las tormentas de verano y por ello conviene cubrirlos con cañizo u otro material para evitar la aparición de tensiones internas en el material y la consiguiente formación de grietas.

Según el tipo de edificio de que se trate y de su tamaño y estructura hay que prever las juntas de dilatación y de encofrado necesarias en todos los forjados, e incluso en todo el edificio.

En los edificios con estructura de entramado la cubierta no puede fraccionarse a capricho, puesto que hay que tener en cuenta, a la hora de distribuir las juntas, la modulación establecida por las barras de la estructura. A veces hay que mantener en la cubierta una separación que procede de la cimentación y es constante en todo el edificio.

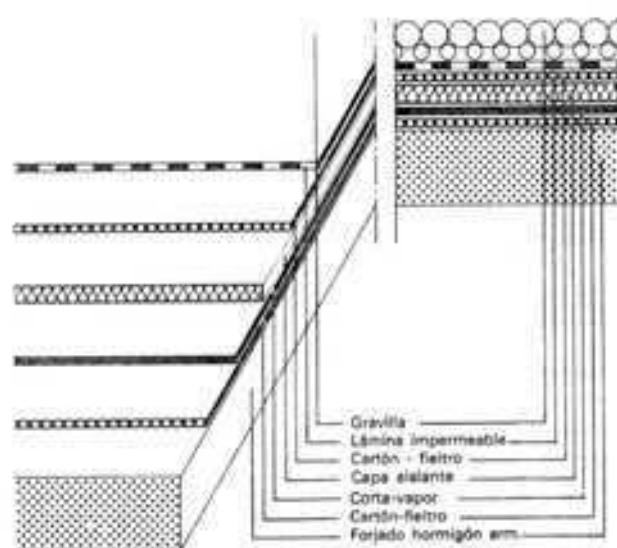


Las distancias máximas entre juntas se obtienen a partir de las necesarias en la estructura, esto es, desde 30 a menos de 50 m para el conjunto del edificio, pero para la cubierta a menos de cada 25 m, con lo cual, si se quiere evitar incluso llegar a estas longitudes, basta con subdividir la cubierta en elementos fraccionarios más pequeños. Según las prescripciones de las viviendas sociales, no sólo hay que declarar qué grueso tendrán las capas de protección térmica sino también la longitud máxima de cada tramo macizo de la cubierta.

Las juntas de dilatación son necesarias también entre partes de un edificio con distintos usos: p. ej., entre un almacén sin calefacción y unas oficinas inmediatas a él, o entre una sala de recepción, una piscina muy caldeada con ambiente húmedo y unos vestuarios más templados, o bien entre una cocina de hotel y el comedor, etc. Las cubiertas de los edificios con estructura de entramado, que están mucho más expuestas a la radiación solar que los soportes y las paredes del mismo, han de dotarse, consecuentemente, con una protección térmica especial, en previsión de tensiones perjudiciales.

En los edificios con estructura de muros portantes de ladrillo pueden distribuirse las juntas de dilatación de la cubierta de acuerdo con la distribución en planta, de manera que cada sector pueda moverse según la temperatura que lo afecta, o bien se

CUBIERTA NO VENTILADA SOBRE UN FORJADO DE HORMIGÓN ARMADO CON LAMINAS DE MATERIAL SINTÉTICO COLOCADAS SIN FIJACIÓN



empotran las losas por un solo lado dejando el otro como apoyo deslizante. De este modo se evita la aparición de grietas en la entrega del forjado con las paredes, tanto por la parte interior como por la exterior.

Cuando el soporte de la capa protectora es un forjado de cubierta macizo debe ser completamente plano. En las cubiertas de poca pendiente se elevará algo el centro para evitar formación de bolsas. Embeber en el hormigón los tacos de madera necesarios. Redondeamientos de bordes y esquinas a 4 cm.

Forjados de bloques huecos

Los forjados de piezas moldeadas y bloques huecos requieren menor cantidad de agua y por ello necesitan menos tiempo de secado; y además al pesar menos tienen mayor capacidad aislante térmica, que puede medirse, en caso necesario, por el ahorro en el espesor de la capa protectora necesaria. La desventaja en este caso es que la línea de formación de agua de condensación queda situada muy abajo, hasta el punto de que puede formarse agua en los huecos de la pieza. Las dilataciones térmicas en el caso de una capa aislante insuficiente pueden provocar tensiones de flexión y causar agrietamientos en los elementos portantes; por ello vale más prescindir de la capacidad aislante del propio forjado a la hora de calcular la protección térmica necesaria.

Placas de hormigón

Las capas de recubrimiento no deben pegarse en toda su superficie sobre una solera de placas de hormigón ligero, cualesquiera que éstas sean. Su porosidad hace que ofrezcan escasa resistencia a la difusión del vapor de agua, por lo que se forma fácilmente agua de condensación entre la capa de recubrimiento y la capa superior de la solera. Al recibir los rayos solares esta agua se vaporiza provocando abombamientos y ampollas en la capa impermeable. Esto sólo se puede evitar mediante una lámina de cartón pegada parcialmente que forme canales de ventilación. Si la cubierta en cuestión se halla encima de un local caldeado con elevada humedad relativa, hay que disponer por debajo de la solera (por su cara interior) una barrera contra el vapor, que normalmente consiste en una pintura de obturación.

Por consiguiente, en todos los forjados de placas hay que extender una capa respirante o de aireación por debajo del revestimiento definitivo, porque si éste se pega directamente sobre aquéllas, puede sufrir desgarramientos y roturas que den al traste con su impermeabilidad a causa de los movimientos de dilatación de cada placa.

Las placas apoyadas libremente sobre el esqueleto portante pueden efectuar estos movimientos sin dificultad. Las dilataciones de cada losa se van sumando hasta el alero y hasta la visera

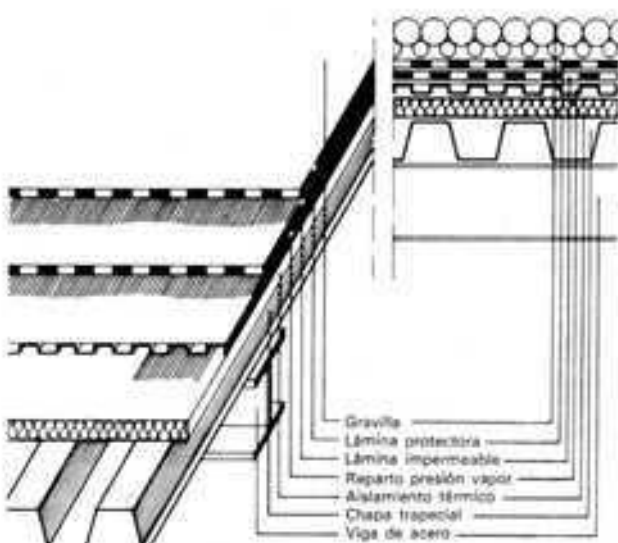
llegando a producir "recalcados" o aplastamientos en los bordes de las placas periféricas. Cuando las placas están sujetas por todo su contorno mediante un zunchos, estos aplastamientos se producen en mucho mayor medida, pudiendo ocurrir, incluso, que se levante alguna placa. Por ello conviene que las placas estén, cada una, rodeadas de una junta de dilatación que las separe de las demás. No hace falta decir que la capa de revestimiento deberá tener estas mismas juntas. Es recomendable que las placas no sean de grandes dimensiones a fin de evitar deformaciones importantes.

Si se pretende la solución más económica, las dimensiones óptimas para las placas son 2,00 m de longitud por 7,5 u 8 cm de espesor. No obstante, queda por ver en cada caso si una placa así cumple con los requisitos funcionales de aislamiento contra el calor y la humedad del edificio en cuestión, o si se necesitan gruesos mayores.

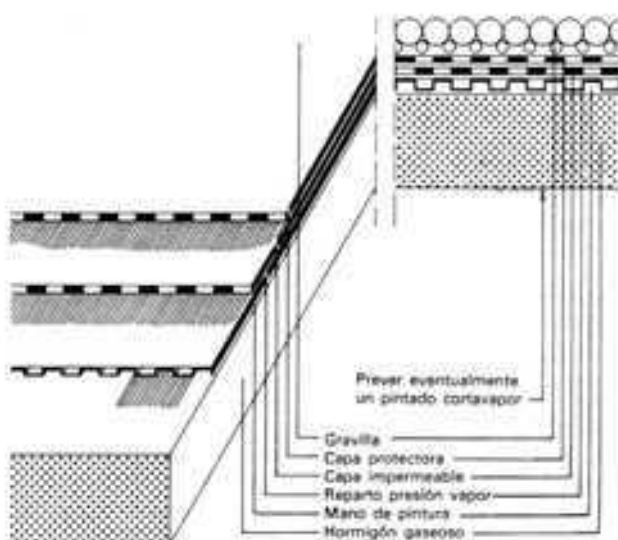
Chapas trapeciales

En el caso de grandes naves ligeras y no caldeadas, y especialmente en el de construcciones metálicas, se emplean para las cubiertas muchas veces chapas trapeciales recubiertas con materia plástica o con una pintura bituminosa. Ya que en este tipo de construcción no se produce humedad por la obra y las

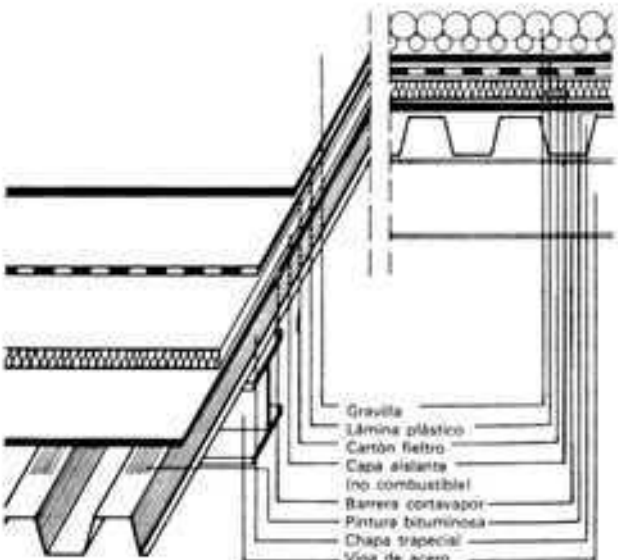
CUBIERTA NO VENTILADA SOBRE CHAPAS TRAPECIALES



CUBIERTA NO VENTILADA SOBRE UN FORJADO DE HORMIGÓN GASEOSO



CUBIERTA NO VENTILADA SOBRE CHAPAS TRAPECIALES CON LAMINAS DE PLASTICO SUELTAS



chapas son estancas al vapor, en la composición de la cubierta puede prescindirse de la capa inferior de reparto de la presión de vapor así como de la barrera contra el vapor. Pero por razones de precaución se dispone en cada cordón inferior de una chapa un orificio de 6 mm de diámetro.

El aislamiento térmico debe dimensionarse un poco mayor que en el caso de los forjados macizos. La capa superior de movimiento y de reparto de la presión de vapor debería conservarse. Debido a su poco peso propio, las chapas trapeciales vibran fácilmente, lo que debe tenerse en cuenta tanto al elegir las capas aislantes como en la ejecución del sellado. También es importante una fijación sobre correas resistente a la succión del viento. Las chapas trapeciales no ofrecen seguridad contra incendios. En caso necesario deben emplearse medidas adicionales, como, por ejemplo, la colocación de placas de lana mineral no inflamables (DIN 4102) y/o la instalación de aparatos Sprinkler. Las zonas de posibles incendios deben separarse normalmente mediante franjas de forjado de hormigón armado que tengan un ancho de 2 m. En caso de incendio estas naves cubiertas con chapas trapeciales son accesibles con menos peligro que las de losas de hormigón armado o de hormigón gaseoso.

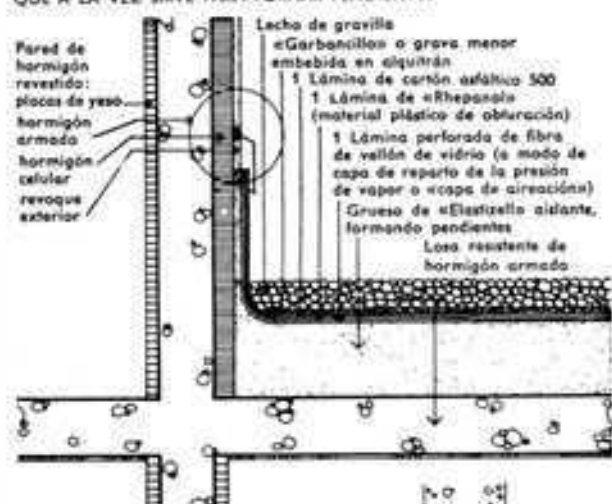
Cuando las chapas trapeciales cubren locales caldeados o climatizados, la mayor humedad del aire del local no sólo requiere una capa aislante de un grueso adecuado sino también una barrera contra el vapor (resistente a las pisadas), ya sea una capa soldada de 4 mm con inclusión de aluminio o una hoja de un material plástico resistente.

Las chapas trapeciales no ofrecen un aislamiento acústico. Como mejor solución se consideran entonces las chapas aislantes que a la vez ofrecen un aislamiento acústico y térmico.

Repleno para dar pendientes

Las cubiertas planas se colocan generalmente con pendiente o bien totalmente apianadas. Sin embargo, cuando se emplea un relleno para dar pendiente o bien una capa de limpieza, éstos no deben poseer la función de una barrera térmica, ya que en caso contrario variaría el punto de rocío debajo de la barrera contra el vapor, lo que podría producir una imbibición de la estructura. El relleno para dar pendientes en una cubierta normal con capa aislante debe hacerse con hormigón de grava. La pendiente es aproximadamente de 2%.

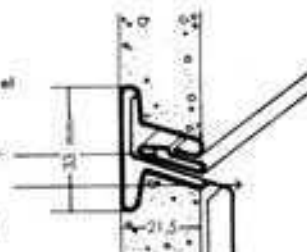
CUBIERTA FORMADA CON AISLAMIENTO «ELASTIZELL» QUE A LA VEZ SIRVE PARA FORMAR PENDIENTES



Detalle del perfil GT embebido en el revoco

Perfil de material plástico

Plancha metálica que queda suspendida libre y cubre el encuentro con las copas protectoras



Utilización como aislante del relleno

para dar pendientes

El hormigón poroso «Elastizell» es un aislante térmico que se prepara en la obra y cumple igualmente la función de relleno para dar pendientes. Con un peso específico de 1000-1200 kg/m³ presenta un coeficiente de permeabilidad térmica de $\lambda = 0,16-0,18 \text{ kcal/m h } ^\circ\text{C}$, solamente.

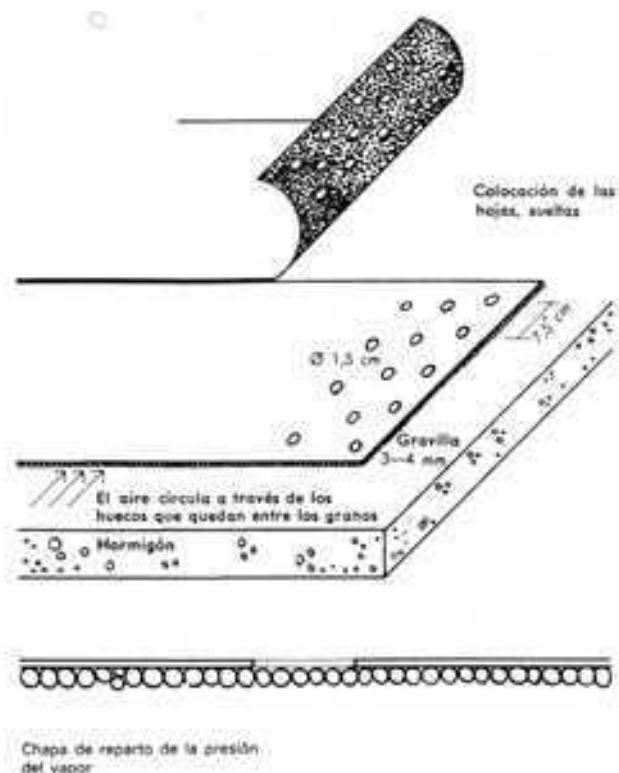
Se amasa un mortero pastoso, de poros finos, y se extiende sobre el forjado dándole el espesor mínimo requerido para evitar la formación de agua de condensación. Una vez fraguado el pavimento es transitable, resistente a la intemperie —esto es, no heladizo— y repele el agua. Una vez seco ya no absorbe humedad alguna. Puede utilizarse sin precaución alguna contra la humedad atmosférica y dejarlo sin recubrir el tiempo que se desee mientras se va secando. Sobre este pavimento continuo se extiende después una capa de cartón respirante con aberturas en contacto con el aire exterior, y encima se coloca un revestimiento final lo más impermeable posible al vapor. De esta manera se obtiene una cubierta «sin tensiones», sin necesidad de que debajo de la capa aislante se coloquen cartones respirantes ni barreras contra el vapor.

Pintado previo

Antes de colocar las capas de cubierta se aplica sobre la base un pintado con betún frío. Este pintado previo tiene por objeto establecer una unión adherente homogénea entre la base y la subsiguiente capa de betún caliente. La consistencia del material de pintado depende del material de la base (chapa, hormigón armado u hormigón gaseoso). Si los forjados están todavía húmedos, se aplica una emulsión de betún.

Capas de movimiento y de reparto de la presión del vapor (cartones acanalados de ventilación)

Por regla general el revestimiento protector de una cubierta «caliente» (es decir, sin cámara de aire ventilada por debajo) debe extenderse sobre el forjado antes de que éste llegue a secarse por completo. Por otra parte, todos los forjados acusan la llamada «humedad en estado de equilibrio» que depende de la temperatura y humedad del local que está debajo. Incluso los materia-



Chapa de reparto de la presión del vapor

les de aislamiento térmico (excepto el llamado "foamglass") presentan esta "humedad en estado de equilibrio". Todas estas humedades, que se incrementan con la condensación del vapor de agua exterior a pesar de todas las barreras interpuestas, dan lugar nuevamente, cuando aumenta la temperatura, a la formación de vapor, que queda encerrado y se difunde en la dirección que puede (aumento de la presión del aire). Para impedir que, siguiendo este proceso, la sobrepresión del aire con vapor de agua recién formado, arranque las capas de revestimiento en algunos puntos de menor adherencia y dé lugar a la formación de abombamientos y ampollas en la cubierta, se colocan encima de la capa que acumula más humedad una capa de reparto de la presión del aire consistente en hojas de cartón acanalado, que permite el paso del aire.

Con estos cartones, que pueden colocarse tanto encima del forjado macizo como encima de la capa de aislante térmico, se puede eliminar la sobrepresión originada por el calentamiento de la cubierta a través de unos canales abiertos al exterior.

Se distinguen varias clases de cartones "respirantes".

- Cartones enarenados que llevan adheridos a su cara inferior gránulos de diámetro semejante. Se extienden sin encolar sujetándolos sólo en algunos puntos mediante agujeros producidos por punzonamiento que se rellenan de masa adhesiva.
- Cartones ondulados o plegados por su cara inferior, que se colocan encolando las franjas más salientes.
- Cartones soldados del tamaño de un plato que se sueldan cada metro cuadrado en 3 ó 4 puntos.
- Cartones autoadhesivos que se fijan en franjas o en puntos (sólo pisándolos).

Estos cartones deben colocarse de modo que los huecos se correspondan y sean continuos a lo largo de toda la cubierta, cuidando de que al llegar a sus bordes queden abiertos al aire exterior. Junto a la cumbrera y en las superficies muy grandes de cubierta hay que prever dispositivos especiales de aireamiento: los llamados "tubos de respiradero".

La creencia anterior de que los canales de estas capas de reparto de la presión del aire servían para expulsar el vapor de agua ha revelado ser cierta en medida muy limitada, a la luz de estudios más rigurosos. En efecto, la resistencia que las paredes horizontales de la sección del canal oponen al choque con las moléculas (que origina la presión parcial del vapor) sólo es menor que la que ofrecen las capas lisas a la difusión entre capa y capa, cuando el canal es muy corto. La capa de reparto no llega pues a rebajar eficazmente la presión del vapor de agua y no puede substituir a una barrera contra el vapor.

Conviene, pues, extender por encima del cartón respirante que está en contacto directo con el forjado una barrera contra el vapor que esté a salvo de los desperfectos que puedan ocasionarle los movimientos y agrietamientos de la subestructura resistente.

Para el cartón respirante que se coloque entre una capa de aislamiento térmico y las capas de revestimiento, deben utilizarse solamente hojas de cartón plegado, ya que ofrecen mayor superficie de contacto para la adhesión que las de cartón enarenado y esto es primordial para hacer frente a la fuerza del viento. Esta medida es todavía más necesaria allí donde la última capa carece del peso de un enchado de gravilla, un pavimento continuo o una pasada de baldosa cerámica.

Barreras contra el vapor y frenos a la difusión del mismo

Deben colocarse barreras contra el vapor allí donde el vapor de agua no pueda difundirse libremente y falte una cámara de aire ventilada que lo elimine. Mientras que la humedad procedente de la lluvia es en parte expulsada por el revestimiento superior y en parte se evapora, se va acumulando año tras año en el forjado vapor de agua procedente del interior del local, de modo que al cabo de mucho tiempo pueden todavía originarse algunos desperfectos. De todos modos, la mayoría de daños en las cubiertas han tenido su causa en lluvia caída durante los trabajos, al prescindir de un adecuado aireamiento de la cubierta o no haber colocado una barrera contra el vapor. La humedad que se acumula, precipita en la cara inferior de la última capa impermeable

provocando la formación posterior de ondulaciones y bolsas y originando siempre manchas de humedad que en algunos casos llegan a pudrir la capa de aislante térmico, cuya eficacia disminuye dando lugar a una grave aceleración del proceso.

Para evitar que llegue a condensar la humedad hay que lograr que la presión parcial del vapor se mantenga en el interior de la cubierta, inferior a la presión de saturación, que depende en cada momento de la temperatura y de la humedad relativa existentes en una capa determinada. La presión parcial del vapor de agua se considerará aceptable en las zonas en que no se ha rebajado el punto de rocío.

La barrera contra el vapor debe pues colocarse inmediatamente debajo de la capa de aislamiento térmico y debe tener una resistencia al vapor mayor que la capa de revestimiento final. En locales con una elevada humedad relativa hay que reforzar el aislamiento térmico y colocar, además de la barrera normal, otra barrera contra el vapor por debajo del forjado, recubriendo la cara interior del mismo, aunque tapada por el revoque. Esta barrera contra el vapor tiene por objeto evitar que se produzcan condensaciones en el interior del forjado, pero presenta la desventaja de que "encierra" la humedad que eventualmente pudiera existir antes dentro de aquél, disminuyendo su capacidad aislante. Finalmente, sólo queda utilizar como "amortiguador" para la regulación del grado de humedad del local un revoque adecuado.

La impermeabilidad de un material no significa necesariamente que dicho material impida el paso del vapor. Así, p. ej., las hojas normales de cartón alquitranado son impermeables al agua, pero permiten el paso del vapor.

Aunque hay varios materiales que son impermeables al vapor, como, p. ej., vidrio, chapas de cinc u otros metales, etc., y "casi impermeables", como las hojas de material plástico o múltiples manos de pintura asfáltica, lo decisivo es sobre todo su manejabilidad, de suerte que se origine un mínimo de daños al extender las hojas, pegarlas, etc. En la práctica cabe hablar solamente de "frenos" al paso del vapor.

Las pinturas resultan excelentes como frenos al paso del vapor cuando su "vehículo" o disolvente presenta poca permeabilidad al mismo, como p. ej. caucho clorado, asfalto y óleo. Las emulsiones no ofrecen, en general, suficiente resistencia al paso del vapor.

En casos sencillos (escasa humedad del aire y temperaturas moderadas en el local) puede conseguirse total seguridad contra el peligro de putrefacción mediante una hoja de cartón bituminoso 500 con vellón de fibra de vidrio por ambas caras, e incluso puede ser suficiente como freno del vapor si las capas de materia adhesiva por debajo y por encima de la hoja tienen un grueso $> 2-3$ mm y carecen de burbujas.

Para mayor seguridad se recurre a materiales total o suficientemente impermeables al vapor, como hojas de plástico o de metal. Entre éstos se ha acreditado sobre todo el aluminio de espesor superior a 0,1 mm.

La mayor dilatación del aluminio respecto a la del forjado macizo (de hormigón, u otro material) no resulta peligrosa por cuanto, estando ambos bajo la protección del aislamiento térmico, no son de esperar oscilaciones importantes en su temperatura. Las hojas de aluminio son atacadas por los álcalis que desprende el hormigón y por ello no deben utilizarse sin un recubrimiento por ambas caras con pintura bituminosa.

Materiales aislantes

Según la norma DIN 4106, el vapor mínimo de aislamiento térmico para las cubiertas de locales habitados es de $1,50 \text{ m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C/kcal}$. Como regla de seguridad se aconseja contar en la práctica con un 20% menos del vapor hallado por cálculo, lo que equivale, p. ej., a una placa de "Styropor" de 5 cm de espesor como mínimo.

El valor antes citado es suficiente tan sólo para temperaturas medias del local de $20-22^\circ \text{C}$ y humedad relativa del orden de un 65%. Si la humedad relativa es mayor hay que aumentar el aislamiento.

Mientras que las capas de aislante térmico en locales utilizados permanentemente sólo se colocan en la cubierta y las paredes exteriores, en aquellos locales de utilización intermitente, como iglesias y salas de reunión, se colocan dos capas: una encima de

la estructura portante, para evitar dilataciones y contracciones de la misma, y otra por debajo de ella, para hacer más breve el tiempo de caldeoamiento del local. Esta última capa "interior" sólo debe tener 1/4-1/3 del espesor de la capa aislante "exterior", ya que de otro modo hay peligro de formación de agua de condensación entre la capa interior y el forjado resistente por causa de un excesivo contraste de temperaturas.

Existen una serie de materiales aptos para ser empleados como aislantes; no obstante existen entre ellos diferentes aptitudes según para qué funciones. Con arreglo a su origen químico se dividen en materiales derivados de productos orgánicos y materiales inorgánicos. El material más antiguo y utilizado es el corcho expandido con un peso de 150-250 kg/m³. Desde los años veinte se han venido utilizando también láminas de fibra de coco y también, últimamente, placas de fibra de madera impregnadas de betún, como, p. ej., las placas "Odenwald". En cuanto a materiales inorgánicos se han impuesto: la lana mineral, que se suministra en mantas o láminas y en placas fibrosas, y las placas de espuma plástica "styropor", que se conoce en el mercado bajo diversos nombres más o menos sugestivos. De los EE.UU. procede el material resistente al peso y desgaste de las pisadas "foam-glass" o vidrio espumado. Los materiales orgánicos presentan el peligro de corrosión —uno de los que menos lo presentan es el corcho expandido—, a menos que se les aplique un tratamiento previo o que la cubierta sea reparada y supervisada con frecuencia. Los materiales inorgánicos están totalmente a salvo de este peligro. Los materiales mencionados presentan coeficientes muy similares de transmisión del calor, que oscilan entre 0,030 y 0,040.

Según su resistencia mecánica estos materiales se clasifican en pisables y no pisables. Entre los blandos o no pisables que se sirven en mantas, rollos, etc., encontramos la lana mineral, lana de vidrio y esteras de fibra de coco que se encuentran en el mercado sueltas o recubiertas por ambas caras con papel asfáltico. Los materiales pisables son los siguientes: placas de plástico celular rígido de 20-40 kg/m³, placas de lana mineral y foam-glass.

Plástico celular rígido

Los plásticos celulares dominan hoy el campo del aislamiento térmico en las cubiertas. La materia prima es en primer lugar el poliestireno (PS) y luego el poliuretano (P.U.R.), materiales que tienen sus células cerradas, totalmente o en una buena parte. Las células cerradas poseen un alto aislamiento térmico y absorben muy poco la humedad. Se emplea preferentemente el tipo tenaz-duro, que posee suficiente recuperación elástica. (Bajo la solicitación de determinadas cargas se produce en los plásticos celulares frágiles una repentina rotura de la estructura celular.) El peso volumétrico se halla entre 25 y 40 kg/m³. Las placas se recortan de grandes bloques o se fabrican en moldes. Así se obtienen el "Styropor", conocido en todo el mundo, y otros productos tales como "Isopor", "Exporit", etc. Existe otro tipo de producción continua por el procedimiento de prensa de extrusión. En este caso se trata de placas extrusionadas de plástico celular rígido. Este tipo de fabricación proporciona a los bordes de la placa una mayor densificación, lo que produce un determinado efecto "sandwich": las placas adquieren una mayor rigidez y además se aumenta considerablemente la resistencia contra la penetración de humedad y de vapor de agua. Los nombres más conocidos de estas placas son, por ejemplo, "Styrodur" y "Roof-mate". Su estabilidad de forma llega hasta 90° C. Son de alta resistencia al fuego y su superficie está equipada muchas veces con acanaladuras que sirven para un mejor reparto de la presión de vapor. Las dimensiones de estas placas generalmente son de 50 ó 60 x 125 cm. Por razones de seguridad en el trabajo de colocar las placas aislantes, éstas no deberían exceder de los 0,7 m². Sus gruesos son: 20, 30, 40, 50, 60 y 80 mm. Las placas se fabrican con y sin pliegues. En la mayoría de los casos se colocan las placas con pliegues por razones de seguridad. El peso es de aproximadamente 30 kg/m².

Las placas aislantes de poliuretano tienen una capacidad de aislamiento térmico aproximadamente un 15% mayor que las de poliestireno, por lo que en el marco de las placas ofrecidas en el mercado a menudo basta con un espesor menor de aislante. Dicho de otra forma: el mismo grueso de placa ya proporciona

un mayor aislamiento térmico. Las placas tienen en un 95% poros cerrados y un peso de unos 40 kg/m³. Los poros contienen un gas que posee una mayor capacidad de aislamiento térmico que el aire. Para mantenerla se aplica un recubrimiento en ambas caras de la placa. Su valor λ es entonces sólo de 0,025-0,03. En general se fabrican como placas extrusionadas. Cuando están hechas en moldes individuales, las placas suelen poseer ranuras longitudinales y transversales para mejorar el reparto de presión de vapor y pliegues escalonados alrededor de la placa.

Placas recubiertas

Cuando las placas aislantes no se colocan sueltas, como, por ejemplo, en las cubiertas de láminas de material plástico, o en la llamada "cubierta reversible", se aplican frecuentemente placas recubiertas. Incluso el simple recubrimiento con papel asfáltico o fajas de betún ofrece las siguientes ventajas:

- 1) Protección contra la acción de la humedad durante el almacenamiento y la colocación.
- 2) Protección contra la fusión de las placas aislantes cuando se aplica una capa de betún demasiado caliente.
- 3) Mejor estabilidad de forma y mayor resistencia a las pisadas. Además, un recubrimiento montado de forma sistemática puede contribuir a una simplificación importante y, por lo tanto, a la reducción del tiempo necesario para realizar los trabajos de techado. Por ejemplo, hay placas aislantes que tienen pliegues escalonados y están totalmente cerradas por todos sus cantos. Su cara inferior está provista con acanaladuras suficientemente grandes para sustituir el cartón de aireación ("respirante"). Además las placas no se pegan por toda su superficie. La cara inferior lleva una lámina metálica que sirve de barrera contra el vapor, los cantos de la placa están sellados mediante un perfil plástico escalonado y una hoja aislante cierra la placa hacia arriba (esta última no debe entrar en el cálculo del número necesario de capas de cubierta). Otros fabricantes ofrecen placas en cuya cara inferior se disponen cartones acanalados de ventilación y una barrera contra el vapor. El recubrimiento se fija sólo por puntos en la cara superior, de modo que actúa como cartón respirante.

De esta forma, una parte del trabajo se realiza en la fábrica. Los trabajos en la obra misma se ejecutan en un tiempo más breve y además independientemente del tiempo atmosférico. En algunas ocasiones se emplean las llamadas "hojas enrolladas", que llevan en su cara inferior unas tiras de plástico celular rígido. Una hoja de 5 m de longitud y 1 m de ancho sirve como capa de reparto de la presión del vapor. El control de fugas de calor resulta difícil.

Elección y elaboración de los materiales aislantes

Para cubiertas simples es mejor utilizar materiales resistentes a fin de que los revestimientos finales puedan extenderse directamente encima de la capa aislante.

Los materiales que se utilizan en este caso son: las placas de fibra de madera impregnadas de betún, las placas de plástico celular rígido, placas de lana mineral y foam-glass. Al utilizar fibra de madera tiene capital importancia el estado de las placas, o sea su almacenamiento y supervisión previos, a fin de conseguir un revestimiento sin hinchazones ni burbujas. Por ello se hace necesario, antes de colocarlas, analizar su grado de humedad. Dicho grado no debe ser mayor de 1-2% en volumen. Sólo teniendo las placas 1 ó 2 días almacenadas en la obra ya se corre el peligro de que queden inservibles. Para prevenir el peligro de una lluvia esporádica durante los trabajos de cubrición deben colocarse las placas a un ritmo tal que cada día se cubra una superficie igual a la que pueda revestirse en el mismo día con una capa, por lo menos, de cartón asfáltico. Como normalmente se carece de tiempo para esperar al secado completo del forjado resistente —lo cual en verano no es ni siquiera conveniente por las grietas y dilataciones bruscas a que puede dar lugar— es aconsejable empezar extendiendo una capa de cartón ondulado o respirante, que al mismo tiempo ayuda en caso de lluvia momentánea. Como, por otra parte, no conviene que el vapor de agua atraviese la capa aislante porque al otro lado daría lugar a condensaciones, hay que cubrir la capa de cartón respirante con una barrera contra el vapor. Encima de ésta se coloca la capa de aislamiento térmico, la mayoría de veces en

forma de placas adheridas con cola de betún. Entre la capa aislante y el revestimiento impermeable final hay que colocar una segunda capa de cartón ondulado respirante.

Si las hojas o placas aislantes se colocan en una sola capa y con uniones a tope, se forman fácilmente fugas de calor. Es preferible que las hojas se solapen o que las placas se coloquen en dos capas a rompejuntas. Si las placas sufren roturas o escoriaciones en sus cantos durante el transporte se puede reparar fácilmente mediante harina de corcho empastada con cola de betún. Lo mismo cabe decir de las placas de fibra de madera. Estas reparaciones deben hacerse tan sólo por la cara inferior de las placas, ya que si se trata de la cara superior existe el peligro de que al extender la cola adhesiva para pegar las capas de revestimiento, se arrastre la harina de corcho hacia fuera, formando un orificio que al dejar a la capa superior sin contacto superficial, daría lugar a una ampolla. Los huecos de la cara superior deben rellenarse por completo con betún.

Colocación de placas de plástico celular rígido (styropor)

Como el styropor funde a una temperatura entre 130 y 150° C y, por razones físico-químicas de adhesión, tanto como por motivos económicos, sólo puede pegarse con colas bituminosas calientes, hay que tener mucho cuidado al colocar las placas. Las colas fundidas como el betún normal 25 (1500 g/m²), betún hinchado 85/25 (2500 g/m²), que a los 50° C todavía son adhesivas, tienen una temperatura de licuefacción más alta que el propio styropor. Por ello las placas deben presionarse sobre el lecho de betún o pintarse tan sólo cuando la temperatura de éste ha descendido a unos 80° C; de otro modo se pondría en peligro la estabilidad de forma de las placas así como la homogeneidad del material.

Como capa superior de reparto de la presión del vapor se aplican en el caso de las placas de styropor sólo unas hojas autoadhesivas que se calientan en la cara inferior cuando se pega la primera capa de revestimiento, por lo que se hace el pegado por puntos o bien por fajas.

Colocación de placas de foam-glass

El foam-glass ofrece todas las cualidades que puedan exigirse a un material de aislamiento térmico.

Es inorgánico, su eficacia aislante es sólo un 20% inferior a la del corcho, resiste las pisadas y mantiene su forma. Es resistente al fuego, no presenta humedad higroscópica en estado de equilibrio, carece de absorción capilar y es, incluso, impermeable al vapor, de manera que no necesita la capa adicional de barrera contra el mismo.

Las placas se suministran empaquetadas en cajas de cartón. Sus dimensiones son 30/45 cm y 60/45 cm. Existen distintos espesores: de 2,5 cm, 3,0 cm, 3,5 cm, 4,0 cm, 5,0 cm y 6,0 cm. La colocación de placas de foam-glass no resulta, sin embargo, tarea fácil. Y ello por varios motivos: primero se requiere que la superficie del forjado resistente sea plana y muy lisa, mucho más de lo que se exige para otros materiales. Si una placa se ha pegado dejando un hueco en el engrudo de betún subyacente, se rompe al pasar por encima de ella, lo cual ocurre al extender las capas de revestimiento final. Es, por tanto, aconsejable extender una lechada de cemento que sirva para alisar las eventuales irregularidades del forjado, cosa que resulta del todo imprescindible en el caso de forjados prefabricados.

Cada placa de foam-glass es, por sí misma y por sí sola, impermeable al vapor. Pero como suele colocarse en una sola capa las juntas representan puntos débiles. Por otra parte, si al pasar por encima de las placas se rompe alguna de ellas, queda interrumpida de inmediato su eficacia como barrera contra el vapor, pudiendo éste, al igual que en cualquier otro material aislante, formar ampollas bajo el revestimiento. La dureza y rigidez interna del material pueden también ser causa de eventuales agrietamientos y roturas cuando la estructura que se recubre tiene cierta elasticidad, como es el caso de vigas y viguetas de acero. Por ello en EE.UU., que es de donde procede este material, se lo suele utilizar en dos capas, con las placas colocadas a rompejuntas, a fin de garantizar su total solidez y eficacia.

Su fragilidad lleva consigo, muchas veces, que haya que contar con un porcentaje relativamente alto de placas rotas o con des-

perfectos a pie de obra. Estas placas, naturalmente, se desechan. Las aristas o cantos estropeados no son tan fáciles de reparar como, p. ej., en las placas styropor.

Placas de lana mineral

Ultimamente también se ofrecen en el mercado placas de lana mineral resistentes a las pisadas. Debido a su gran elasticidad se aplican preferentemente para las cubiertas de perfiles metálicos con fuertes vibraciones. Un recubrimiento superficial inorgánico evita el hundimiento de las masas adhesivas a base de betún durante la colocación y además ofrece la suficiente estabilidad para efectuar una fijación mecánica. Otras apreciables características que posee este material aislante son su estabilidad térmica, su insensibilidad al betún caliente y la garantía de incombustibilidad según DIN 4102.

Comparación de los materiales aislantes

La siguiente tabla expone el comportamiento de los principales materiales aislantes al aumentar las exigencias de aislamiento; es decir, el grosor de placa requerido en función de índice de aislamiento.

Grosor necesario del aislante en mm.

Índice de aislamiento en mm $\frac{1}{\lambda}$ m ² h°C Kcal	Coeficiente de conductibilidad térmica λ en kcal/m h°C		
	0.030	0.035	0.045
	Poliuretano con revestimiento normal mm	Poliuretano Styropor Roofmate Styrodur mm	Foamglass mm
1.00	30.0	35.0	45.0
1.25	37.5	43.8	56.3
1.50	45.0	52.5	67.5
1.75	52.5	61.3	78.8
2.00	60.00	70.0	90.0

Economía de los distintos sistemas de aislamiento térmico

Una vez que se tiene la certidumbre de que el dispositivo de aislamiento térmico protege suficientemente a la estructura portante y defiende al edificio contra la irradiación solar en verano, queda todavía por ver cuál es el rendimiento que proporciona la inversión en protección térmica, mediante la disminución de las pérdidas de calor en invierno. Puede ocurrir que un ahorro en el espesor del aislante tenga por consecuencia unos gastos elevados de calefacción que hubieran podido evitarse, y viceversa, puede ser que una protección térmica innecesariamente reforzada no sea aprovechada en forma de ahorro en calefacción.

Características y campo de aplicación de los principales materiales de techar

Fajas de fieltro de lana

Fajas de fieltro de lana con capas de revestimiento de betún DIN 52128. Inclusión de fieltro de lana de 333 g/m² y de 500 g/m², grueso 2,0 y 2,4 mm respectivamente; capa de betún espolvoreada con arena.

Las fajas de fieltro de lana tienen buena resistencia a la rotura, en particular en sentido transversal respecto al eje de la faja. Si bien no presentan alargamientos ni acortamientos propios por variaciones de la temperatura, sin embargo, debido a la absorción de la humedad del aire, se producen deformaciones longitudinales de las fajas, lo que provoca la formación de pliegues y ondulaciones. Este hecho no aconseja su empleo como capa de revestimiento final (capa protectora) para cubiertas con poca pendiente. Como el tiempo frío no impide la colocación de estas fajas, todavía se usan para cubiertas con una pendiente mayor de 8°. En las cubiertas de varias capas estas fajas sirven muy bien de "armadura" intermedia.

Fajas con vellón de fibra de vidrio

Fajas perforadas de vellón de fibra de vidrio embetunadas, DIN 52143, enarenadas ampliamente en una cara.

Faja de vellón de fibra de vidrio embetunada, VII, DIN 52143, 50 g/m² de vellón de fibra de vidrio y 1100 g de masa de impregnación y de cubrición.

Faja de vellón de fibra de vidrio embetunada V 13, 60 g/m² de vellón de fibra de vidrio y 1300 g de masa de impregnación y de cubrición.

Las fajas perforadas de vellón de fibra de vidrio se pegan por puntos para proporcionar capas de reparto de la presión de vapor.

La ventaja principal de las fajas de vellón de fibra de vidrio es que no se hichan y además son imputrescibles. Su resistencia a la rotura es menor que la de las fajas con fieltro de lana. Contrariamente a estas últimas, las fajas de vellón de fibra de vidrio sufren un alargamiento propio en caso de variaciones de temperatura, lo que puede provocar la formación de pliegues. Por lo tanto sólo se colocan como capa de revestimiento final (capa protectora) en fajas de 5 m de longitud. Como "capa protectora" sólo debe emplearse la V 13. Una característica más es su resquebrajamiento con bajas temperaturas. El consejo de colocarlas sólo cuando hay una temperatura de aproximadamente 10° C, casi nunca puede realizarse en la práctica. Así pues, por lo menos, las fajas deberían precalentarse.

Hojas impermeables

Hojas impermeables con relleno de fibra de vidrio, DIN 18190, hoja impermeable G 200 B o rejilla de vellón de 200 g/m², fibra de vidrio y masa de cubrición embetunada, grueso 3 mm.

Hojas impermeables con relleno de tejido de yute, DIN 18190, 300 g/m². Tejido de yute y pasta embetunada de impregnación y masa de recubrimiento, grueso 3 mm.

Hojas impermeables A1 0,1 mm, acuinadas, B o Cu, 0,1 mm, DIN 18190 como barrera contra el vapor, masa de recubrimiento de betún, grueso 3 mm. Para que las capas de betún adquieran una mejor adhesión deben ser acuinadas con relieves en forma de elevaciones.

Los elementos obturadores de tejido de fibra de vidrio tienen una alta resistencia a la rotura. Como ocurre con las hojas de vellón de fibra de vidrio, estos elementos no se hinchán y resultan imputrescibles. Son más blandos y, por lo tanto, no les afectan pequeños movimientos y grietas en la cubierta (excepto juntas de dilatación). Bajo la sollicitación de esfuerzos de tracción, como, por ejemplo, en el caso de cubiertas con grandes pendientes, se produce un alargamiento a expensas del ancho de la hoja. Por lo tanto deberían emplearse sólo para cubiertas planas o cubiertas con pequeña pendiente. Como por la cara frontal de las hojas puede penetrar agua en el tejido de fibra de vidrio (Dr. Rück), deben cerrarse las mismas con betún caliente. Se ha observado que cuando la superficie de las hojas está expuesta al sol sin protección, la capa de betún se hunde en el tejido de fibra de vidrio. Por lo tanto debe protegerse contra la insolación directa mediante un lecho de gravilla o incluso mejor mediante una capa de gravilla mayor de 5 cm.

Aun teniendo características parecidas a las hojas con tejido de vidrio, las hojas impermeables con tejido de yute no están aseguradas contra la putrefacción. Sin embargo, una vez protegidos cuidadosamente sus bordes con betún, pueden emplearse perfectamente para las cubiertas con poca pendiente, e incluso con grandes inclinaciones, como, por ejemplo, en cubiertas "shed" (en este caso con inclusión de tela metálica) han dado un buen resultado.

Fajas para soldar

Fajas para soldar con distintos tipos de elementos obturadores, como tejido de fibra de vidrio, tejido en forma de rejilla de fibra de vidrio, fajas de aluminio, tejido de yute y también inclusiones mixtas, grueso 4-5 mm. Según sea su composición sirve de barrera contra el vapor y en algunos casos también de capa de aireación, si está fijada sólo por puntos o cuando se trata de hojas impermeables con el correspondiente tratamiento superficial.

Las fajas para soldar con inclusión de láminas de aluminio como barrera contra el vapor sólo deben colocarse debajo de la capa

de aislante térmico. Se sueldan por puntos (3 ó 4 superficies tamaño plato por m²) sobre el forjado y entonces sirven al mismo tiempo como capa de aireación. Como de costumbre se hacen costuras de soldadura de 8 cm de ancho.

Para las hojas impermeables sólo se necesitan dos capas. La primera se pega por puntos sobre la capa de aislamiento térmico, de modo que cumple con la función de capa de reparto de la presión de vapor, luego se pega por toda su superficie la segunda capa que será la capa de revestimiento final. En general se sueldan mediante un calentamiento uniforme, pero también pueden pegarse por colada de fusión. Al final se aplica la protección superficial corriente. Si no se extiende gravilla debería aplicarse un lecho de mortero con gravilla de 4/8 mm. Las fajas para soldar han de colocarse con temperaturas de aproximadamente 10° C. Si éstas fueran más bajas, las fajas deben precalentarse suficientemente.

Fajas de materia plástica

Como barreras contra el vapor y capas de revestimiento pegadas, estas fajas deben ser compatibles con el betún, como, por ejemplo, Rhepanol y Lukobit. En cambio, las láminas de PVC blando, como Rhenofol o Trocal, etc., no deben tener contacto con capas o elementos constructivos que contengan betún o aceite. Las fajas plásticas que constituyen las capas de revestimiento final deben ser resistentes a la intemperie y a los rayos ultravioletas, así como a chispas volantes, al calor radiante y a los gases industriales. Por razones de seguridad las láminas plásticas colocadas sueltas deben empotrarse en los bordes de la cubierta. Los fabricantes ofrecen unos perfiles especiales para este propósito.

La colocación de las láminas, que ya se sueldan en fábrica a piezas de mayor tamaño (su tamaño depende de las dimensiones del forjado a cubrir, de los medios de transporte y los aparatos elevadores en la obra) requiere mucho cuidado. Una vez fijadas en el borde de la cubierta, se colocan los costados de las láminas en la dirección que corresponde a la del viento dominante. Sólo se disponen las placas aislantes que se tenga seguridad que pueden cubrirse en un día.

Sobre la superficie cubierta debe extenderse inmediatamente una capa de gravilla. Las juntas se impermeabilizan con un recubrimiento de 3-5 cm mediante una soldadura con disolventes, a mano o con aparatos especiales. También los bordes de la lámina sobrepuesta reciben este tratamiento. Actualmente se fabrican hojas con bordes autoadhesivos que sólo deben laminarse sobre la base. Asimismo existen en el mercado láminas con una capa inferior de fieltro de material sintético que reducen el número de fases de trabajo. Como es natural, se ha colocado previamente la barrera contra el vapor. Una vez terminada toda la superficie de cubierta, se alisa el revestimiento y luego se fija en los bordes de la cubierta. La elasticidad de las láminas compensa el acortamiento de las fajas durante las épocas frías. El revestimiento con láminas es el único cerramiento de cubierta que puede ejecutarse cuando hace mal tiempo, incluso con temperaturas hasta -10° C. En este último caso sólo hay que precalentar los bordes.

Este tipo de revestimiento facilita y asegura los movimientos del cuerpo de construcción y las juntas de dilatación. No es apropiado para formas cóncavas de cubierta.

Normalmente las láminas plásticas tienen un grueso de 0,8 a 1 mm. No requieren trabajos de mantenimiento. Los daños en la capa exterior resistente de cubierta pueden repararse mediante la soldadura de una pieza de lámina. Aún no puede decirse nada definitivo respecto a la durabilidad de la cubierta con láminas plásticas; posiblemente después de 20, 30 ó 40 años habrá que colocar una lámina nueva.

El tamaño de la superficie que puede cubrirse sin interrupciones tiene su importancia. De este modo ya se han impermeabilizado cubiertas de 4000 m² e incluso mayores.

Modo de pegar las hojas de cartón y formación de burbujas

El pegado de las hojas de cartón, cuando éstas se aplican sobre losas de hormigón, debe efectuarse con sumo cuidado, pues de lo contrario pueden producirse graves desperfectos, como son la formación de ondulaciones o de ampollas o bolsas de aire.

Las ondulaciones deben atribuirse más bien a la estructura del cartón bruto, es decir, que con cartones de techar de buena calidad o con láminas armadas con vellón de fibra de vidrio o esteras de yute, rara vez ocurre.

La causa principal de la formación de ampollas en las cubiertas de cartón bituminoso es la presencia de agua (tanto en estado líquido como en estado de vapor), que se encuentra incluida en forma de pequeñas burbujas, sea en la capa bituminosa, sea en el cartón, y se halla sometida a la influencia de las variaciones de temperatura.

La formación de burbujas solamente puede ser evitada a condición de que el fabricante seleccione los materiales adecuados y de que el mayorista tenga el debido cuidado en el almacenaje, así como de que el operario colocador tome las precauciones convenientes para que, al techar, las hojas puedan absorber muy poca humedad.

La causa de la formación de burbujas en los revestimientos de cartón de techar colocados sobre vertientes de hormigón es la siguiente: el aire o la humedad que se encuentra en los poros del hormigón de soporte o en los sitios donde la capa de revestimiento o la pasta adhesiva no está íntimamente adherida al hormigón, se calienta bajo el influjo de la radiación solar que atraviesa la capa de cartón impregnado.

Se han medido en tales casos temperaturas de la superficie del cartón de techar hasta 80° C. Bajo la acción de este calentamiento, el aire se dilata y el agua se vaporiza, con lo cual el vapor formado aumenta de volumen. Si, como suele ocurrir, el carbón bituminoso es impermeable, se produce en el sitio de la burbuja una sobrepresión de los gases que puede alcanzar 0,5 atmósferas. Esto es suficiente para que en tales puntos se desprenda la capa de cartón o la masa adhesiva venciendo la eventual adherencia con el hormigón, y se originen pequeñas ampollas en la superficie, casi imperceptibles al principio. Al interrumpirse la radiación solar a la puesta del sol o por interposición de nubes, por lluvia o por una causa cualquiera que haga bajar la temperatura, se contraen y endurecen los materiales bituminosos y llegan a adquirir una rigidez que les impide recuperar su forma primitiva. Aun cuando después el enfriamiento llegue al aire o vapor encerrados, lo hace siempre con retraso por la mala conductividad térmica del material, por lo cual, a pesar de la disminución consiguiente del volumen de gases y la condensación del vapor de agua, la capacidad de la cavidad donde estaban encerrados ya no varía debido a la rigidez adquirida por el asfalto y el cartón que la formaban. En el hueco en cuestión se produce una disminución de presión que da origen a una aspiración de nuevas cantidades de aire y de humedad procedentes del hormigón hasta restablecer el equilibrio de las presiones entre el interior y el exterior, con lo cual la cantidad de aire y agua en dicha cavidad ha quedado, al final, aumentada. Al reproducirse el proceso de calentamiento, se renueva el ciclo de fenómenos físicos mencionado y va creciendo progresivamente la cantidad de aire y de vapor de agua encerrada en la ampolla. Esta se va hinchando cada vez más.

El recorrido del vapor de agua, que en invierno, con la caída de temperatura desde el interior, a través del forjado y la capa aislante se dirige hacia debajo del revestimiento final, se invierte en verano cuando aquel revestimiento se calienta, de modo que toda la cubierta pueda decirse que se seca parcialmente. Los daños en la cubierta a causa de la difusión de vapor de agua procedente del local inferior tardan años en manifestarse, a veces decenios enteros.

Pendiente de cubierta y revestimiento adecuado

El tipo y el número de capas de revestimiento dependen de la pendiente de la cubierta. La DIN 18338 fija lo siguiente: Las cubiertas planas y las que tengan una pendiente menor de 5° carecen de un desagüe natural, o bien el desagüe no está suficientemente asegurado. Por lo tanto se requiere una mayor impermeabilización. Debe consistir en más de tres capas, siempre que no se empleen capas para soldar o láminas plásticas. Sólo deben colocarse hojas de vellón de fibra de vidrio imputrescibles, DIN 52143 y hojas de fibra de vidrio DIN 18190. Sobre la capa superior de reparto de la presión del vapor se coloca una hoja con vellón de fibra de vidrio embetunada V 11 y encima de ella una capa de impermeabilización con inclusión de fieltro de lana o de otros tejidos. Una hoja con vellón de fibra de vidrio

V 13 constituye la capa protectora. Todas las capas se pegan entre sí por todas sus superficies con betún vertido en caliente. Los techados con pendientes mayores de 5° deben cubrirse como mínimo con dos capas de revestimiento, con hojas impermeables o con hojas soldadas.

Para pendientes entre 5 y 8° debe colocarse como capa superior una hoja impermeable embetunada con inclusión de fibra de vidrio.

En casos de pendientes más fuertes las hojas deben colocarse perpendicularmente al alero y para las hojas de cubierta y la masa adhesiva deben elegirse unos materiales resistentes al calor. Además deben preverse fijaciones mecánicas para las capas de revestimiento.

Protección de las capas exteriores

La durabilidad de la capa exterior depende en gran medida del tratamiento y ejecución de su superficie. Si debajo de aquella capa se encuentran placas de aislante térmico pisables —lo que es frecuente— se forma encima de las mismas un "embalse" de calor que en los meses del verano puede llegar a reblandecer el betún de la cola adhesiva hasta hacerlo fluido.

No obstante los agentes que acortan la vida de una cubierta suelen ser los atmosféricos.

Este proceso puede ser acelerado al dar a la cubierta un color inadecuado: así las cubiertas oscuras —todas las cubiertas tienden a volverse oscuras por el polvo y hollín acumulados— llegan a registrar 20° C de temperatura más que las de color claro. Y a la inversa, las superficies de cubierta oscuras pueden tener, durante la noche, temperaturas hasta 5° C inferiores a las del aire exterior. Luego deben tenerse en cuenta los cambios bruscos de temperatura, por ejemplo cuando cae granizo con tiempo soleado.

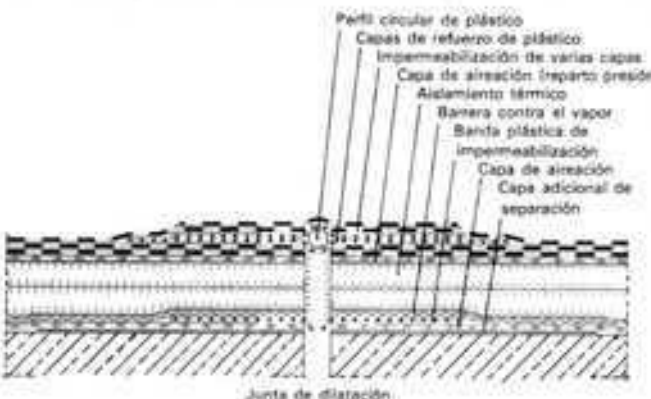
Las medidas con las que se puede combatir estos efectos perjudiciales dependen de la pendiente de la cubierta. En las cubiertas planas o casi planas se utiliza como mínimo una capa de betún líquido de 2 kg/m²; en todo caso, es mejor dos capas de 2 kg/m² cada una. Una capa de 5 cm de gravilla suelta de color lo más claro posible (tamaño granular 16/32 mm) constituye la mayor protección posible contra los efectos perjudiciales antes citados. Pero este tipo de protección sólo puede aplicarse en cubiertas con bordes suficientemente elevados y con pendientes de 5° como máximo. Si este procedimiento resulta imposible se emplea un lecho de gravilla prensada. En la mayoría de los casos se aplica una capa de betún en caliente de 1,5 kg/m² y luego encima de ella, en frío, un lecho de gravilla y betún, en el cual está incrustada la gravilla de 4/8 mm. En su lugar también puede aplicarse una capa de gravilla triturada de 1/3 mm que cubra densamente la superficie.

Para cubiertas con pendientes mayores de 5° se elige una capa exterior de revestimiento que ya ha sido enarenada en fábrica. Para evitar la aparición de vegetales se aconseja el empleo de aditivos adecuados.

Las capas de gravilla no sólo proporcionan buena protección mecánica a la cubierta, tanto al ser pisada como frente a los agentes exteriores normales, sino que también disminuyen el riesgo de incendios.

Juntas de dilatación

Las juntas de dilatación deben ser salvadas por el revestimiento de tal forma que los elementos de cubierta puedan moverse



CUBIERTA SIMPLE O CALDEADA CON INSUFICIENTE PROTECCIÓN TÉRMICA

	Capas de cubierta exterior con gravilla 2 capas de aireación (cartón respirante) capa de aislante térmico de insuficiente espesor barrera contra el vapor 1 capa de aireación (cartón resp.) imprimación previa forjado macizo = 15 cm H.A.	$k = 1,00 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C}}$ $Q = 0,4 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \text{ h}}$	
--	--	--	--

COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD TÉRMICA EN DISTINTAS CUBIERTAS CON IGUALES CAPAS DE AISLANTE TÉRMICO Y LAS MISMAS TEMPERATURAS

Cubiertas simples o caldeadas	Composición	Coeficiente de perm. térmica y cantidad de calor que las atraviesa	
	Capas de cubierta exterior con gravilla 2 capas de aireación (cartón respirante) capa de aislante térmico (de esp. suficiente) barrera contra el vapor 1 capa de aireación (cartón resp.) imprimación previa 15 cm losa H.A.	$k = 0,57 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C}}$ $Q = 34 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \text{ h}}$	Ventajas: construcción sencilla y económica Inconvenientes: coeficiente de per. térmica relativamente alto, en verano se caldeará mucho al interior.
	3 cm horm. de árido fino 1 cm horm. de árido grueso 1 capa de cartón de protección 1 cm de alambre de cobre o aluminio 2 c. de aireación (cartón resp.) capa de aislante térmico (suficiente) barrera C. vapor 1 capa de aireación (cartón resp.) imprimación previa 15 cm losa H.A.	$k = 0,57 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C}}$ $Q = 34 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \text{ h}}$	Ventajas: construcción muy duradera y de ejecución sencilla Inconvenientes: coef. de per. térmica igual de alto que en la versión I
Cubierta doble o ventilada	Composición	Coeficiente de perm. térmica y cantidad de calor que las atraviesa	
	2 Capas de cartón asfáltico pavimento vertido con aditivo impermeabilizante placa ondulada de fibrocemento 5 cm corcho «Expanita», o bien «Styroplon» 15 cm losa de H.A.	$k = 0,40 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C}}$ $Q = 30 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \text{ h}}$	Ventajas: coef. de per. térmica rebajado Inconvenientes: falta de experiencia a largo plazo, se desconoce el comportamiento de la capa de cemento ante enfriamientos bruscos
	3 Capas de cartón asfáltico 2 cm de tablas machihembradas 5 cm cámara de aire 5 cm corcho «Expanita», o bien «Styroplon» 15 cm losa de H.A.	$k = 0,34 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C}}$ $Q = 17 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \text{ h}}$	Ventajas: coef. de per. térmica baja Inconvenientes: las fijaciones de la cubierta sobrepuesta han de atravesar la capa aislante
Cubierta-estanco o inundada	Composición	Coeficiente de perm. térmica y cantidad de calor que las atraviesa	
	5 cm nivel mín. agua capas de cubierta impermeable con gravilla capa de obturación con juntas soldadas 2.ª capa de aireación (cartón resp.) capa de aislante térmico barrera contra el vapor 1.ª capa de aireación (cartón resp.) imprimación previa forjado macizo de H.A.	$k = 0,37 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C}}$ $Q = 11 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \text{ h}}$	Ventajas: construcción sencilla, calentamiento mínimo del forjado ya que la temperatura de sus capas superiores se mantiene siempre baja por la pérdida de calor permanente de evaporación del agua

libremente en las medidas previamente fijadas. Como las bandas de impermeabilización usuales son demasiado frágiles para cumplir este objeto, se colocan entre ellas dos o tres bandas de materia plástica en forma de lazo.

Formas especiales de la cubierta no ventilada

1. Cubierta "Kisola" de la casa "Teorbau", Essen

En principio la composición por capas es la misma que la de las normales cubiertas ventiladas (frías) y no ventiladas (calientes). La cubierta "Kisola" se distingue de los revestimientos corrientes con hojas de cartón asfáltico sólo por el material de la base, por el número de las capas de revestimiento, que se hacen en la obra misma, y por el betún usado.

Composición y ejecución

Capas de aislamiento térmico.

El betún se aplica a unos 200° C, por lo tanto se elegirá "foam-glass" como material aislante.

Sobre la capa aislante se extiende una capa de betún de 2 kg/m², con un grueso de ~ 2 mm. Sobre ella se aplica la primera capa de cartón fieltro de lana, empapada con betún, de 180 g/m²; sobre ésta, otra capa de revestimiento de 2 kg/m², luego otra capa de cartón fieltro de lana, etc., hasta tener colocadas 4 capas de cartón que se alternan con las 5 capas de betún. Las capas de cartón se colocan cruzadas y con juntas alternadas. En lugar de cartón fieltro de lana puede emplearse también vellón de fibra de vidrio empapado con betún.

Para proteger la capa exterior de recubrimiento se aplica en las cubiertas planas un lecho de gravilla suelta de 18/36 mm con un grueso de 5 cm, o bien se disponen dos capas de gravilla de 4/8 mm u 8/12 mm aplicadas con betún caliente B 80 ó B 200. La parte superior de la segunda capa de gravilla sobresale del lecho de betún y proporciona a la cubierta un color claro que le es favorable. La doble capa de gravilla llega a tener un grueso de 15-20 mm. Este grueso es necesario para reducir las tensiones en el borde que se producen cuando en las cubiertas planas aparecen lagunas de agua. Para las cubiertas con pendiente basta una sola capa de gravilla bien embebida con betún.

La cubierta "Kisola" se emplea preferentemente para grandes superficies de cubierta, ya que aparte de una maquinaria especial requiere un gran consumo de betún, el calentamiento del mismo y luego su transporte.

Durante los trabajos de cubrición, el número de placas colocado cada día ha de ser el que pueda revestirse con todas sus capas en el mismo día. Si los trabajos de cubrición deben pararse durante el invierno, pueden aplicarse, por ejemplo, igual que en otros tipos de cubierta, una hoja para soldar que constituye la capa de aireación y una capa de revestimiento, para seguir con la cubierta en la primavera siguiente.

2. Cubiertas-estaque

Si se comparan los distintos tipos de cubiertas según la cantidad de calor que las atraviesa en verano, de fuera a dentro, las mejores son las ventiladas y las cubiertas-estaque con relleno de agua. Mientras que una cubierta normal llega a temperaturas en su superficie de ~ 80° C, la máxima temperatura medida en una cubierta-estaque es de ~ 40° C. Las mediciones indicadas en la figura, efectuadas en la fábrica Merck, de Darmstadt, Alemania, cuya cubierta ha sido diseñada por el autor, proporcionaron precisamente aquel valor máximo.

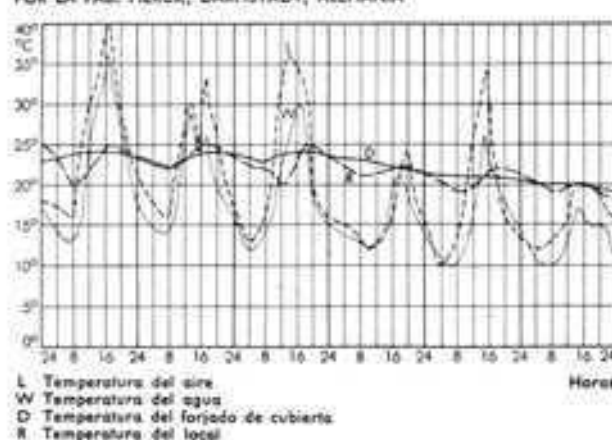
Como las cubiertas con una capa de revestimiento de gravilla suelta se aproximan a dichos resultados, hoy día casi no se emplean ya las cubiertas-estaque.

3. La cubierta "reversible"

La más moderna construcción de cubierta plana, la llamada "cubierta reversible", muestra cómo las nuevas y mejoradas propiedades de los materiales de las placas aislantes influyen en la composición de la cubierta no ventilada, incluso cómo la puede cambiar totalmente.

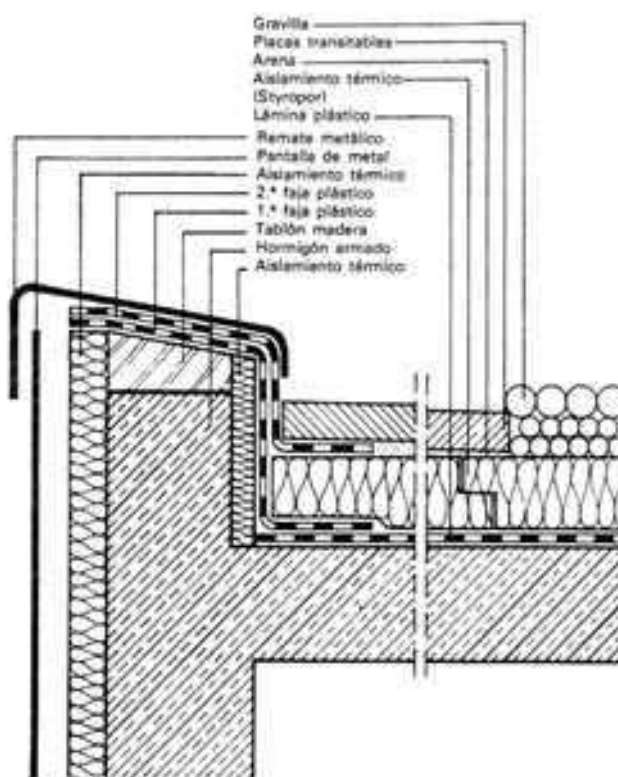
En comparación con las placas normales de plástico celular rígido, las placas extrusionadas de plástico celular rígido de poliesti-

VARIACIONES DE TEMPERATURAS REGISTRADAS EN UNA CUBIERTA-ESTANQUE OBSERVACIONES EFECTUADAS DEL 16 AL 23 DE MAYO DE 1960 POR LA FÁB. MERCK, DARMSTADT, ALEMANIA



reno (como por ejemplo "Styrodur" o "Roofmate") no absorben casi agua por su superficie compactada y con huecos de menor tamaño. Después de haber permanecido 28 días bajo el agua absorbieron menos de 0,7 % en volumen de humedad. Incluso después de haber sido expuestas varios años a la intemperie, las placas situadas cerca de los desagües, donde prácticamente estaban siempre cubiertas por agua, sólo tenían un contenido de humedad menor del 1,7 % de su volumen. No sólo son resistentes al agua, sino también al hielo. Su estabilidad térmica se conserva hasta 90°, y con un breve calentamiento incluso hasta 150° C, siendo difícilmente inflamables. En la zona de temperaturas, en que actúan como capa aislante, las placas no sufren ni acortamientos ni alargamientos dignos de tener en cuenta. Sin embargo, como todas las placas de plástico celular rígido, son sensibles a los rayos ultravioletas, por lo que deben cubrirse durante su almacenamiento a pie de obra con una envoltura protectora.

Este material proporciona una composición de capas totalmente distinta, pero mejorada y simplificada.



Los forjados de hormigón armado son muy adecuados como subestructura de la cubierta "reversible". Por razones de protección contra incendios suelen tener ya un grueso mayor de 12 cm. En general son planos, siempre que no pueden ejecutarse con una pequeña pendiente para mejorar el problema de los desagües. Estos forjados actúan como acumulador térmico regulando la temperatura en beneficio del aislamiento de la cubierta y el clima en los locales. Sobre esta base se puede aplicar encima de la capa de reparto de la presión del vapor el recubrimiento de tres capas con hojas de vellón de fibra de vidrio y hojas con tejido de fibra de vidrio. Luego se empastece la capa de revestimiento final con betún caliente y encima de ella se pegan las placas aislantes con betún. Esta forma de impermeabilizar la cubierta, aunque muy trabajosa y dependiente del clima, ofrece la mejor protección contra daños mecánicos que pueden producirse durante las fases siguientes de la construcción o durante trabajos posteriores.

Pero como las capas de impermeabilización descansan directamente sobre el duro forjado, cuya superficie debe aislarse cuidadosamente, normalmente se coloca primero una banda de fieltro bruto y encima de ella una lámina de materia plástica. También existen hojas de materia plástica que ya están equipadas con una capa de fieltro, lo que simplifica los trabajos. Su situación protegida debajo de la capa aislante influye positivamente en la durabilidad y la resistencia de las placas de impermeabilización. Pero es aún de mayor importancia que la impermeabilización se sitúe —igual que la barrera contra el vapor en las tradicionales cubiertas planas— en el lugar donde se producen los menores cambios de la temperatura. Incluso cuando la temperatura del local baja durante la noche a aproximadamente 10° C y la superficie exterior de la cubierta tiene -15° C, la impermeabilización no entra en la zona de la helada. Entre las temperaturas de invierno y las de verano sólo hay un margen de aproximadamente 20°, lo que no puede conseguirse con ningún otro tipo de revestimiento y este hecho contribuye considerablemente a una mayor durabilidad de la cubierta.

Las placas aislantes con pliegues escalonados se colocan sueltas sobre la banda de impermeabilización. Sus dimensiones son normalmente de 60 x 125 cm, o sea 0,75 m². Debido a la baja acción de la humedad se aplican placas 10 mm más gruesas que las que serían necesarias para el recubrimiento tradicional. Una vez colocadas, las placas deben cubrirse seguidamente con gravilla. La capa de gravilla, cuyo grueso mínimo será de 5 cm (tamaño granular de 16/32 mm) por razones de protección contra los rayos ultravioletas, debe dimensionarse al menos con el grueso de la placa aislante para evitar el empapamiento en caso de un fuerte aflujo de agua. Sobre la superficie más pisada —por ejemplo, el trayecto hasta la chimenea— se colocarán baldosas. Es aconsejable colocarlas también en los bordes de la cubierta. El desagüe de las placas aislantes, colocadas sueltas pero encajadas a presión, tiene lugar tanto por su superficie como por la cara inferior sobre la impermeabilización de la cubierta. Esto provoca una pequeña pérdida de calor adicional que no tiene importancia. Sin embargo, deben tenerse en cuenta, cuando se ejecuten los bordes de la cubierta, los encuentros con la pared y los tubos de bajada. Aún no se pueden facilitar experiencias respecto a este nuevo tipo de composición de cubierta.

Cubiertas a la intemperie

Entablado

Debe estar hecho con tablas de buena calidad, secas, de aristas y cantos rectos y de espesor uniforme. La mejor base de apoyo se obtiene con madera machihembrada, porque las tablas así colocadas no se deforman fácilmente. Las tablas deben ser lo bastante gruesas como para que no se flexen al pasar por encima de ellas. Deben tener un espesor > 25 mm y una anchura máxima de 12 cm. Con un espesor de 25 mm se pueden emplear tablas de un máximo de 0,80 m de distancia entre cabios. Hay que evitar las juntas a tope demasiado anchas. Tales juntas no han de caer siempre sobre el mismo cabio, sino que han de irse repartiendo sobre todos los cabios de la cubierta, porque de lo contrario habría que contar con grietas seguras si las juntas estuviesen en una misma alineación.

Los agujeros de los nudos en la madera, si son grandes, tienen que taparse con tiras de chapa o de cartón. Los ganchos soportes de las canales deben quedar encajados al ras con la madera, para que la superficie de apoyo del tablero sea perfectamente plana. En las viseras de frontón se refuerza la parte de tablero en saliente por medio de un travesaño o listón clavado por debajo en el borde y cuya sección sea cuadrada, rectangular o triangular; en esta forma se contrarresta el peligro de que los extremos de las tablas que sobresalen por la pared del frontón se alabeen o tuerzan estropeando el revestimiento colocado encima y además favorece el clavado de las hojas de cartón, que se encuentran mejor sujetas. Un listón triangular clavado encima impide el goteo del agua de lluvia sobre el hastial. El peligro de que se formen ampollas en la capa de cartón es menor que sobre base de obra, porque al clavar la capa inferior puede conseguirse que el vapor de agua procedente de la evaporación de la humedad en el tablero y aprisionado por la capa impermeable se reparta sobre una superficie mayor y pueda distenderse.

REVESTIMIENTO DOBLE (ESQUEMA)



Las fajas montadas sobre un ligero entablado tienen mayor durabilidad, ya que la acumulación térmica de las capas aislantes no tiene lugar. Sobre un entablado machihembrado se aplica el cubrimiento, según la pendiente de la cubierta, de la siguiente manera:

- A. Pendientes menores de 5°. Requieren una impermeabilización de tres capas. Estas capas deben pegarse entre sí en toda su superficie.
 - 1) 1 hoja con vellón de fibra de vidrio empapada con betún V II
 - 2) 1 hoja impermeable con relleno de tejido
 - 3) 1 hoja con vellón de fibra de vidrio empapada con betún V 13
 - 4) La capa de revestimiento se empastece 1 a 2 veces con betún, incluyendo una capa densa de gravilla, tamaño granular 4/8 mm, o bien una capa de gravilla suelta de tamaño granular 16/32 mm.
- B. Pendientes de 5° a 8°. Para estas pendientes basta generalmente un revestimiento de dos capas.
 - 1) 1 hoja con vellón de fibra de vidrio empapada con betún V II
 - 2) 1 hoja impermeable con relleno de tejido y tratamiento superficial en fábrica
- C. Pendientes mayores de 8°. A partir de esta pendiente todas las hojas deben colocarse perpendicularmente al alero, y habrán de clavarse y pegarse. Es suficiente un revestimiento de dos capas, por ejemplo:
 - 1 hoja con vellón de fibra de vidrio empapada con betún V II
 - 1 hoja con vellón de fibra de vidrio empapada con betún V 13

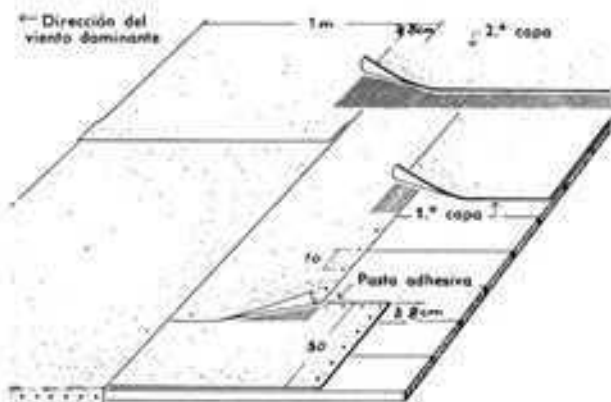
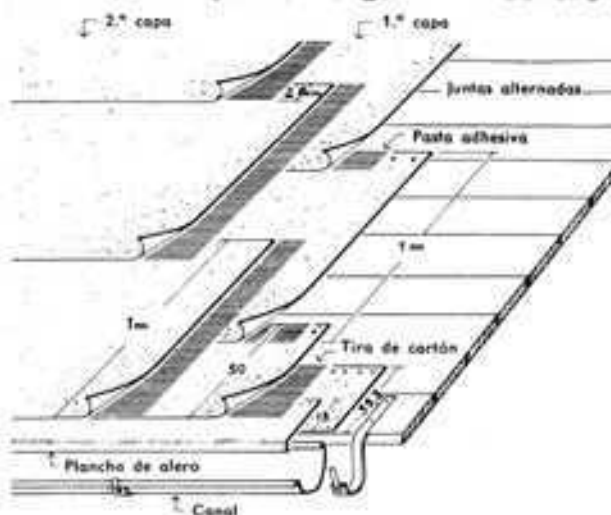
En lugar de las hojas con vellón de fibra de vidrio también pueden aplicarse cartones de fieltro de lana 333 y 500, pero ya sólo por su mayor precio pasan éstos a segundo término.

Ejecución de los revestimientos de cartón

Clavado

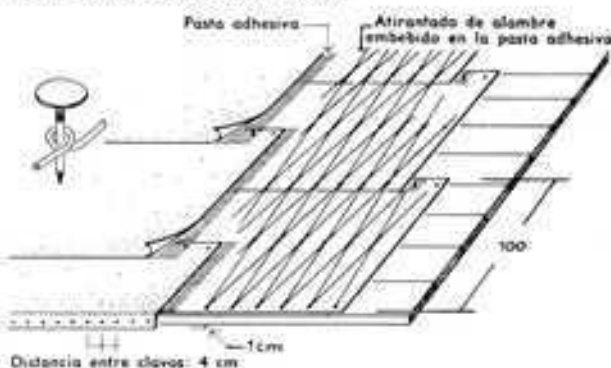
El clavado debe estar a 2 cm del borde del cartón, con una distancia de 10 cm entre clavos. Tanto si se trata de revestimientos de una sola capa como si son de dos o más capas, los clavos sólo deben quedar a la vista junto al borde del alero y de la visera

REVESTIMIENTO DOBLE DE CARTÓN SOBRE MACHIHEMBADO
FAJAS PERPENDICULARES AL ALERO
SIN CANAL PENDIENTE $> 8^\circ$
LONGITUD DE LAS HOJAS DE CARTÓN ≤ 5 M

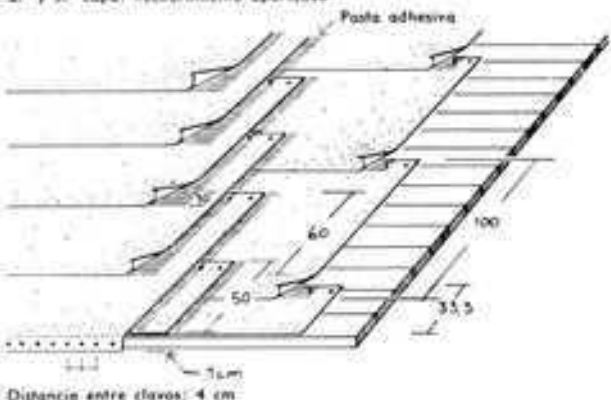


del frontón; es decir que todas las filas de clavos de la superficie han de quedar cubiertas por el borde de la hoja siguiente de cartón. Al proceder al clavado hay que procurar que ningún clavo se introduzca en una junta del entablado de soporte. Los clavos en la parte central de las hojas de cartón son innecesarios.

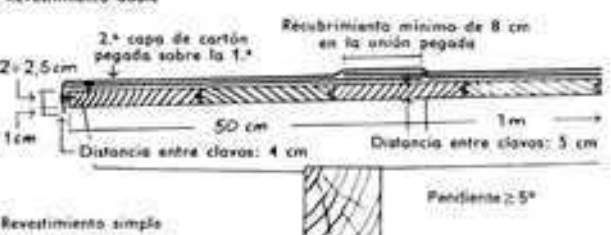
En los revestimientos de una sola capa sobre tablero de madera se cubren los bordes clavados de cada hoja pegando encima el borde de la hoja siguiente. En los revestimientos de dos o más capas colocados sobre tablero de madera, se clavan las hojas de la primera capa y sobre ellas se pegan totalmente las de la capa siguiente.



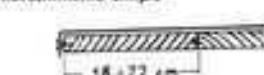
1.ª capa: Recubrimiento normal.
2.ª y 3.ª capa: Recubrimiento espaciado.



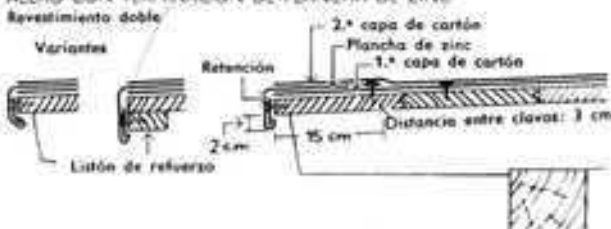
ALERO CON TERMINACIÓN SENCILLA DEL CARTÓN
Revestimiento doble



Revestimiento simple



ALERO CON TERMINACIÓN DE PLANCHA DE ZINC



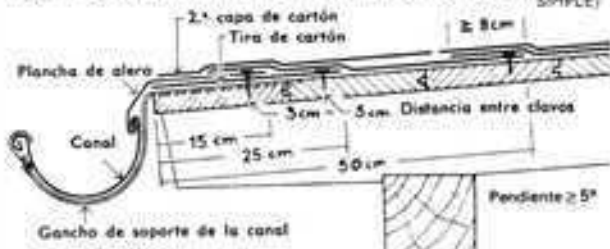
Cumbrao

Junco alternados
Recubrimiento ≥ 8 cm

Allegato									
----------	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Aleros con canal. Los ganchos de soporte se fijan en el tablero de madera. La plancha de alero queda colocada entre dos capas de cartón

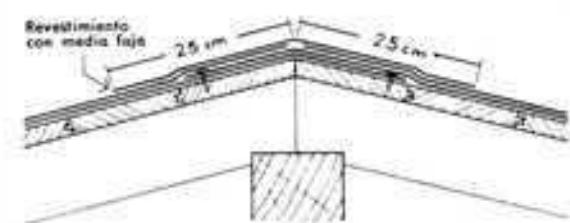
ALERO CON CANAL COLGADA DELANTE.
REVESTIMIENTO DOBLE (EN FORMA ANALOGA EL REVESTIMIENTO SIMPLE)



Cumbreras y limas tesas

En las cumbreras y limas tesas se colocan las hojas o láminas de cartón de manera que las de una vertiente, prolongándose más allá de la arista, cubran de 15 a 20 cm de la vertiente opuesta. En tales casos, la hoja que monta debe proceder de la vertiente expuesta a los vientos dominantes. También es factible, sin embargo, cubrir cumbreras y limas tesas con una faja tapajuntas de 50 cm de ancho (media hoja) del mismo cartón de techar.

REVESTIMIENTO DE CABALLETES Y LIMAS



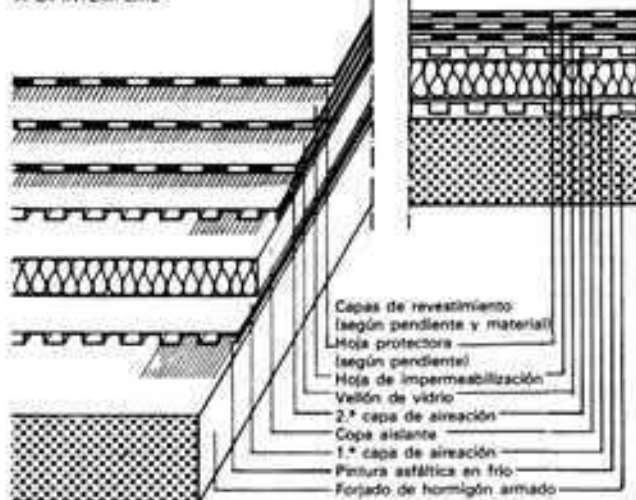
Cubiertas de hormigón armado a la intemperie

Las cubiertas hormigonadas en obra, las marquesinas de andenes de estación ferroviaria, etc., no deben ser expuestas directamente a los rayos solares, porque los fuertes movimientos de dilatación de las cubiertas pueden ocasionar deformaciones y daños en las paredes o pilares que las soportan. Así, p. ej., una cubierta de hormigón armado de 40 m de largo sometida a diferencias de temperatura de 100° C, experimentará una variación de longitud de 4 cm. Por ello conviene proveer a la losa de tantas juntas de dilatación como permita su estructura y cubrirla con una capa aislante térmica cuanto antes mejor, especialmente en verano.

En general estas cubiertas no tienen pendiente o sólo una muy suave hacia el centro de la cubierta. Las cubiertas a la intemperie no necesitan una barrera contra el vapor. El aislamiento y la impermeabilización se componen de la forma siguiente:

- 1) Aproximadamente 4 semanas después de su acabado se aplica sobre la capa exterior de la cubierta un pintado preparatorio con betún en frío.
- 2) Una capa de aireación, pegada por puntos, sirve para el reparto de la presión del vapor y hace las capas aislantes más independientes de los movimientos del forjado.

CONSTITUCION DE UNA CUBIERTA DE HORMIGON ARMADO A LA INTEMPERIE



- 3) Al dimensionar el grosor de las capas aislantes también debe tenerse en cuenta la longitud del forjado y eventualmente la distancia entre las juntas de dilatación.
- 4) Sobre la capa aislante se aplica, por ejemplo, una "hoja autoadhesiva", que simultáneamente sirve de segunda capa de aireación y de primera capa de revestimiento final.
- 5) La segunda y tercera capas de revestimiento final consisten, como mínimo, en dos hojas de vellón de fibra de vidrio V13.
- 6) La superficie de la capa de revestimiento final se emplastece con una o dos manos de betún caliente de 3-4 kg/m². Luego se aplica una capa de 5 cm de grava suelta, tamaño granular 16/32 mm.

Sobre cubiertas con pendiente de 5° debe aplicarse en vez de la capa de grava suelta una densa capa de gravilla sobre un lecho de mortero, tamaño granular 4/8 mm. Otra solución es un revestimiento hecho en fábrica.

Cubiertas transitables

Las cubiertas transitables (como terrazas, balcones, etc.) se construyen con pendientes de 1,5 a 2%. Para su impermeabilización sólo son apropiadas las capas de pintura asfáltica y las hojas de cubierta con una solera de placas macizas encima. Para lograr una impermeabilización perfecta hay que prever, al proyectar la obra, determinadas medidas: todas las construcciones, barandas, etc., que rodeen o sobresalgan por encima de la azotea deben tener una hendidura periférica de 3 a 5 cm de profundidad y 15-20 cm de anchura en su zócalo para alojar el material de impermeabilización. Los aleros serán de tal modo que no puedan formarse junto a ellos bolsas de agua. Para la colocación de barandillas metálicas, mástiles, etc., se anclarán sus zapatas y basamentos en el forjado, por debajo de las capas de impermeabilización.

Revestimiento asfáltico

Antes de aplicar ninguna capa de masilla asfáltica, el soporte o subestructura (sobre todo si es de hormigón o está enlucido con cemento) debe estar bien seco, pues de lo contrario sería inevitable la formación de ampollas. Estas se originan por el vapor de agua, que ejerce presión sobre la cara inferior de la capa impermeable. Ese vapor puede producirse al verter o colocar la masa asfáltica fluida y caliente sobre una superficie de apoyo húmeda que penetra en la subestructura, por debajo o por la cara frontal. Las azoteas situadas sobre locales húmedos deben tener una capa de barrera contra el vapor. Se ha comprobado que normalmente sólo se forman burbujas donde existe una fuerte adherencia entre el asfalto y el hormigón. Es, por consiguiente, recomendable colocar siempre entre la capa impermeable y su subestructura de soporte una capa de separación de papel aceitado o

de cartón de techar. Entonces, la presión del vapor puede repartirse sobre una superficie mayor de manera más uniforme. Esta capa de separación forma, además, una defensa contra las grietas que las tensiones pueden originar en el hormigón y que una adherencia demasiado firme transmitiría también a la capa impermeable.

Para formar el revestimiento protector de cemento, deben utilizarse cementos "resistentes a la lejía", ya que de lo contrario el agua "blanda" de la lluvia daría lugar a eflorescencias de cal que producirían exfoliaciones y reducciones de la sección útil.

Si en la obra de hormigón que constituye la subestructura hay juntas de dilatación o de asiento, se coloca en ellas una plancha curvada hacia abajo y por encima se cubren con una hoja de Rhepanol. Las capas impermeables y las de tránsito deben llevar también sendas juntas que, una vez terminada y fría la capa de revestimiento, se rellenarán con una pasta o masilla plástica, de acuerdo con la DIN 1995/98.

Cuando la capa impermeable está estropeada y conviene sustituirla es fácil hacerlo si existe debajo de aquella otra capa aislante de papel aceitado o de cartón de techar.

El asfalto para rellenar juntas se prepara con una mezcla de masilla asfáltica, arena y gravilla de machacadora. Para el alisado de la superficie se frota ésta con arena o con gravilla fina. Tan pronto como el revestimiento está frío es ya transitable y tan resistente que es rarísimo que puedan producirse desperfectos por el uso normal.

Los revestimientos impermeabilizantes de una sola capa no se utilizan más que para construcciones no permanentes. En todos los demás edificios y en todas sus terrazas, balcones, etc., las capas impermeabilizantes deben ser, al menos, dos.

La capa inferior es la que hace de capa impermeable propiamente dicha. La masa asfáltica debe ser suficientemente blanda y rica en betún para que a temperaturas de 160 a 180° C pueda ser distribuida o repartida cómodamente con la paleta o con la llana. Sin embargo, si las pendientes de las cubiertas tienen cierta inclinación, el asfalto debe tener mayor consistencia y su aplicación requiere el empleo de paleta o llana metálica. Es suficiente un espesor de unos 20 mm. Los encuentros deben hacerse con el mayor cuidado y esmero. La capa superior, que viene a constituir la capa de desgaste, constituye una protección y debe tener unos 20 ó 30 mm de espesor. Debe extenderse también a unos 180° C y una vez que la primera capa impermeable se haya enfriado.

Como la radiación solar puede producir elevadas temperaturas en la capa de revestimiento y, además, no es agradable su color gris-negro, se recubre dicha capa con arena o gravilla fina de color lo más claro posible (arena cuarzosa) o piedra triturada, que se extiende sobre el asfalto cuando éste se halla todavía caliente. Esta protección puede rebajar algo las temperaturas producidas por la radiación.

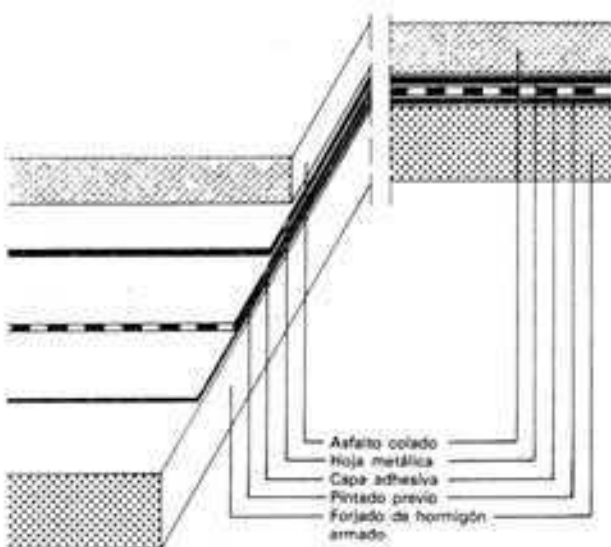
Revestimiento Gartenmann

Las cubiertas hechas únicamente con hojas de cubierta transitable y para protegerlas contra posibles desperfectos requieren una capa de defensa. Su realización más barata puede hacerse aplicando una capa de asfalto de 3 cm de espesor aproximadamente.

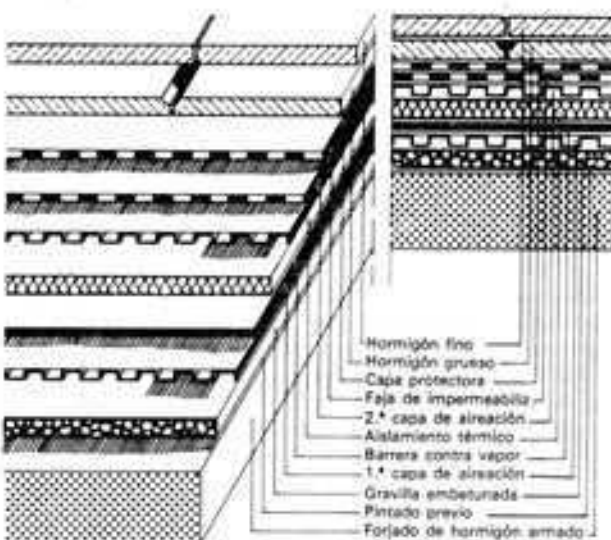
El modelo más acreditado en la práctica es el "revestimiento Gartenmann". Está formado por dos tendidos de cemento. El inferior tiene de 3 a 4 cm (dosificación 1:3; granulometría de 3 a 7 mm), se subdivide por medio de hierros acanalados en placas de un tamaño aproximado de 1 m², que van armadas con tela metálica. Tan pronto como esta capa ha fraguado se sacan los hierros y se rellenan las juntas con asfalto. Luego se aplica el tendido superior de 2 a 3 cm de espesor (dosificación 1:3, granulometría de 0 a 3 mm) y se corta bien exactamente por encima de las juntas de dilatación con el llaguero o hierro de rejuntar. Azoteas, balcones y tribunas se protegen con una barandilla o con un pretil o antepecho macizo.

Para la fijación de las barandillas hay que procurar no tocar, en cuanto sea posible, la capa impermeable, porque en los pasos a través de la misma resulta difícil conseguir una buena hermeticidad. Por consiguiente, lo mejor es colocar tales barandillas en saliente respecto del paramento de la fachada disponiéndolas encima de un voladizo o cornisa, o bien empotrar las barras

FORJADO CON ASFALTO COLADO



CUBIERTA TRANSITABLE CON REVESTIMIENTO GARTENMANN

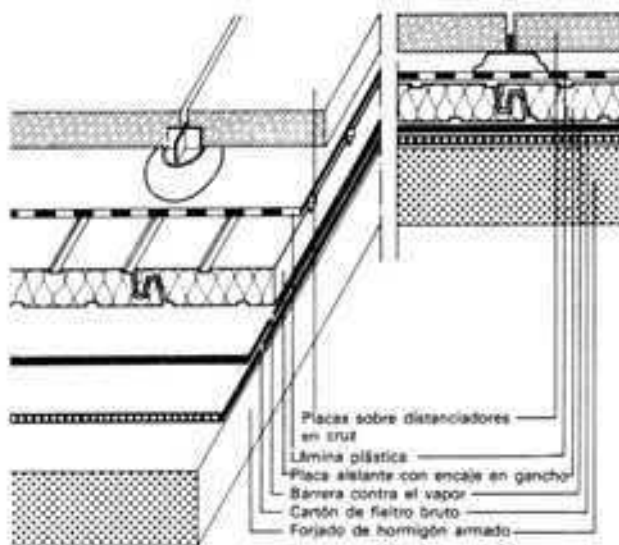


maestras de la barandilla en el paramento exterior. Si las paredes exteriores se han de subir hasta la altura necesaria para formar el pretil, hay que dar a los apoyos de la azotea la forma conveniente para que los movimientos de la misma no ocasionen grietas.

Placas sobre apoyos elevados

Las placas sobre apoyos elevados suponen como recubrimiento pisable un nuevo tipo de construcción para las cubiertas transitables. Las placas ya no se colocan como siempre sobre un lecho de mortero o de arena, sino que se disponen sobre unos apoyos elevados, ajustables en altura. Las juntas de las placas quedan abiertas. El agua de lluvia puede desaguar por debajo de las placas. No se producen deterioros del recubrimiento debido a las dilataciones y los efectos de heladas. La disposición de los desagües no tiene problemas ya que están cubiertos por las placas. La construcción de esta cubierta con azotea requiere menos trabajo invertido y menos tiempo que las construcciones macizas. La impermeabilización es la de una cubierta corriente sin ventilación. Sólo debe tenerse en cuenta que el aislamiento térmico tenga una resistencia a la compresión $\geq 2 \text{ kg/cm}^2$. Al impermeabilizar con láminas plásticas no deben aplicarse hojas sensibles a las compresiones. La pendiente de la subes-

CUBIERTA TRANSITABLE HECHA CON PLACAS SOBRE APOYOS ELEVADOS



estructura de la azotea ha de ser del 1-3%. En el proyecto de la cubierta con azotea sobre apoyos elevados debe tenerse en cuenta la mayor altura constructiva respecto a las construcciones contiguas.

Cubiertas transitables para vehículos

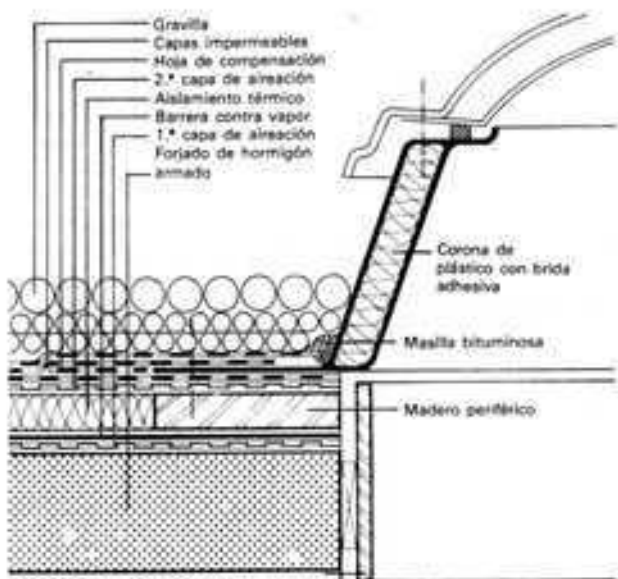
Ultimamente las cubiertas transitables para vehículos adquieren cada vez mayor importancia. En las grandes ciudades se convierten estas cubiertas en superficies adicionales de aparcamiento. En este caso, el recubrimiento sufre grandes solicitaciones estáticas que se producen por los esfuerzos de compresión y el empuje y la presión de las ruedas de los vehículos. La composición de la cubierta hasta el borde superior de la capa de impermeabilización corresponde a la de una cubierta corriente sin ventilar. Sólo el aislamiento térmico debe tener una mayor resistencia a la compresión. Encima de la capa de impermeabilización ha de colocarse una capa de separación. Puede consistir en un lecho de arena o dos fajas desnudas de cartón alquitranado sueltas. Encima del cartón debe aplicarse aún una capa protectora de mortero. Una losa de hormigón armado de unos 10 cm de grueso se encarga de la distribución de la presión. El grueso de la losa y su armadura dependen del tramo a cubrir y/o

de la separación entre las juntas. Muy raras veces exceden de 5-6 cm. Hay que tener cuidado con la presión en los bordes. Se equipará la losa de hormigón bien con una superficie resistente a la abrasión o con una capa asfáltica.

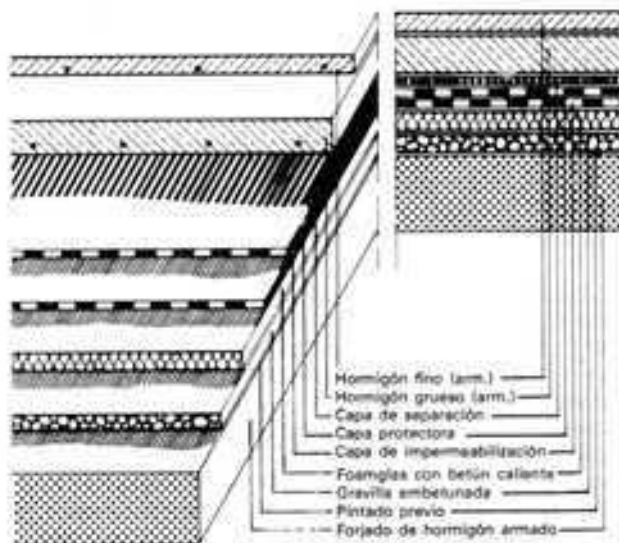
Aberturas en las cubiertas

Se comprenden aquí todos aquellos puntos en donde el forro de la cubierta está penetrado por otro material, prescindiendo de si sólo está atravesado el recubrimiento o también la subestructura. La impermeabilización desde la cara exterior es en este caso el menor problema. Es importante disponer en los elementos que se encuentran una brida adhesiva de ancho suficiente. La mejor solución es unir esta brida con las demás hojas impermeables mediante un manguito de cartón asfáltico o una lámina plástica, pegado con buen ajuste.

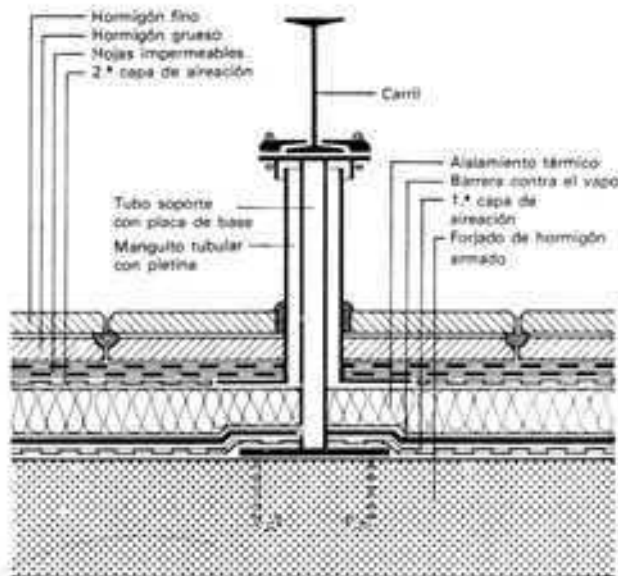
Las claraboyas, las ventilaciones mecánicas de cubierta, o parecidos elementos constructivos que deben protegerse contra el agua estancada, se equipan con una corona sobrepuesta, de material plástico o de hormigón, cuyo borde superior debe situarse a un nivel más alto que el borde de la cubierta. En este caso se preferirán las coronas sobrepuestas de material plástico con aislamiento térmico, ya que requieren menos trabajo. Las

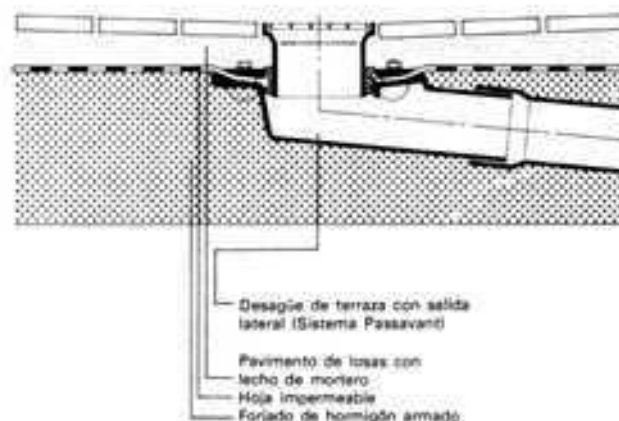
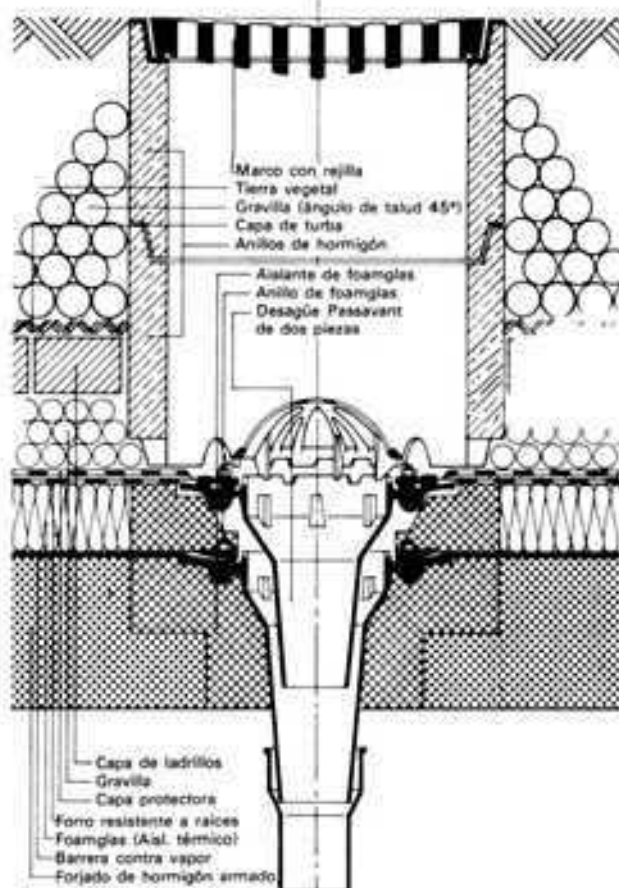
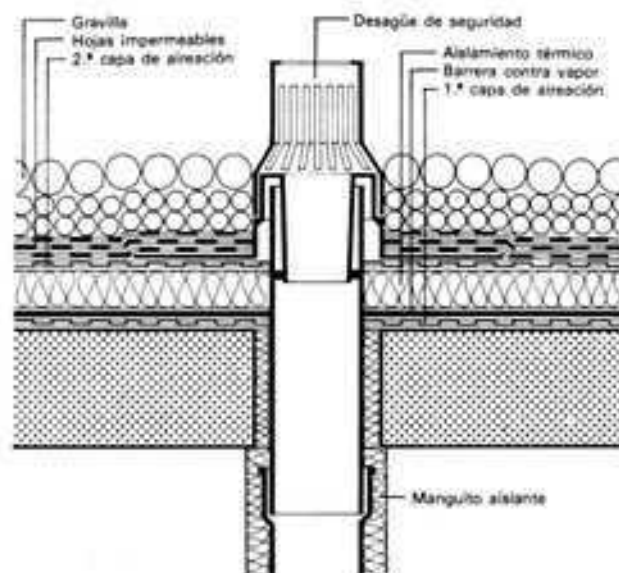
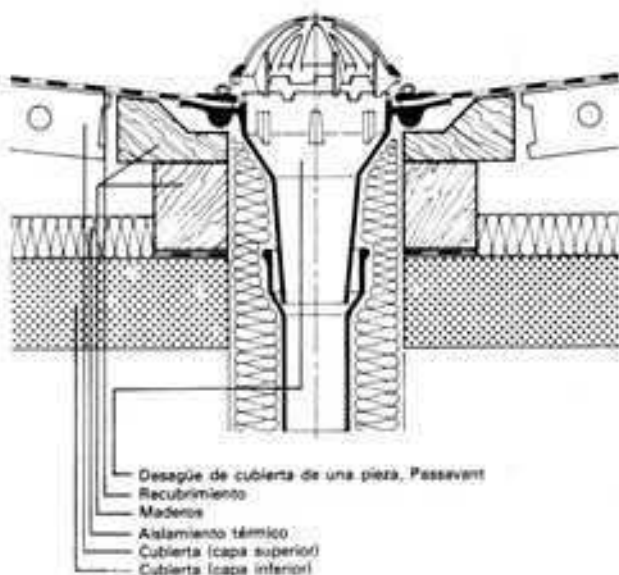
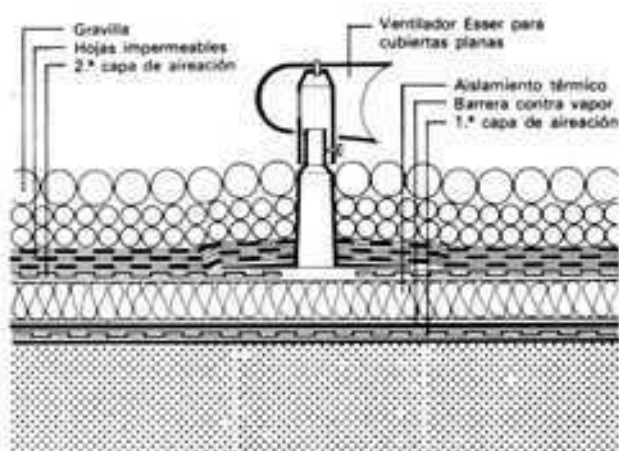


CUBIERTA TRANSITABLE PARA VEHICULOS

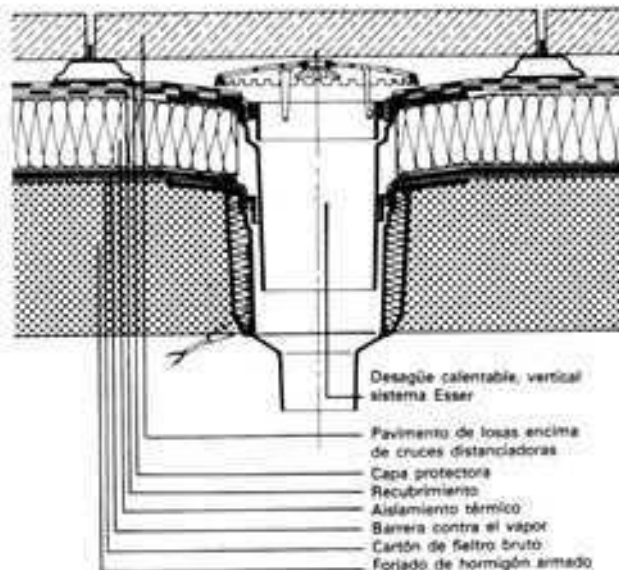
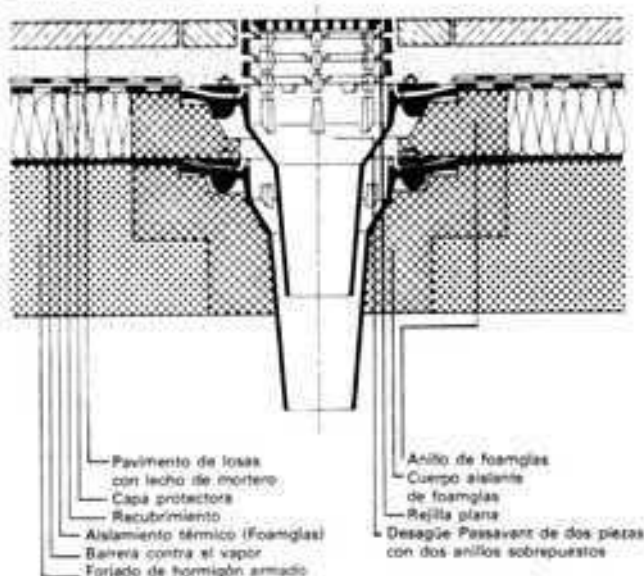


INSTALACIÓN DE CARRIL SOBRE UNA CUBIERTA TRANSITABLE

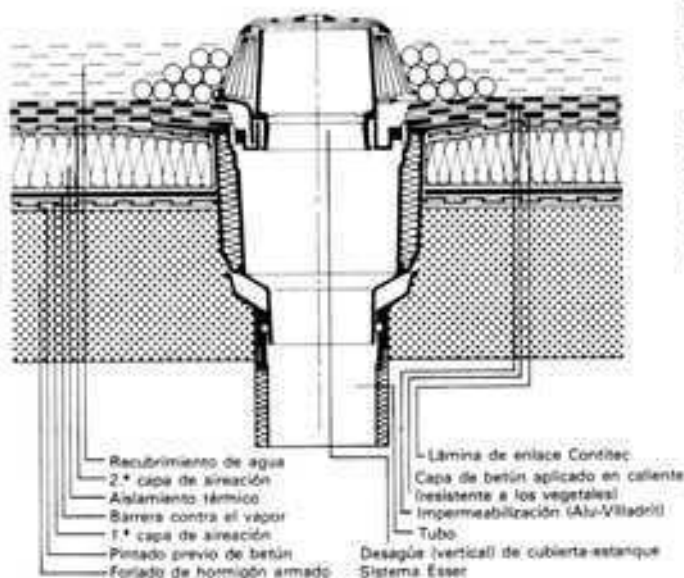




coronas de hormigón llevarán expresamente un aislamiento térmico para evitar perjudiciales tensiones de temperatura. A esto hay que añadir el trabajo adicional de hormigonado. Para los desagües de cubierta debe tenerse en cuenta que, especialmente en el caso de cubiertas planas, no resultan bordes sobreelevados debido al grueso suplementario de las bridas, ya que el desagüe se dificultaría mucho. La hoja impermeable exterior habría de llevarse, en lo posible, hasta el desagüe. Los desagües con salidas verticales son preferibles a los horizontales, ya que éstos se obstruyen con mayor facilidad.



DESAGÜES DE UNA CUBIERTA-ESTANQUE SISTEMA ESSER



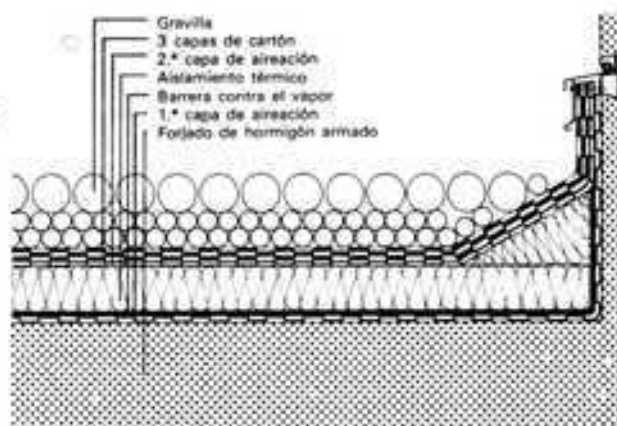
cientes, especialmente en la zona de la subestructura. Como material aislante se recomienda el foam-glas, ya que no absorbe el agua y es impermeable al vapor.

En la zona de la barrera contra el vapor debería colocarse una brida sobre la cual se pega el aislamiento con buen ajuste.

Encuentros

Como las cubiertas planas, en general, tienen una pendiente pequeña o incluso ninguna, y por lo tanto las aguas pluviales escurren muy lentamente, es de gran importancia la estanquidad de las zonas de encuentro entre una cubierta plana y los elementos verticales a ella conectados.

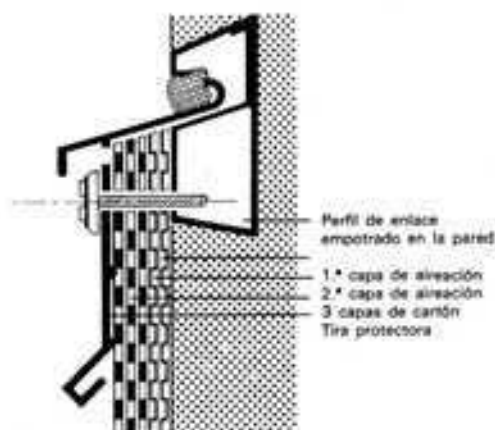
ENCUENTRO CUBIERTA-PARED CON PERFIL EMPOTRADO

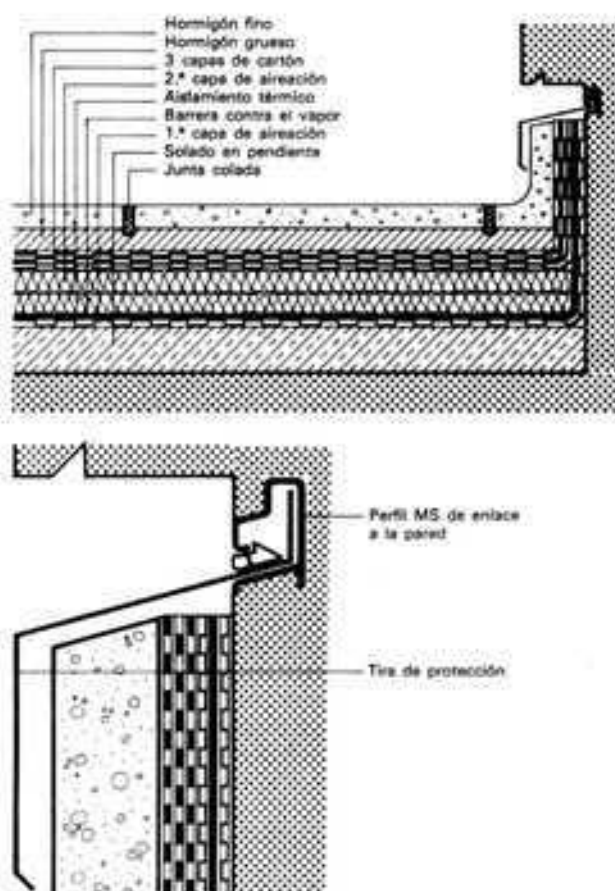


Más importante que la impermeabilización contra la humedad exterior es la influencia tanto de la temperatura como de la humedad interior que se produce por la difusión del vapor. Los materiales que traspasan el aislamiento térmico actúan forzadamente como puentes térmicos. Por consiguiente, en estos puntos se produce un gradiente de temperatura distinto que en las secciones normales. Debido a las temperaturas más bajas que reinan en la zona del aislamiento térmico o de la subestructura también se reducen las presiones del vapor de saturación, de modo que es fácil llegar a sobrepasar las presiones parciales de vapor en el interior y, por lo tanto, puede formarse agua condensada.

En el caso de aberturas a través de la subestructura, como, por ejemplo, en los desagües, cambia la temperatura superficial del forjado en la zona de la abertura y se produce agua de condensación. Los bajantes de aguas pluviales y los tubos de salida de vapores están en contacto directo con el aire del exterior y por ello deben tener un aislamiento térmico que llegue hasta aproximadamente 1.00 m por debajo del canto inferior del forjado, para evitar la condensación de agua.

Los materiales que traspasan el forjado de la cubierta deben ser envueltos con un revestimiento aislante de dimensiones sufi-





Para todos los encuentros en cubiertas planas se ha establecido lo siguiente: Sólo deben emplearse materiales aprobados por las normas. El problema de elegir entre enlaces rígidos o articulados se resolverá en cada caso individualmente. Cuando se emplean materiales metálicos siempre han de aplicarse encuentros articulados. Los ángulos deben ejecutarse como garganta redondeada o bien achaflanados para evitar dobladuras de arista viva en el recubrimiento.

Las capas de impermeabilización y las capas de aireación se llevan hasta tapar la zona inferior de la pared y luego se fijan para evitar su deslizamiento. Para este propósito hay perfiles especiales, que se introducen en el encofrado durante el hormigonado, o que se atornillan luego sobre la pared. Según la composición de la cubierta estos perfiles deben situarse a 18-25 cm como mínimo por encima del canto superior del forjado bruto. La parte de recubrimiento adosada a la pared se protege contra el agua que pudiera entrar mediante una tira saliente. El tipo de fijación, tanto del recubrimiento como de la tira que solapa, debe permitir una correcta expansión del vapor en la capa de aireación.

En la zona del encuentro, la capa superior del revestimiento no ha de quedar expuesta a la insolación directa, a no ser que la tira de enlace consista en una lámina plástica resistente a los rayos ultravioletas y las influencias meteorológicas.

Remate de cubiertas planas

El remate constituye la ligazón entre tres elementos de la cubierta compuestos de diferentes materiales: el cuerpo constructivo, el forro de la cubierta y el perfil de remate.

Los distintos materiales tienen forzosamente distintos coeficientes de dilatación. Además cada uno de los elementos sufre diferente carga térmica.

Los empalmes y las fijaciones deben ejecutarse de tal modo que los elementos constructivos puedan dilatarse, contraerse y desplazarse libremente sin que se produzca pérdida de estanquidad. Deben aplicarse medidas adecuadas contra el levantamiento y daños originados por tormentas. Según la DIN 1055 "Supues-

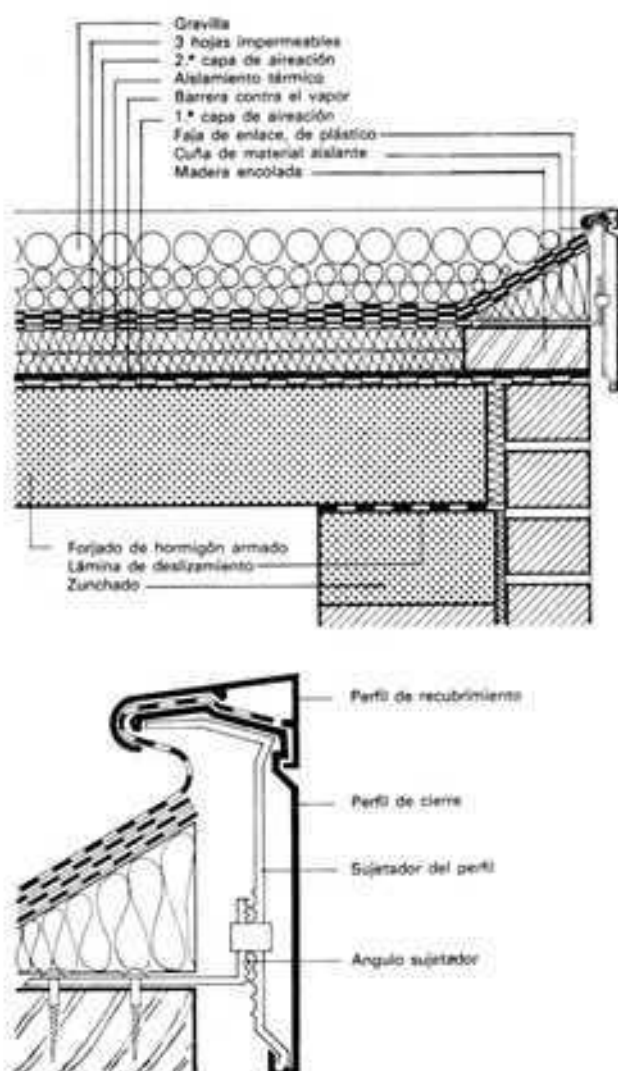
tos de carga en la construcción", para el cálculo de las cubiertas planas con pendiente menor de 35° se tendrán en cuenta además de las cargas del viento las mayores cargas de succión actuantes a lo largo de todos los bordes de la cubierta como fuerzas de levantamiento. Si la cubierta tiene voladizos habrá que contar también con una presión del viento que actúa desde abajo. El material para el recubrimiento de una cubierta plana habrá de elegirse según los siguientes criterios:

- Resistencia del material
- Coeficiente de dilatación
- Estabilidad química
- Resistencia a la intemperie
- Propiedades de elaboración
- Economía

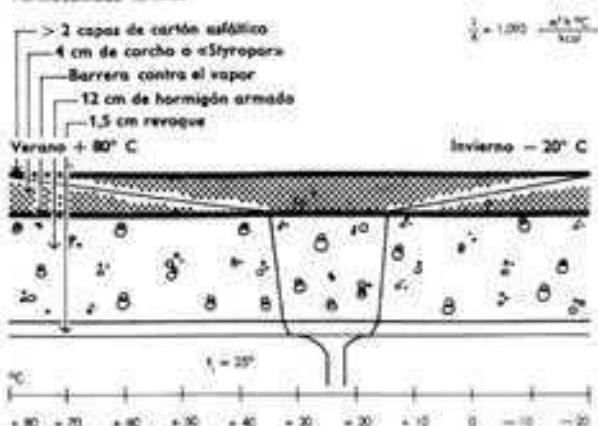
En la mayoría de los casos se emplean los corrientes perfiles de cierre de metal ligero para cubiertas planas. El enlace con el recubrimiento se establece mediante una faja de material sintético con unión móvil en la zona del perfil. La faja se sujeta sobre la subestructura y puede moverse libremente cuando se producen variaciones de temperatura. Si la faja es muy alta, existe el peligro de alabeo.

La madera y el material plástico se emplean con menos frecuencia como cierre o remate. La madera se hincha y se contrae y, por lo tanto, su continuo trabajo puede provocar falta de estanquidad y deformaciones desagradables. El plástico, debido a su alto coeficiente de dilatación, requiere costosas construcciones. Otro material para bordes de cubierta es el fibrocemento. Es resis-

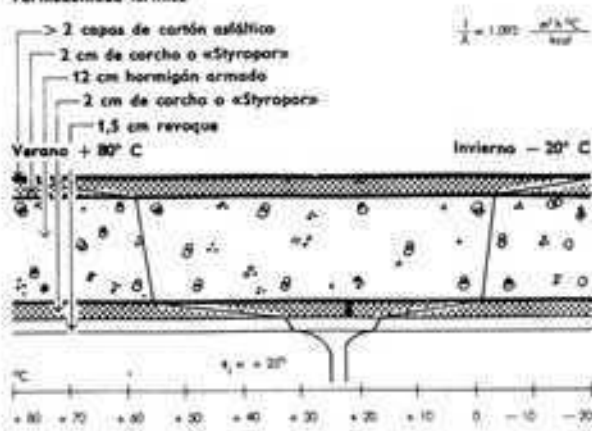
REMATE DE CUBIERTA PLANA EN METAL LIGERO SISTEMA ALWITRA



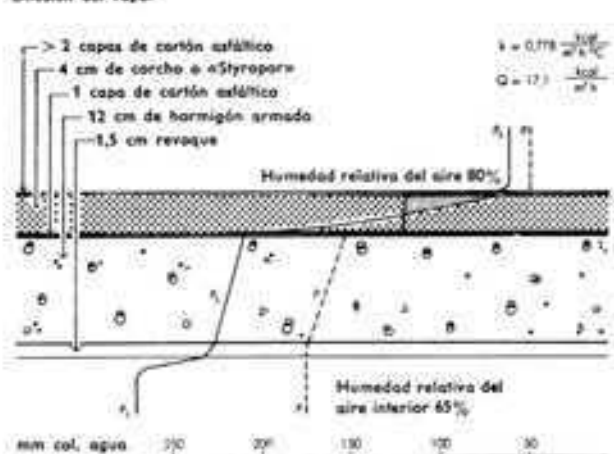
Permeabilidad térmica



Permeabilidad térmica

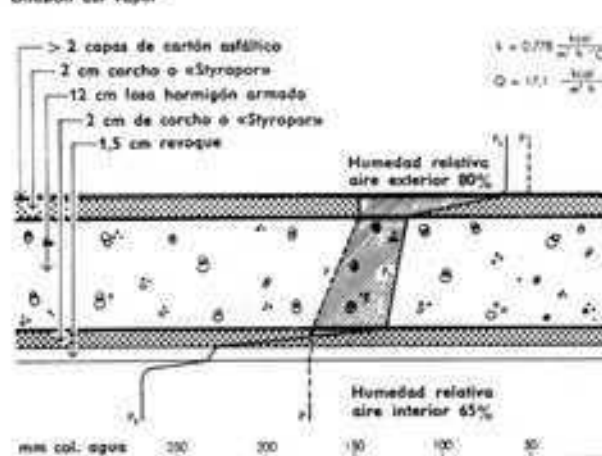


Difusión del vapor



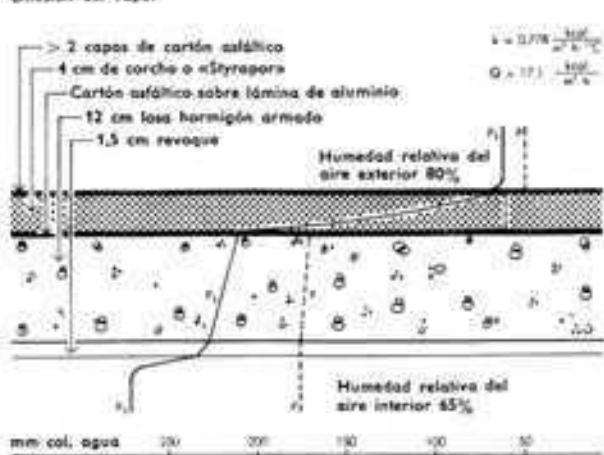
Existe penetración de humedad por ser insuficiente 1 sola capa de cartón asfáltico por debajo del aislante

Difusión del vapor



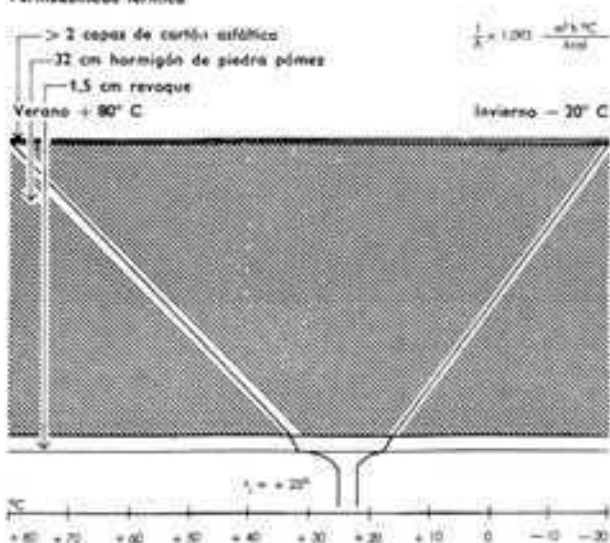
Empieza a acumularse humedad a partir de la primera capa de aislante térmico (corcho). Sería necesario interponer una barrera contra el vapor debajo de la misma, pero esto es constructivamente muy costoso. Lo mejor es colocar una capa de aireación (cartón respirante) entre la primera capa de corcho y la losa maciza, dejando que dicha capa esté en contacto con el aire exterior. De todas formas esta medida es muy difícil de aplicar a posteriori, en la práctica

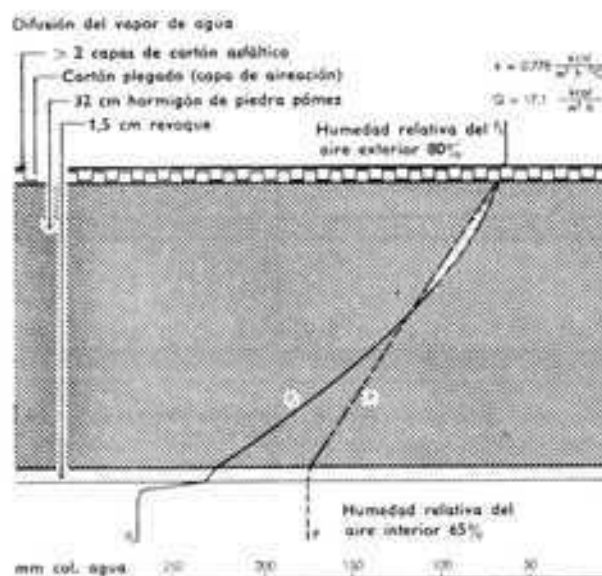
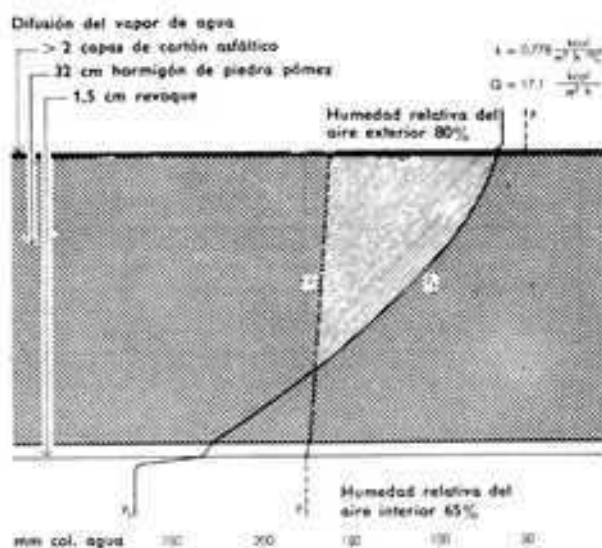
Difusión del vapor



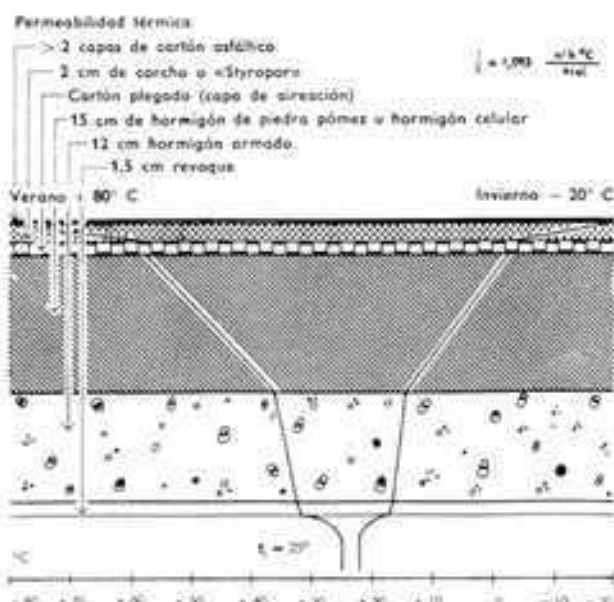
Cubierta con una composición igual a la de la fig. 3118/3 pero con cartón asfáltico sobre lámina de aluminio como barrera contra el vapor. Ya no se acumula humedad en la capa aislante. En lugar de una barrera contra el vapor puede utilizarse con igual éxito una capa de aireación

Permeabilidad térmica

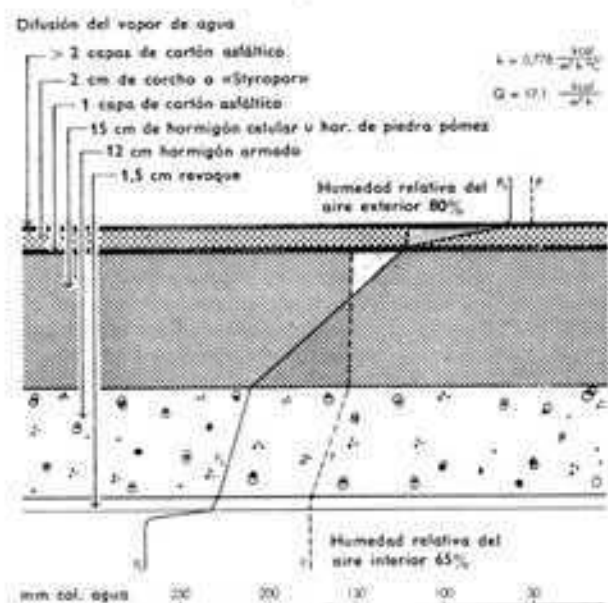




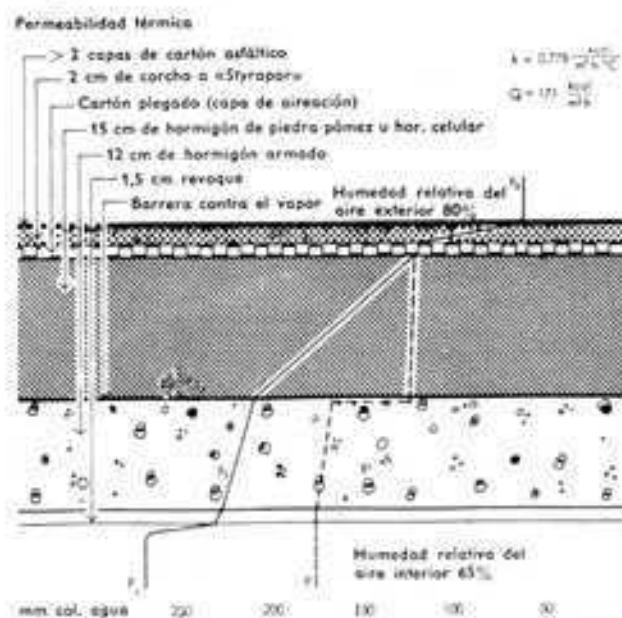
Versión igual a la de la fig. 3110/8 pero con un cartón respirante. Cabe esperar todavía una cierta humedad. El hormigón de piedra pómez se revela como poco adecuada para cubiertas.



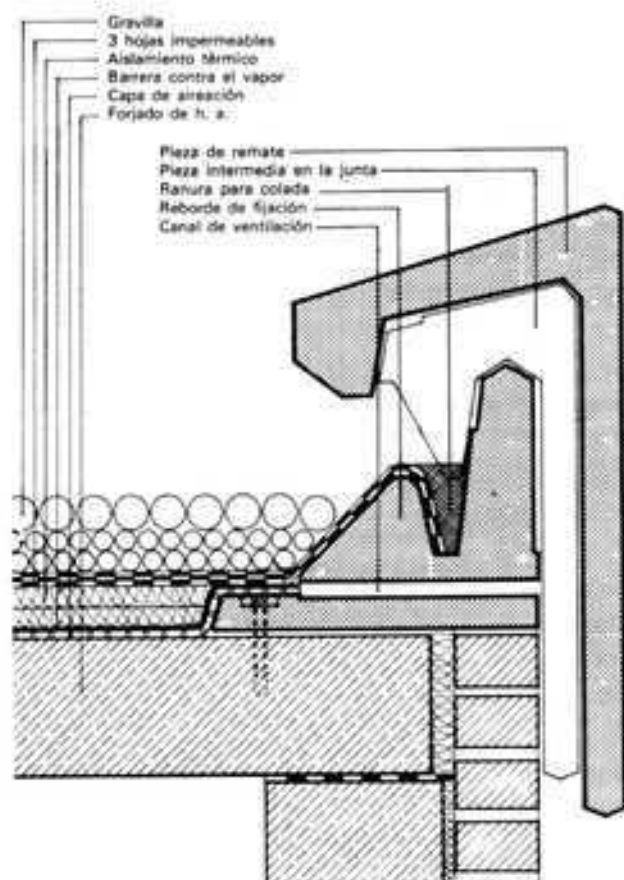
Para conseguir el mismo aislamiento térmico que en las cubiertas anteriores tuvo que darse un espesor de 32 cm al forjado. Sin barrera contra el vapor en la cara interior se forman condensaciones que provocan humedades en el interior.



Para lograr el mismo aislamiento térmico que en las cubiertas anteriores se ha tenido que llegar a un espesor de 30 cm. Si se utiliza tan sólo un cartón asfáltico como barrera contra el vapor por debajo del corcho, se forman humedades en el seno del hormigón de piedra pómez y en la propia capa de corcho.



Versión modificada de la cubierta de la fig. 3118/11 con una capa de aireación debajo de la capa de corcho. Con esta medida se evitan las humedades de condensación.



te en alto grado a las influencias químicas y a la intemperie y puede elaborarse fácilmente. Un factor negativo es su alta absorción de agua, lo que provoca el hinchamiento y la retracción del material.

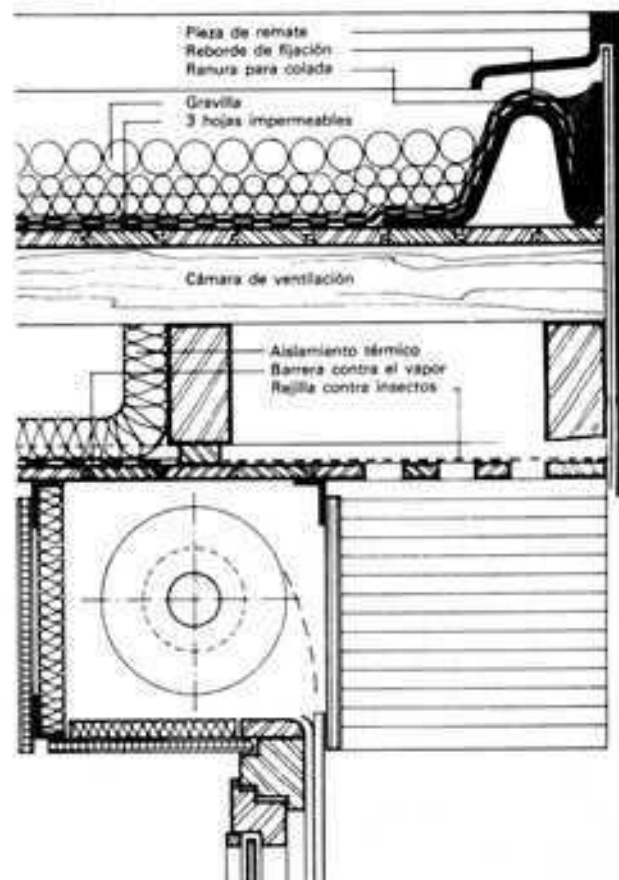
El remate de hormigón aún no ha alcanzado gran extensión. Arquitectónicamente ofrece un bello aspecto, aunque su fabricación y montaje son caros.

Ejecución correcta y ejecución errónea de las cubiertas planas

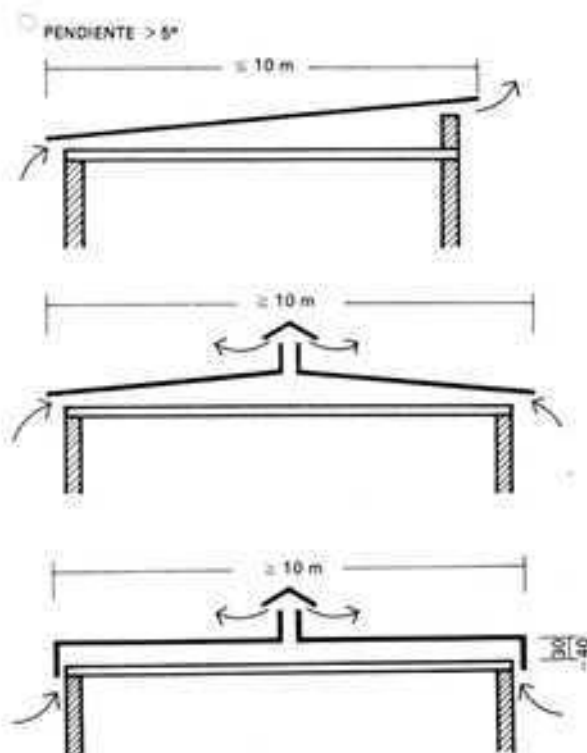
Como en estos últimos años se han producido numerosos casos de desperfectos en las cubiertas planas, causados por una construcción imperfecta o una ordenación errónea de las distintas capas, damos a continuación una serie de ejemplos según los ensayos de la empresa "Grünzweig & Hartman" A.G., de Ludwigshafen. Para dichos ensayos se tomaron cuatro modelos de cubierta con idénticas características de aislamiento térmico y se sometieron a una misma temperatura y grado de humedad.

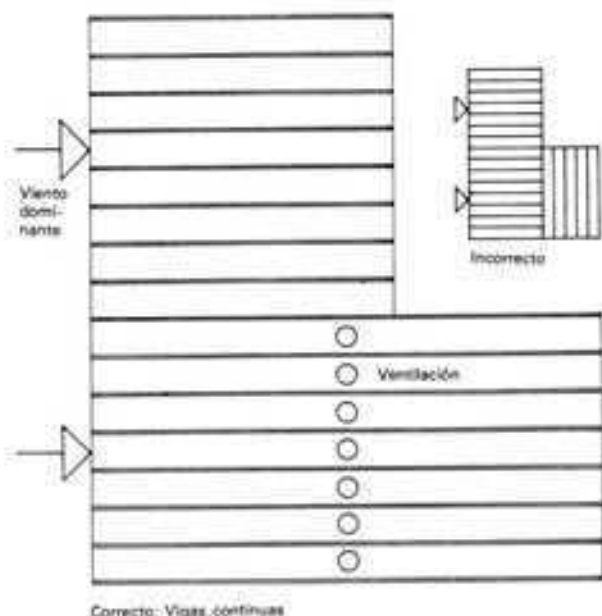
Cubiertas ventiladas

Como en las primeras cubiertas no ventiladas aparecían muchas veces deterioros, se creyó que la cubierta de dos hojas, la llamada cubierta ventilada o "fría", resolvería todos los problemas que tienen las cubiertas planas. Mediante la disposición de una cámara de aire de altura más o menos grande encima del forjado y del aislamiento térmico, habría de evacuarse el vapor que se difunde por la cara interior, por la ventilación natural de ese espacio intermedio. Sin duda, el concepto físico de esta composición de cubierta es correcto. Con el aire en reposo se produce una ventilación térmica, pero sólo bajo la condición de que las cubiertas tengan una pendiente mayor de 5° , lo que casi nunca se cumple



en nuestras cubiertas revestidas con láminas. Por experiencia se parte de una diferencia de temperatura de $2-3^\circ \text{C}$ entre el aire interior y el exterior. La ventilación de la cubierta por el impulso ascensional del aire caliente sólo resulta adecuada en tejados de una o de dos vertientes.





Hoy día las cubiertas planas, incluidas las de dos capas, se realizan casi exclusivamente con una pendiente menor del 2%, pero en la mayoría de los casos se emplean cubiertas horizontales. Teóricamente, de este modo, con viento en calma no se produce ningún movimiento de aire y como consecuencia no puede evacuarse el vapor difundido. En la cubierta horizontal ventilada sólo se produce un movimiento del aire mediante el viento, es decir, por la presión dinámica y la aspiración.

Si partimos de que la humedad atmosférica relativa de los locales habitados y con calefacción central es de aproximadamente 35-40%, y que en las cocinas y los cuartos de baño llega a veces de 80-85%, hay que contar con una imbibición paulatina del aislamiento térmico, con la reducción de la capacidad aislante y los daños consiguientes. De hecho, se han producido muchos casos de este tipo de daños, especialmente en cubiertas de madera. Aunque también muchas otras cubiertas examinadas permanecían intactas después de varios años. La cubierta fría horizontal de dos hojas resulta, pues, una construcción un poco arriesgada. Con los forjados macizos casi ya no se emplea la cubierta "fría", desde que se han podido resolver los problemas de la cubierta no ventilada y la construcción de esta última resulta más barata que la de la ventilada. Pero como en el futuro aún se seguirán construyendo cubiertas "frías", preferentemente en el caso de techos de viga de madera, deben excluirse en lo posible todos los riesgos de esta construcción.

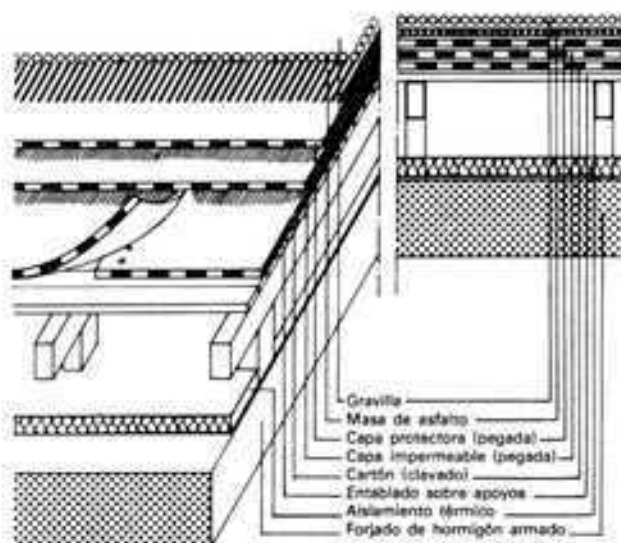
Las consideraciones deben comenzar ya con el emplazamiento. Las cubiertas "frías" sólo funcionan cuando no están situadas completamente al abrigo del viento por las construcciones vecinas de mayor altura. Las vigas de la cubierta o los cabios deben situarse en lo posible paralelamente a la dirección del viento dominante. La dirección de las vigas o de los cabios no debe cambiarse en planta, por lo que en las plantas en forma de L o de H los cabios deben situarse paralelamente en toda la superficie de la planta.

Composición de la cubierta ventilada

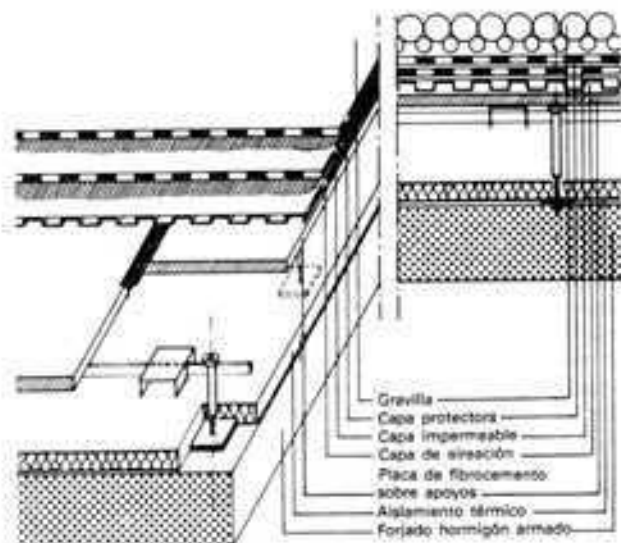
Forjado macizo

Como cierre superior de un local, una losa maciza siempre resulta ventajosa, tanto en cuanto al clima del local como estáticamente para la rigidización del cuerpo constructivo. En verdad, no proporciona mucho aislamiento térmico, pero, en cambio, compensa las variaciones de temperatura de un local. Deben preverse los orificios de anclaje para fijar las maderas escuadradas. En todo lo demás es fácil la composición de la cubierta.

CUBIERTA VENTILADA CON ENTABLAO SOBRE APOYOS



CUBIERTA VENTILADA CON PLACAS DE FIBROCEMENTO SOBREPUESTAS



Techo de vigas de madera

Las propias vigas de madera tienen suficiente aislamiento térmico y capacidad de acumulación de calor. Para simplificar la composición de la cubierta, se fijan placas de aislamiento térmico, sólidas de forma, sobre la cara inferior de las vigas. Las separaciones entre las vigas (entre ejes) dependen en este caso de las dimensiones de las placas aislantes. En algunos casos se colocan las placas aislantes inferiores ajustando a medida entre las vigas, cuyas separaciones deben preverse convenientemente.

Barrera de vapor

Como barrera de vapor se emplean láminas de material plástico. Las juntas deben pegarse cuidadosamente o recubrirse. Mejores, pero más caras, son las placas de fibra de madera que tienen un revestimiento de lámina de aluminio. También en este caso las juntas deben cubrirse mediante una faja de sellado.

Forjado inferior

Como forjado inferior se disponen o un entablado o un techo suspendido de placas de yeso.

Dimensionado de las capas de aislamiento térmico

Según el grado de difusión del vapor y el acceso de humedad en la cámara de ventilación se elige el grueso de las capas aislantes; éste será mayor que en el caso de la cubierta no ventilada, en particular en las zonas sobre cocinas y cuartos de baño. En estos locales debe disponerse adicionalmente, como mínimo, una barrera contra el vapor. Como promedio, el aislamiento térmico en los forjados macizos se aumenta en un 100% sobre las exigencias mínimas de la DIN 4108. En los techos de vigas, como carecen de una masa de hormigón que actúe como acumulador térmico, debe hacerse en compensación un aislamiento térmico más grueso. Se eligen 2 capas aislantes, una inferior que sea compacta, como p. ej., Styrodur, y otra capa superior de lana mineral por ejemplo.

Cámara de aireación

En el caso de las cubiertas inclinadas, es decir, con entramado de madera, basta una altura de > 5 cm para poner en marcha una corriente de aire laminar. La magnitud del movimiento de aire sólo depende de la pendiente de la cubierta. Como en la cámara de aire de las cubiertas planas teóricamente no se produce ninguna corriente de aire cuando hace calma, y en consecuencia el vapor de agua difundido no puede evacuarse, se hace necesario un freno a la difusión de vapor en la cara que da al local interior. Así pues, las cubiertas ventiladas tampoco pueden prescindir de la barrera contra el vapor. Esta, en los techos de vigas de madera, debe cubrir toda la superficie del da la construcción y no dejar juntas abiertas entre la pared y el techo.

Para absorber el vapor de agua difundido a pesar de estas medidas, la cámara de aireación debería tener una altura mayor de 20 cm, y aún más en construcciones de mayor profundidad. En todos los casos es recomendable unir entre sí las cámaras de aire de los distintos entrevigados mediante un enlustrado. Además, esta medida siempre es necesaria cuando, con grandes profundidades de construcción, deben preverse todavía en la zona central del edificio tubos o pozos de ventilación.

En el caso de cubiertas ventiladas, las chimeneas deben situarse en lo posible exteriores, fuera del cuerpo de construcción, ya que impiden parcial o totalmente la corriente de aire cuando atraviesan la cámara de ventilación. En ciertos casos, unas rendijas de entrada de aire alrededor de la chimenea pueden asegurar la ventilación.

Las aberturas de entrada de aire se realizan preferiblemente como rendijas situadas directamente debajo de la hoja superior y protegidas contra la penetración de insectos mediante rejillas con anchura de malla de 4 mm. La superficie de rendija, tanto la de salida como la de entrada del aire, debe ser como mínimo el 2% de la superficie total de la cubierta. Si las rendijas están situadas más abajo deben tener el doble de esta superficie. Colocarlas por razones de forma en la cara inferior del alero es una solución frecuentemente empleada, pero no es la mejor.

Capa superior

La capa superior de una cubierta ventilada (de las llamadas "frías") debe absorber un mínimo de calor y, para ello, ser ligera. Con esto se evita la acumulación de calor debajo del revestimiento y el riesgo de que aquél sea irradiado hacia abajo. Una forma sencilla de construirla es a base de cables de madera y machihembrado de tablas. Esta superficie de apoyo facilita la colocación del recubrimiento con hojas de protección exterior, puesto que no debe pegarse plano en toda su superficie sino que puede clavarse, con lo que se evita la formación de burbujas típica de aquel otro procedimiento.

Además el machihembrado de tablas tiene la propiedad de poder absorber y ceder la humedad, lo que es muy necesario, particularmente en invierno, cuando se producen bajas temperaturas en la cámara de aire.

En vez del recubrimiento con hojas asfálticas, pueden también colocarse hojas de material plástico sueltas que se cargan mediante una capa de gravilla de aproximadamente 5 cm de grueso.

En lugar del machihembrado de tablas se colocan también a veces placas de viruta o placas de fibrocemento.

Desagüe de las cubiertas

La recolección y evacuación de las aguas pluviales de las cubiertas en las casas de viviendas es un logro de los siglos XVIII y XIX. En las casas aisladas, incluso todavía en las casas medievales que se conservan con frente a la calle, se tenía bastante con un saliente del tejado que conducía las aguas a un "canal" que desembocaba en el arroyo de la calle. Posteriormente la situación de las casas con el lado del alero hacia la calle y la canalización de las ciudades exigió y posibilitó la recolección y conducción de las aguas pluviales mediante canales de cubierta y tubos bajantes. Debido a los antiguos recubrimientos imbricados, sólo existía en principio una evacuación de aguas hacia el exterior (tejados de una sola agua, tejados de dos aguas y tejados de copete). La reunión de las aguas pluviales en las llamadas "canales de zanja" es una solución arriesgada incluso hoy día para las cubiertas imbricadas (también para los recubrimientos de chapa y de placas onduladas de fibro cemento), como se puede comprobar por los daños producidos por fuertes granizos seguidos de lluvias torrenciales.

Sólo los modernos recubrimientos sin juntas posibilitaron la ejecución segura de los encuentros de vertientes con canal en el centro y las cubiertas-estanque con tubos bajantes situados en la cubierta.

Canales para cubiertas

Los canales exteriores para cubiertas, los canales suspendidos según la DIN 18460, pueden fabricarse de distintos materiales. Aproximadamente durante un siglo se emplearon casi exclusivamente canales de chapa de cinc.

Para los edificios públicos se utilizó la chapa de cobre, que prácticamente se conserva por tiempo indefinido. La chapa de aluminio se aplicó muy raras veces, ya que las distintas piezas de canal tienen que roblonarse, lo que significa mucho trabajo invertido. Últimamente los canales de material plástico y de fibrocemento están extendiéndose cada vez más en el mercado. Como sus formas y secciones se adaptan a las de las canales de chapa, se expondrán en primer lugar las construcciones tradicionales de canales.

Canales de chapa

Se distinguen en ellas los canales de sección semicircular, que van suspendidos en el borde delantero de los aleros, y las de caja, que van apoyadas. Las primeras son de aplicación muy corriente, en tanto que las últimas rara vez se emplean porque resultan más caras y complicadas, y en los puntos en que se produzcan fugas pueden constituir una fuente de peligros para la pared exterior correspondiente.

La sección, y por lo tanto el perímetro de una canal de cubierta, depende de la superficie en planta del local cubierto y de las distancias existentes entre los tubos bajantes. Hay que calcular para cada metro cuadrado de superficie de cubierta a desaguar (medido sobre la planta) una sección de canal de 0,8 a 1,0 cm². Al fijar la sección de la canal debería elegirse en casos límites el diámetro inmediato superior. La DIN 18460 y la DIN 18461 prescriben las medidas normativas para las canales suspendidas y para los bajantes.

La canal siempre debe colocarse en el alero de tal forma que las aguas pluviales entren seguro, pero que las masas de nieve puedan deslizarse por encima del borde de la canal.

Del tamaño de 33 1/3 cm a que se cortan los trozos de chapa para los canales de tipo usual en las casa de vivienda, el bordón o reborde delantero requiere 6 cm, y el pliegue o dobléz posterior 3 cm. La parte cilíndrica (semicircular) dispone, pues, del resto, es decir de 24 1/3 cm, que corresponde a un diámetro de 15,5 cm y a una sección transversal de 117 cm².

Las canales que se ajustan a la norma DIN 1099, en lugar del dobléz posterior llevan un segundo reborde, con lo cual la canal fabricada con iguales trozos de plancha de 33 1/3 cm sólo dará una sección de 92,5 cm². Ésta es la razón principal por la que la canal normal de este tipo sólo puede tener aplicación en limitado número de casos.



Cubierta a una vertiente



Cubierta a dos vertientes



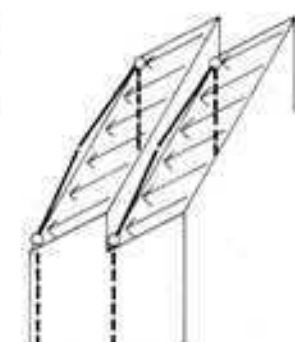
Cubierta con encuentro de vertientes con bajantes exteriores



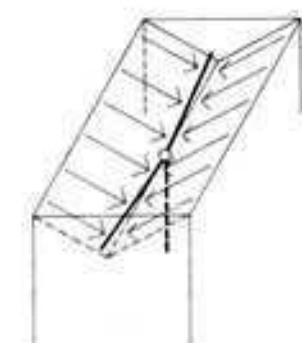
Cubierta en diente de sierra, con bajantes exteriores



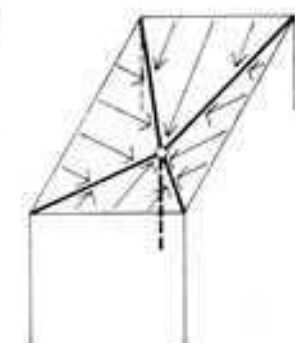
Cubierta con encuentro de vertientes con bajantes interiores



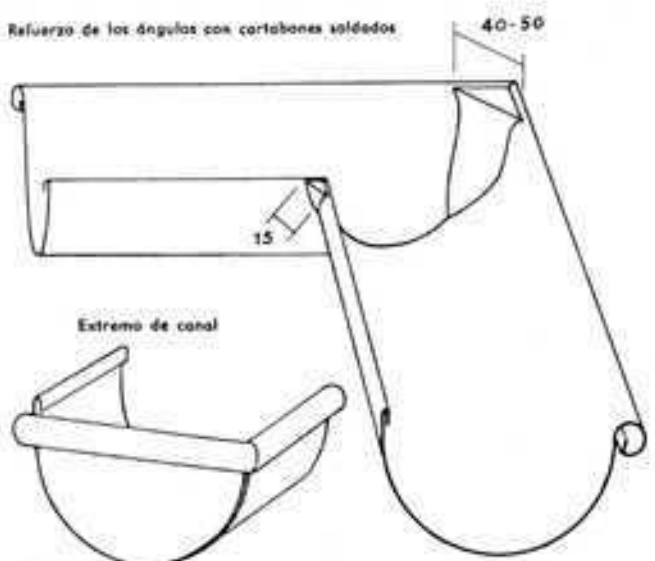
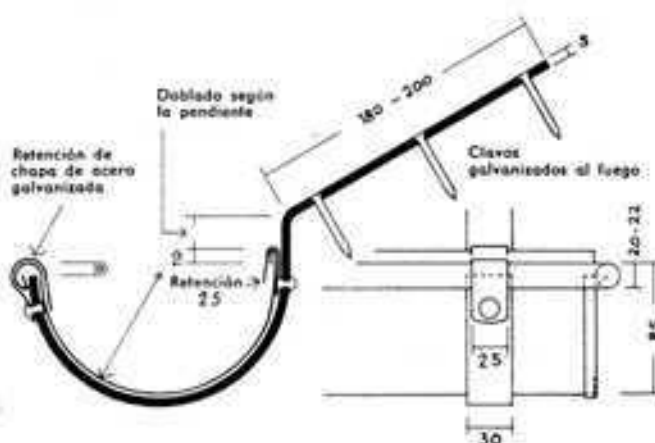
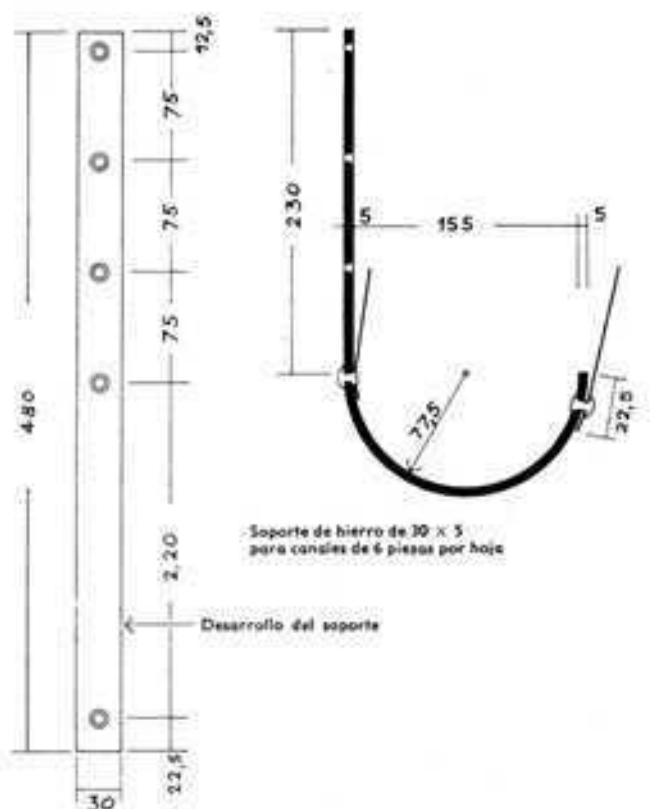
Cubierta en diente de sierra con bajantes interiores

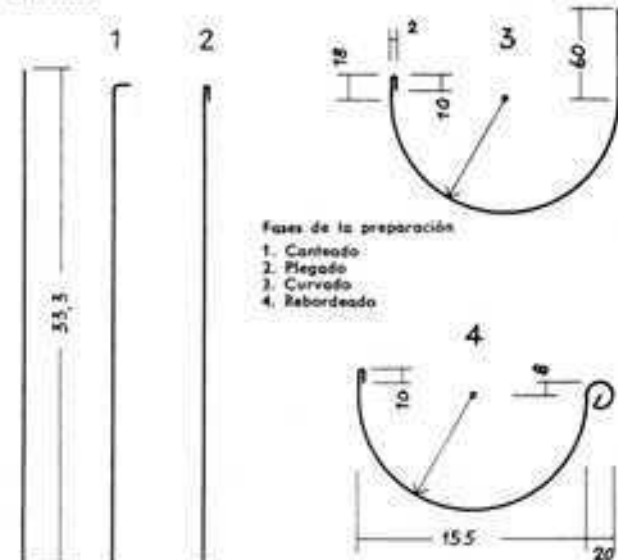


Cubierta con encuentro de vertientes con un bajante interior

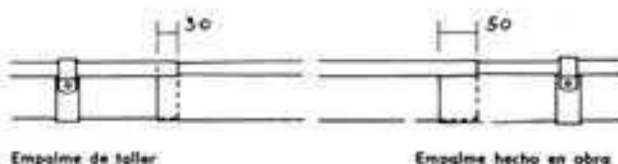


Cubierta con encuentro de vertientes con cuatro pendientes y un bajante interior

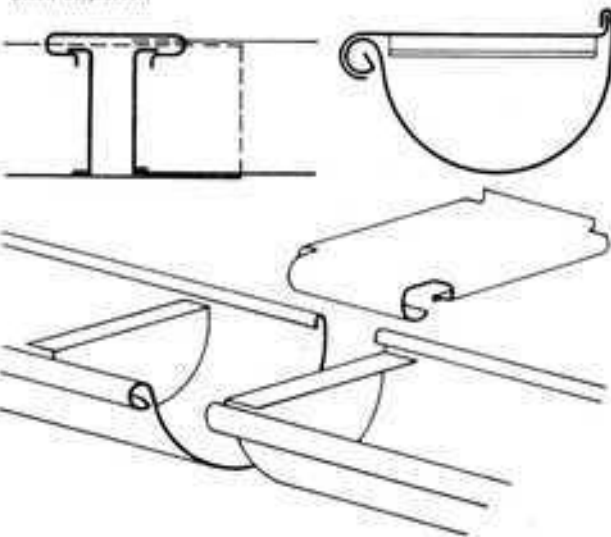




Las canales son soportadas por ganchos de fijación. Estos ganchos se hallan corrientemente en el mercado y los destinados a canales de cinc son de hierro plano galvanizado al fuego. Para las canales suspendidas suelen tener de 25 a 30 mm de anchura, de 4 a 5 mm de grueso y 40, 44 ó 48 cm de longitud. También son de igual material las retenciones del bordón y doblez y los clavos con que se fijan tales soportes. Se suele colocar un gancho de soporte sobre cada cabio; quedan, pues, a distancias de 70 a 80 cm. En el caso de cornisas con canales de caja se fijan sobre la tabla de alero independientemente de los cabios. Con objeto de que la chapa tenga la conveniente libertad de movimiento, la canal se deja sólo apoyada en los soportes, sin fijarla en ellos, y los hierros de retención la mantienen en su sitio, pero dejándola en libertad para dilatarse o contraerse. En el taller, los elementos de canal se sueldan hasta formar trozos de 4 a 5 m.



El empalme de esos trozos largos ya se hace en la obra. Mientras que para los empalmes soldados en el taller basta un recubrimiento de 3 cm, a los empalmes hechos en obra debe dárseles de 4 a 5 cm de recubrimiento por las condiciones menos favorables en que se ha de trabajar en la obra.



En canales de mucha longitud se dispone entre cada dos bajantes una junta de movimiento o unión desplazable.

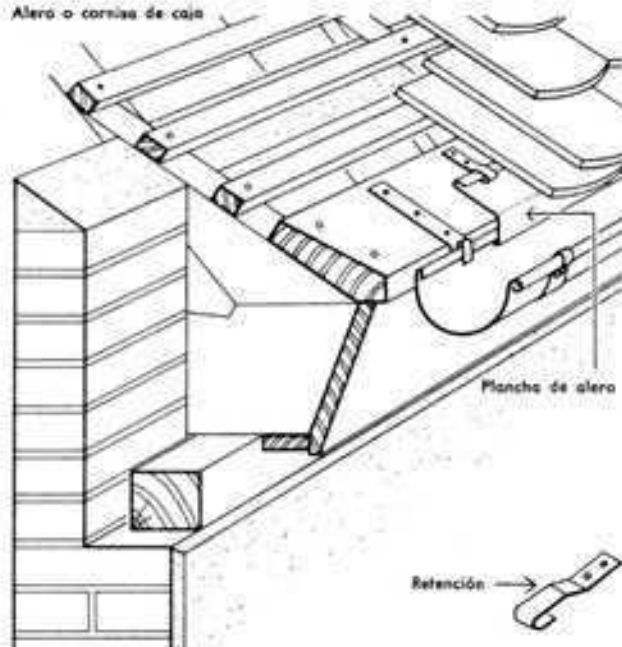
Para las juntas se emplea la soldadura blanda (5 partes de plomo por 3 partes de estaño).

Los aparatos soldadores van actualmente calentados con gas y son de fácil manejo. La soldadura de piezas de chapa de cinc se hace de modo inmediato: basta limpiar con ácido clorhídrico el sitio de la soldadura. El empalme se suelda sólo por una cara, porque, de hacerlo por las dos, puede quedar ácido clorhídrico retenido que destruya luego el material. Cuando hay que soldar chapas de cobre, el lugar de la soldadura, una vez que se ha limpiado con ácido clorhídrico, debe limpiarse de nuevo con agua de soldar (cloruro de cinc disuelto en agua) y después se le da un recubrimiento previo con estaño. Los ganchos de soporte y los clavos deben ser también de cobre, o por lo menos encobrados. Las canales de aluminio deben empalmarse con un recubrimiento de 3 cm y un remachado espeso (distancia entre remaches, unos 15 mm). En el lugar de la costura debe colocarse un grueso papel aceitado que cubra toda la anchura del recubrimiento. En las cornisas cerradas (cornisas de caja) debe colocarse además una chapa de alero que, en cubiertas de escasa pendiente, debe cubrir de 15 a 20 cm y en cubiertas de pendiente fuerte de 10 a 15 cm de la tabla o tablero del alero. Se coloca en trozos de 1 m de longitud, introduciéndolos en el pliegue posterior de la canal, y se sueldan encima de la cubierta. Por sus fuertes dilataciones debidas a los cambios de temperatura, la chapa de alero no debe clavarse sobre la tabla del alero, sino que se sujeta a ella con retenciones galvanizadas que se colocan cada 30 cm aproximadamente. Entre las juntas de las tejas del alero se deposita el

DIMENSIONADO DE CANALES Y BAJANTES DE AGUAS PLUVIALES SEGUN DIN 18 460

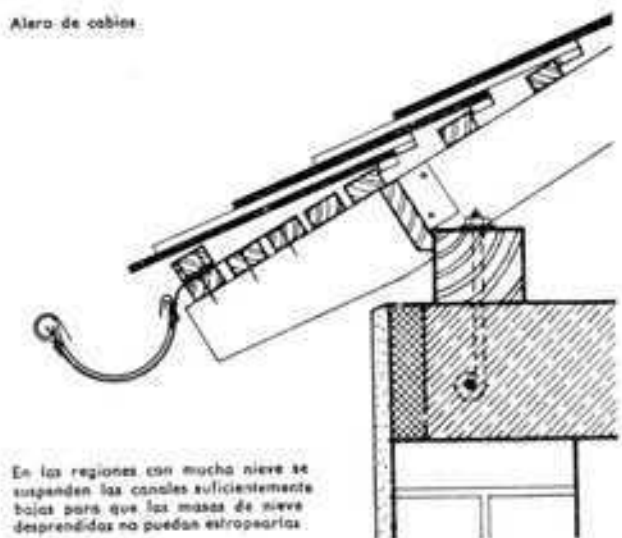
Superficie de cubierta m ²	Valor normativo DIN 18460	Desarrollo de canal cm	Piezas por hoja	Canales Ø mm	Distribución del desarrollo cm			Sección cm ²	Bajantes Ø mm	Grueso mínimo de chapa mm			
					Plegue	Bordón	Canal			ZN	CU	AL	STZN
150 - 250	250	50	4	240	4	8,5	37,5	254	150	0,7	0,7	0,8	0,7
100 - 150	190	40	5	192	4	7	29,0	145	125	0,7	0,7	0,8	0,7
60 - 100	150	33 1/3	6	153	3	6	24 1/3	92	100	0,7	0,6	0,7	0,6
40 - 60	125	28,5	7	127	3	5,5	20 0	63	80	0,7	0,6	0,7	0,6
< 40	100	25	8	106	3	5	18 0	43	70	0,65	0,6	0,7	0,6

Alero o cornisa de caja



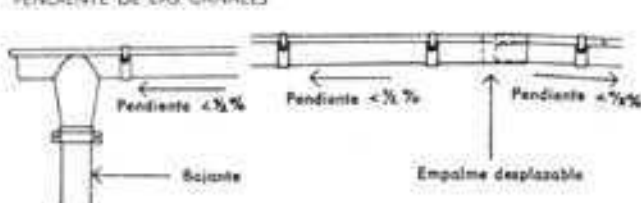
polvo y el hollín, que al ponerse en contacto con la chapa de alero en combinación con la humedad del aire o con agua de condensación la ataca electrolíticamente. Por consiguiente, todas las chapas de alero deben pintarse con una capa bituminosa en frío, que constituye la mejor protección para la plancha de cinc y prolonga su duración unos diez años. En los aleros sin cornisa (prolongación de los cables) resulta superflua la colocación de la tabla y de la chapa de alero. El borde delantero de la canal debe quedar 1 cm más bajo que el doblez del borde posterior, con lo cual, si llega a rebosar el agua contenida en la canal, nunca lo hará por la parte de la pared sino por el borde delantero.

Alero de cables



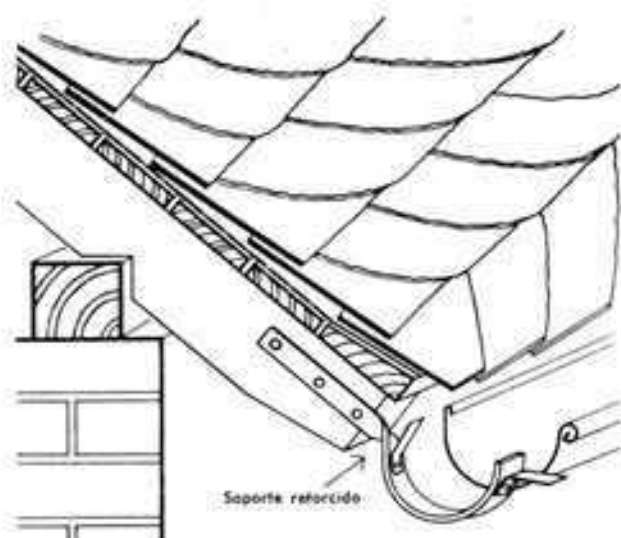
En las regiones con mucha nieve se suspenden las canales suficientemente bajas para que las masas de nieve desprendidas no puedan estropearlas.

PENDIENTE DE LAS CANALES



Las canales se colocan con pendiente de unos 3 mm por metro hacia los tubos bajantes. Las pendientes se marcan con unos cordeles tirantes que sirven de guía para la colocación de la canal. Si, en el caso de tratarse de trozos muy largos, una pendiente tan fuerte afease el aspecto del alero, podrá hacerse algo más suave, siempre que lo permitan una sección suficientemente amplia de la canal y una colocación cuidadosa de los soportes, bien tirada a cordel.

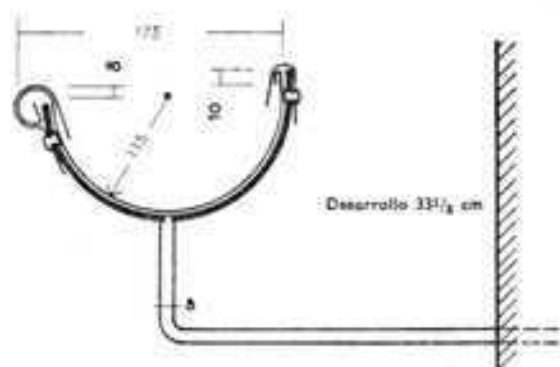
FIJACIÓN DEL SOPORTE DE CANAL A UN COSTADO DEL CABLE

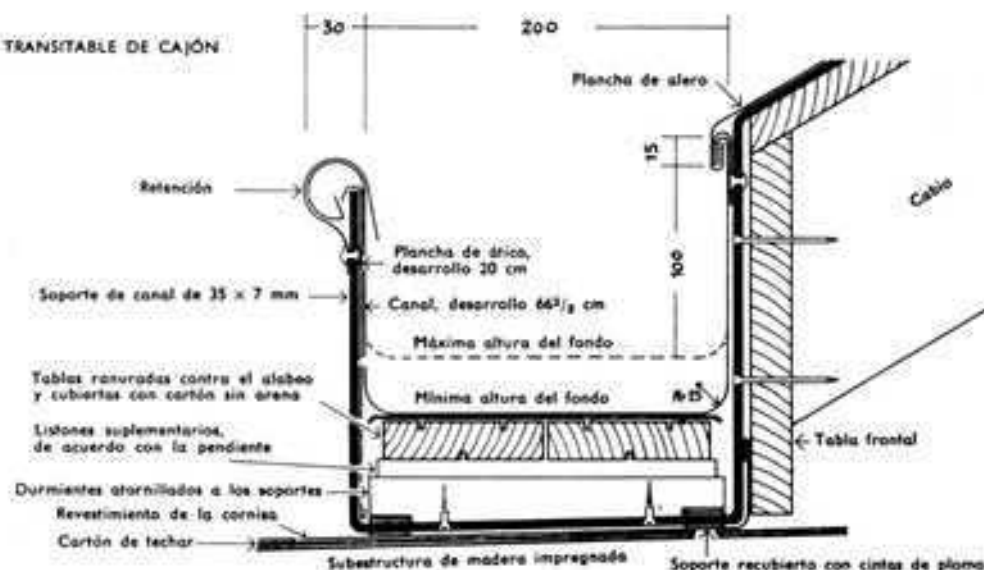


En los empizarrados son muy difíciles las reparaciones en puntos próximos a las canales, porque no es posible desmontar el revestimiento una vez clavado. En tal caso es conveniente fijar la canal con independencia del revestimiento de la cubierta. En los aleros o cornisas de cables se pueden fijar los ganchos de soporte en los costados de los cables, retorciendo la barra de fijación un cuarto de vuelta. En las cornisas de obra maciza se pueden disponer apoyos empotrados en la misma. En las cubiertas de tejas asentadas sobre mortero son convenientes también tales disposiciones.

Las canales de caja se emplean con frecuencia en edificios de carácter monumental con cornisas de piedra labrada, que por razones de estética no admitirían canales visibles. Hoy día, casi únicamente tienen importancia desde este punto de vista. Para evitar a las paredes los perjuicios que la humedad les ocasionaría en el caso de desperfectos en las canales de caja, la cornisa se reviste de chapa colocada sobre un forro de cartón de techar. Para que la chapa pueda tener juego de dilatación, su borde saliente, en forma de goterón, se asegura únicamente mediante unos hierros volados, que impiden el levantamiento de la chapa por golpes de viento. No hace falta ninguna fijación

FIJACIÓN DEL SOPORTE DE CANAL EN LA PARED (CANAL APOYADA)





posterior, porque en aquella parte están los soportes de la canal que la sujetan contra la tabla frontal. Los soportes o estribos de sustentación de la canal (dispuestos de manera especial) van recubiertos en su pie con fajas de plomo, con lo cual no se ponen en contacto sus aristas vivas con la plancha de la cornisa y, en caso de desperfectos en la canal, el agua puede correr libremente por debajo de ellos.

En las cubiertas de fuerte pendiente, las canales de caja tienen que ser transitables para poder llevar a cabo su limpieza. A este fin se coloca bajo la canal un entarimado de refuerzo apoyado en los estribos o soportes. Ese entarimado puede ser de tablas o de listones. A las tablas se les dan unos cortes de sierra para impe-

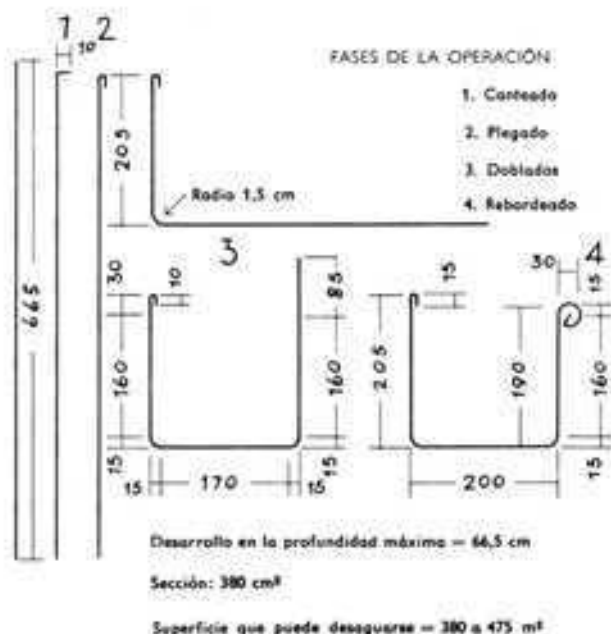
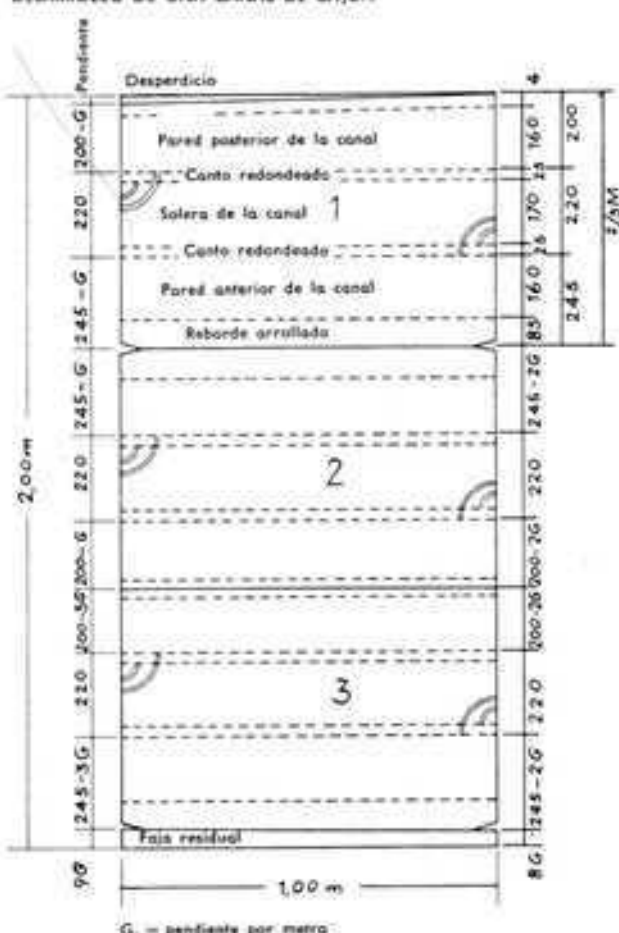
dir que se alabeen. El entarimado va clavado sobre durmientes que el hojalatero ya fija a los estribos en el mismo taller. Para dar a la canal la pendiente debida se colocan unas pequeñas cuñas de madera entre los durmientes y el entarimado. Estribos y cuñas deben pintarse para su debida protección. Antes de colocar las canales se cubre el entarimado con cartón de techar. A fin de que las canales se acomoden perfectamente a su destino, el hojalatero no debe cortar las chapas hasta tener listos todos esos trabajos preparatorios.

Para cubrir la canal y el apoyo de la misma se dispone una plancha de "ático". La plancha de alero se dispone en la forma acostumbrada.

Cuando es indispensable recurrir a esa costosa ejecución, debería, siempre que fuese posible, emplearse plancha de cobre, con objeto de reducir al mínimo las reparaciones.

El desarrollo de la canal está formado por el fondo, que es un rectángulo con sus lados mayores paralelos al borde de la pieza de chapa, y las paredes con el rebordeado anterior y el pliegue o doblez posterior, que deben tener forma trapecial para poder dar a la canal la pendiente que debe tener. Los cantos inferiores donde la solera se une a los costados de la canal deben redondearse con un radio al menos de 1 cm, pues las aristas vivas acaban agrietando las canales.

DESARROLLO DE UNA CANAL DE CAJÓN



Canales para cubiertas en diente de sierra

Una variante de las canales de caja son las que se disponen en las cubiertas en diente de sierra. Estas cubiertas tienen siempre tendencia a retener bolsas de nieve, por lo que las canales además de una holgada capacidad deben tener una fuerte pendiente que permita fácil salida al agua. Las canales de chapa son de aplicación conveniente no sólo sobre estructura de madera sino también sobre cubiertas "shed" de hormigón armado.

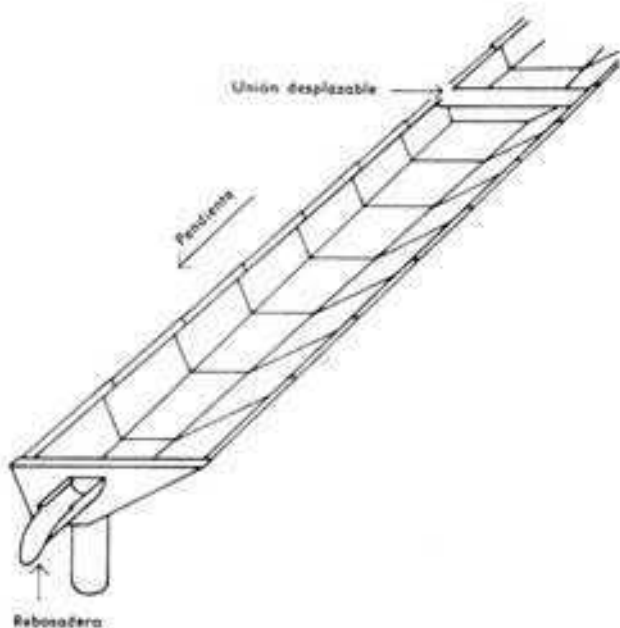
En el extremo cerrado de una canal debe siempre colocarse un rebosadero para que, en el caso en que se obstruya el tubo bajante, pueda el agua hallar salida hacia el exterior.

Las canales de las cubiertas en diente de sierra no llevan rebordes arrollados, sino únicamente amplios pliegues a ambos lados. En estos dobleces se alojan las retenciones con que se hace la fijación a la estructura de cubierta. La pendiente se obtiene, como en las canales de caja, por medio de una subestructura de madera. Esta debe protegerse, mediante un recubrimiento de



CANALES DE LAS CUBIERTAS EN DIENTE DE SIERRA

Forma antigua poligonal



Forma redonda perfeccionada



cartón bituminoso no enarenado, contra el agua de las condensaciones. En las canales para cubiertas en diente de sierra, la sección va estrechándose hasta el fondo. Como consecuencia de esta forma de cuña, la canal tiene una sección poligonal que la hace propensa a abollarse y agrietarse. Por consiguiente, es mejor darle una sección redondeada. Para cada cambio de pendiente debe disponerse una junta o unión desplazable, es decir, con juego.

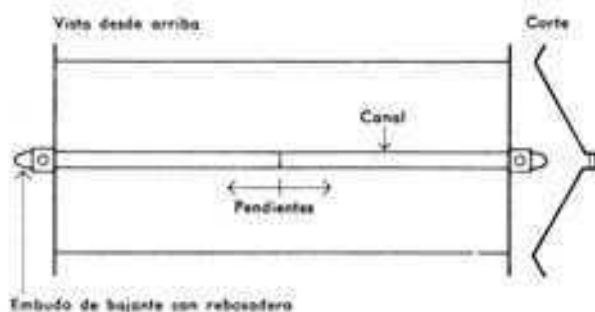
Canales en los encuentros de vertientes

En el caso de adosarse dos cubiertas a dos aguas, o a una sola vertiente, pero con las pendientes hacia la línea de unión, es preciso disponer en ésta una canal o zanja, para el desagüe. Su construcción es sencilla con las cubiertas de cartón. Si se trata, en cambio, de vertientes de obra de fábrica u hormigón se dan a la canal las pendientes necesarias hacia ambos lados, mediante hormigón superpuesto.

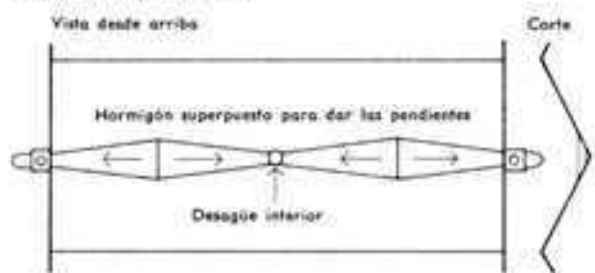
En las cubiertas de cartón sobre madera y en los tejados se dispone una canal de chapa. Como esas canales en zanja han de ser siempre transitables y requieren, por consiguiente, mayor sección se suele emplear, para formarlas, una chapa fuerte, como la chapa de hierro de 1,25 mm. Si las edificaciones son de mucha longitud exigen la instalación de algún desagüe intermedio (desagüe interior).

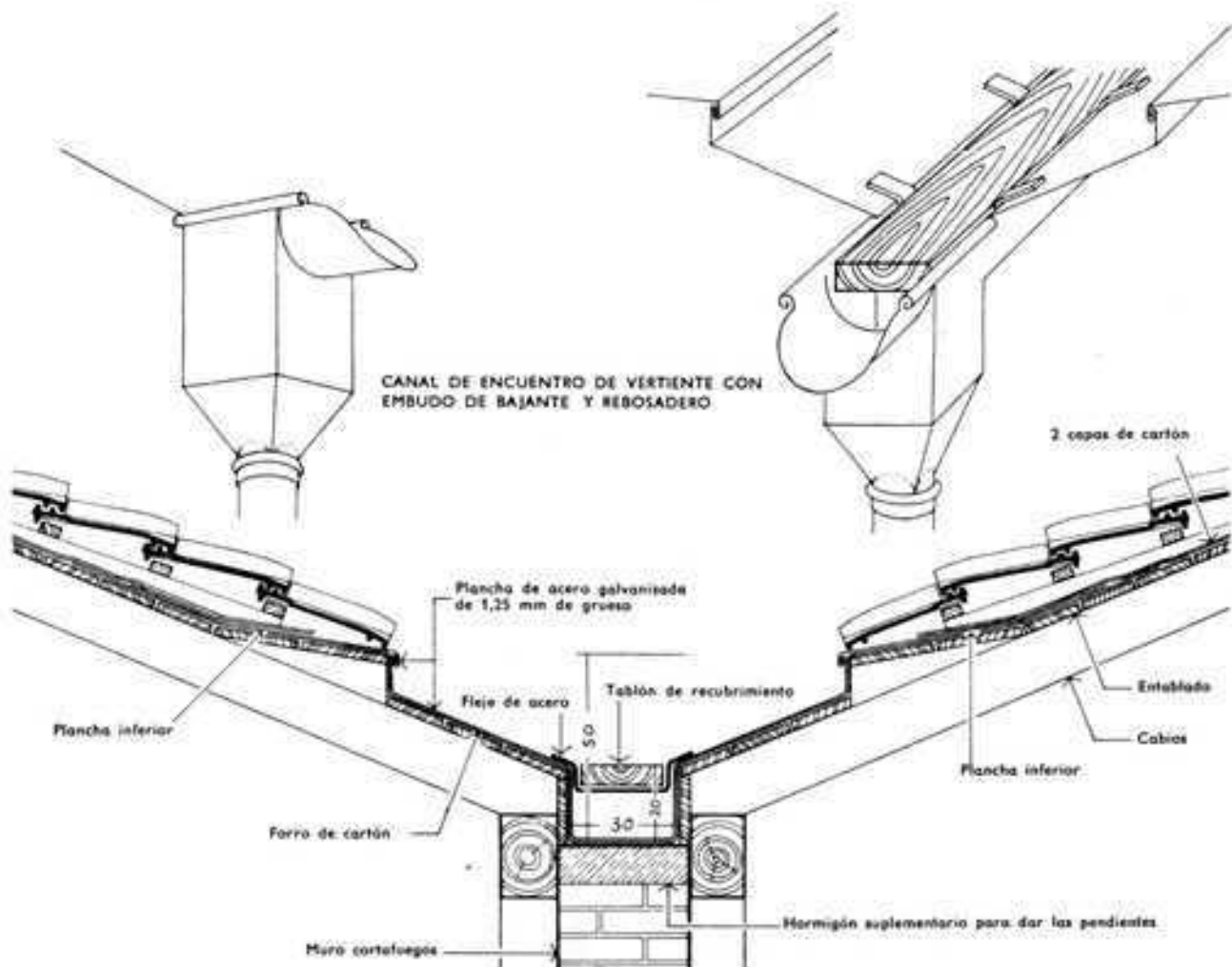
Estas canales en zanja requieren que las cubiertas con revestimiento de tejas lleven debajo un forro de cartón impermeable. La altura total de las paredes de la canal hasta el pliegue que forma el borde debe ser de 50 cm. Se obtienen, por tanto, en el caso de vertientes de escasa inclinación, canales que requieren piezas muy anchas y que no es raro que lleguen a alcanzar longitudes enteras de chapa (de 2,00 m a 2,50 m). Tanto la canal como las chapas correspondientes a las fajas de cubierta inmediatas a ella y que se embordan en sus pliegues deben colocarse sobre un forro de cartón de techar. La doble capa de cartón de la cubierta debe alcanzar también la faja de chapa cercana a la canal y debe pegarse a la capa de cartón que sirve de forro a la misma. Los trozos que forman la canal se unen con roblones de cobre y luego se sueldan. Los puntos remachados se pintan con minio. Toda la canal se monta y coloca en la misma obra.

ENCUENTRO DE VERTIENTES CON CANAL DE DESAGÜE A AMBOS LADOS

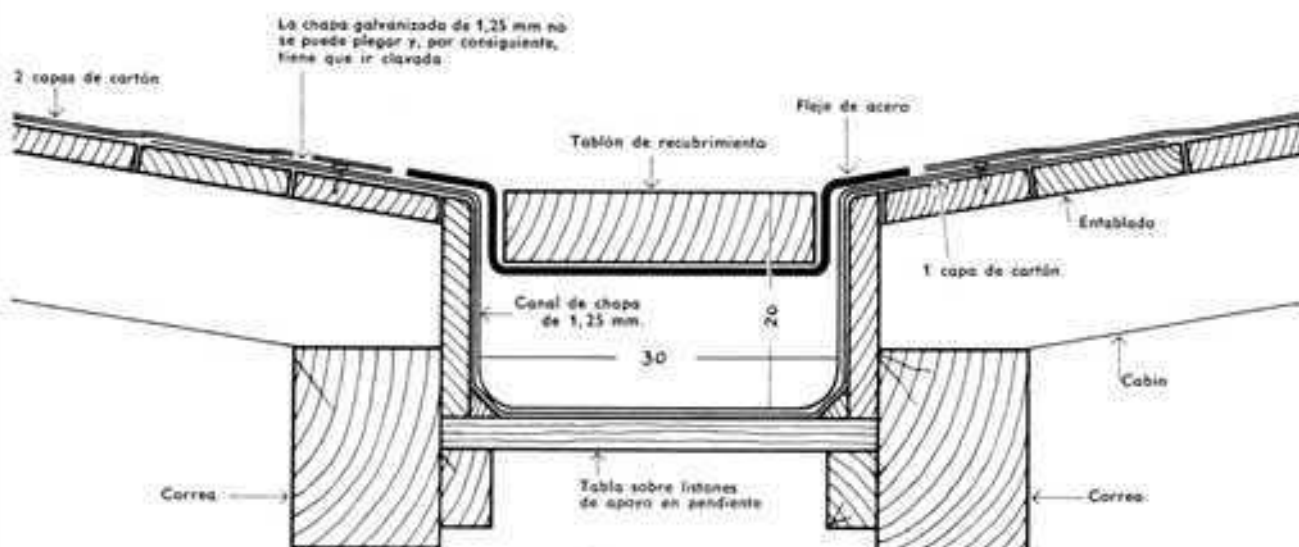
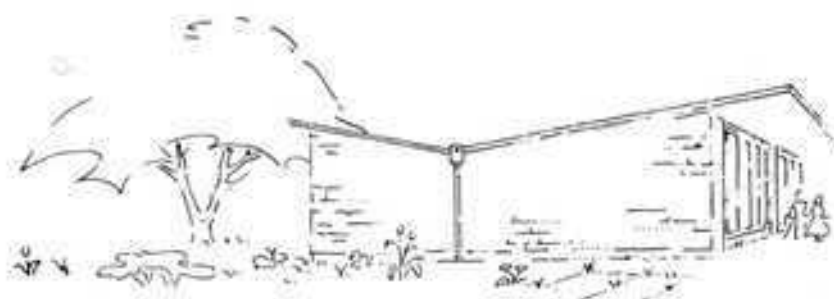


DESAGÜE INTERIOR ADICIONAL EN EDIFICIOS MUY LARGOS



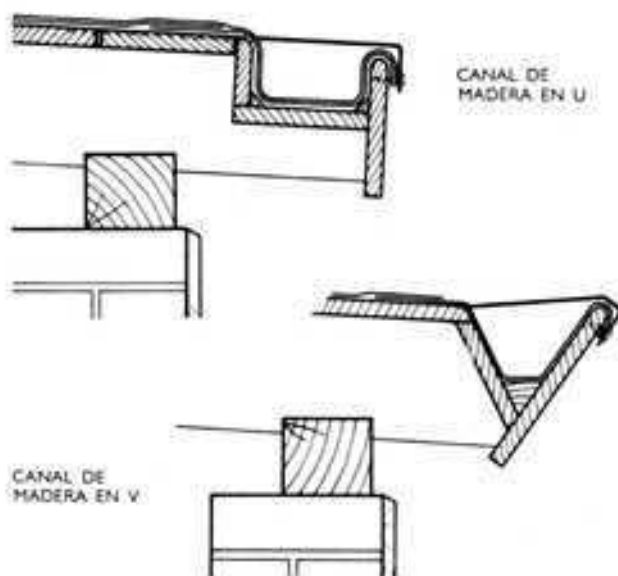


DESAGÜE DEL ENCUENTRO DE DOS VERTIENTES CON REVESTIMIENTO DE CARTÓN



Canales de madera

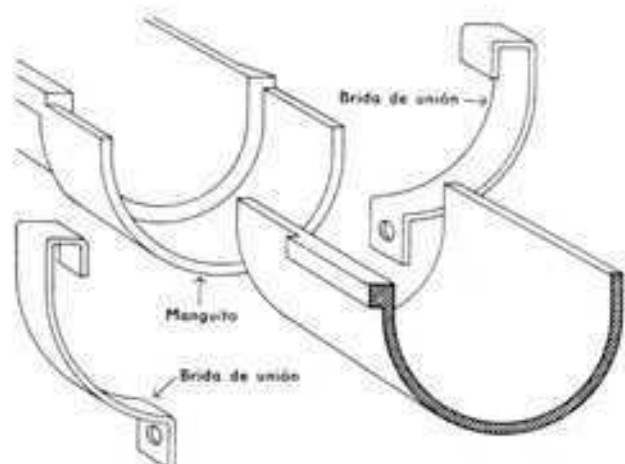
En edificios de importancia secundaria con revestimiento de cartón pueden hacerse las canales de madera. Se forman con tablas colocadas en "V" o en "U" y clavadas, después de lo cual se forran con cartón de techar. Todos los ángulos entrantes deben achaflanarse aplicando a ellos listones triangulares. Las juntas y empalmes entre las hojas de cartón, en estas canales, deben cerrarse muy cuidadosamente porque cuando las pendientes son pequeñas y la llegada de agua es mucha, fácilmente se producen goteras.



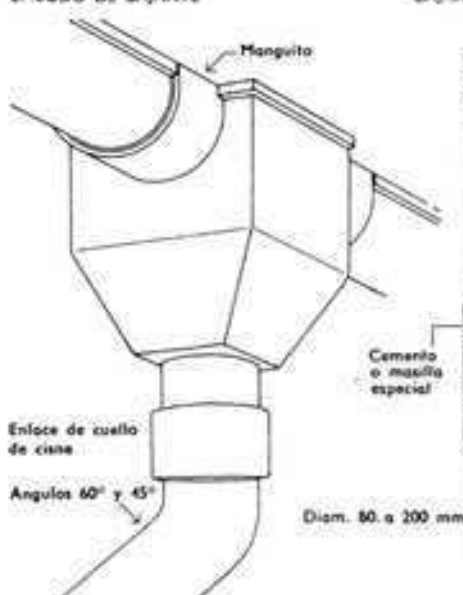
Canales de fibrocemento

Las canales de fibrocemento son piezas prefabricadas de 2,5 m de longitud. Por encargo se sirven piezas y trozos suplementarios.

Las chapas de la faja de alero tienen que cubrir la canal en unos 60 mm. El enlace de los diferentes trozos de canal entre sí se efectúa mediante enchufes de medios manguitos, dispuestos de tal manera que el agua pasa del extremo sin manguito de una pieza al extremo con manguito de la siguiente. Al hacer los pedidos de dicho material hay, pues, que especificar si los manguitos de enchufe deben estar en el extremo derecho de las piezas o en el izquierdo. La junta hermética del manguito se hace por medio de un cordón de goma de 5 mm de espesor. Al proceder al montaje se coloca una tira o bordón de 6 ó 7 mm de grueso, hecho con una almáciga o masilla especial en el interior del manguito, junto al resalto donde comienza, y contra él se comprime la cola del otro trozo de canal que va enchufada dentro del manguito. Esa masilla debe procurarse sea expulsada hacia afuera por efecto de la presión. Entonces se coloca la brida formada por dos medias piezas, que comprimen el cordón de goma colocado



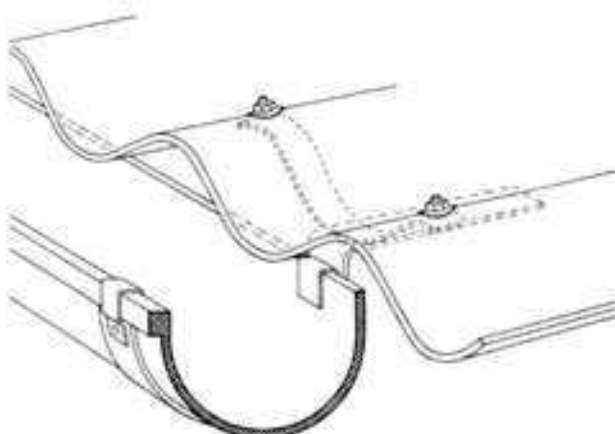
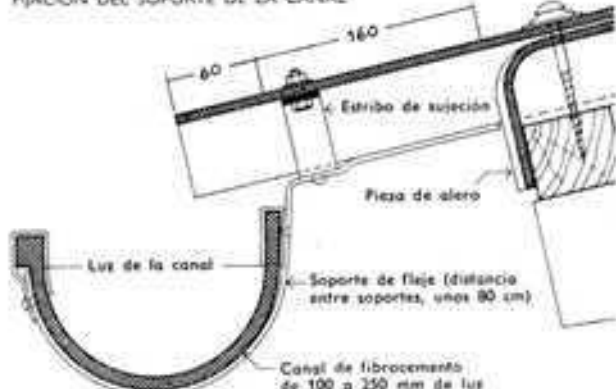
EMBUDO DE BAJANTE



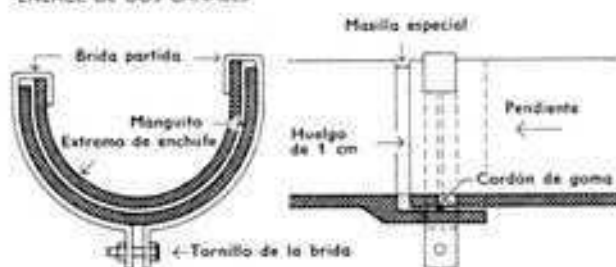
BAJANTE



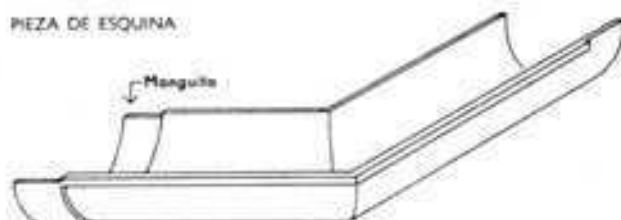
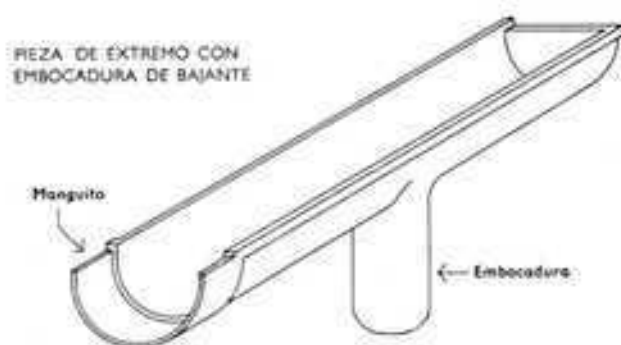
FIJACIÓN DEL SOPORTE DE LA CANAL



ENLACE DE DOS CANALES



PIEZA DE ESQUINA

PIEZA DE EXTREMO CON
EMBECADURA DE BAJANTE

en el extremo del manguito, a medida que se va apretando el tornillo de ajuste de dicha brida.

En estos montajes hay que tener presentes las instrucciones que dan sobre el particular las casas constructoras.

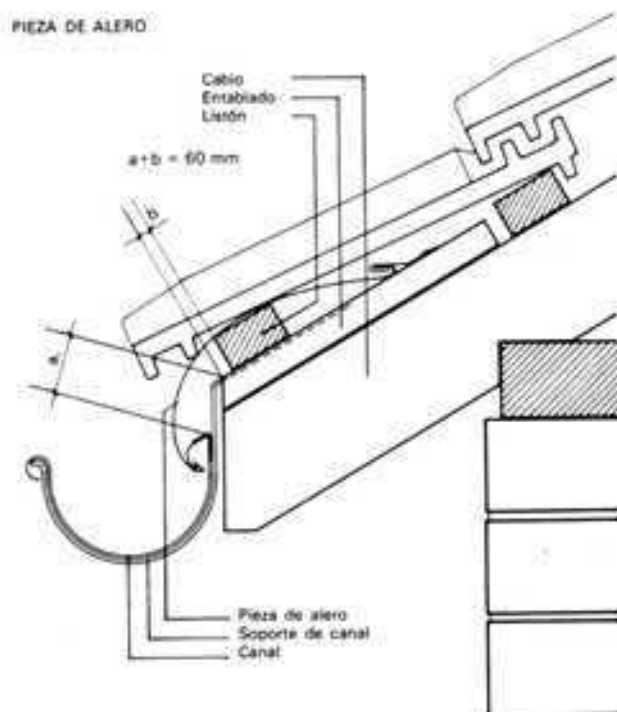
Canales de plástico

En los últimos años las canales y bajantes de lluvia de PVC duro (DIN 7748) han ido desplazando cada vez más a las canales tradicionales de chapa de cinc, tanto en las construcciones nuevas como en las obras de mantenimiento en edificios antiguos.

Existen dos razones principales para ello: en primer lugar las ventajas del nuevo material, su gran durabilidad y por lo tanto la supresión de trabajos de conservación de la construcción, y luego la importante simplificación de los trabajos en la obra misma.

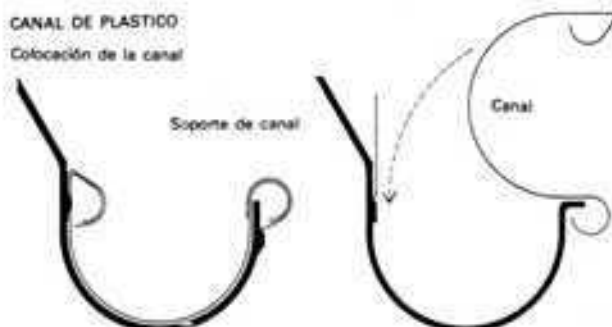
El PVC duro es químicamente insensible, tenaz, resistente a los golpes y tiene una superficie tan lisa que casi no se deposita polvo sobre ella. Tiene un pequeño peso propio de 1,4 kg/dm³ y puede elaborarse fácilmente, es decir, serrarse, pegarse y soldarse. Las temperaturas que se producen normalmente en las construcciones no influyen en el material. La resquebrajadura sólo se produce al tener temperaturas menores de -20° C. El ablandamiento comienza con temperaturas de aproximadamente 80°.

PIEZA DE ALERO

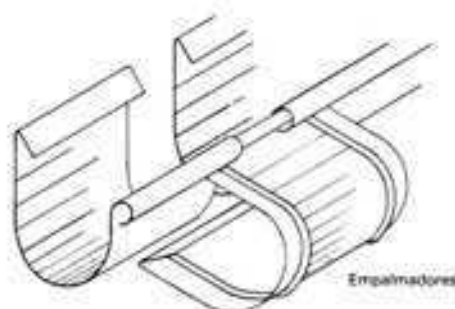


CANAL DE PLASTICO

Colocación de la canal

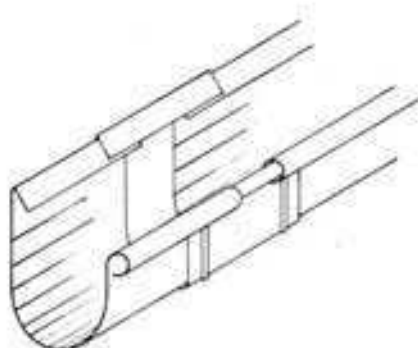


Cuando se coloca la canal sobre un soporte con dos muelles, los extremos exteriores de los soportes deben encajarse bajo el bordón delantero de la canal. Al emplear unos soportes con pliegue delantero en ángulo, la canal se sitúa en posición vertical de modo que el bordón delantero quede encima del pliegue y luego se gira hacia adentro.



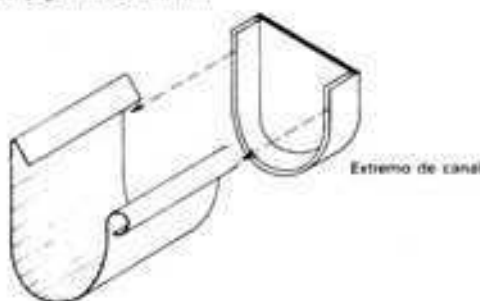
Empalmes

Los canales se unen mediante empalmadores. Estos elementos absorben al mismo tiempo las variaciones de longitud que se producen debido a la temperatura y por lo tanto sirven también de unión desplazable. El montaje de los empalmadores se comienza con la suspensión del bordón del empalmador. El empalmador se gira hacia dentro hasta que su pliegue posterior encaja elásticamente justo encima del pliegue de la canal. Para la impermeabilización se recurre a cordones redondos de neopreno.



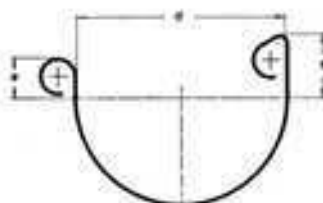
Extremo de canal

Los finales abiertos de las canales se cierran mediante los extremos de canal. Estas piezas se calán sobre los canales y resultan impermeables, aunque pueden ser pegadas adicionalmente.



Canal FKR

Medidas normativas 100, 125, 150, 180 (en mm)



Designación de una canal FK, medida normativa 125

FKR 125

Longitud 4000

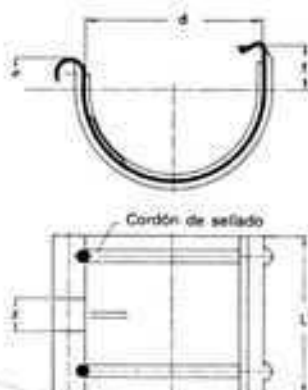
Medida normativa	d	e	f
100	100	22	28
125	125	20	28
150	150	19	25
180	180	18	28

Material: PVC duro, color: gris RAL 7032

Empalmadores FKR

con compensación de dilataciones

Medida normativa 100, 125, 150, 180 (en mm)



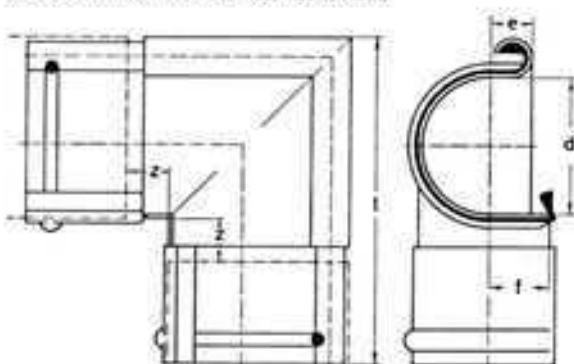
Designación de un empalmador FK
Medida normativa 125
FKRV 125

Med. normativa	d	e	f	L	z
100	103	20.5	28	156	36
125	128	18.5	28	156	36
150	153	17.5	25	156	36
180	184	16	28	170	36

Material: PVC duro, color: gris RAL 7032

Angulo exterior FKRAW

Medida normativa 100, 125, 150, 180 (en mm)



Designación de un Angulo exterior FK

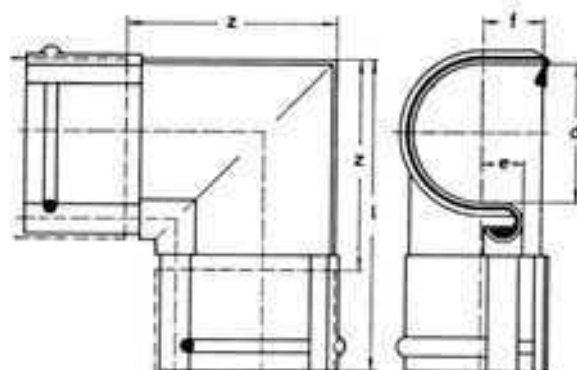
Medida normativa 125

FKRAW 125

Med. normativa d	e	f	L	z	
100	100	22	28	220	45
125	125	20	28	253	45
150	150	19	25	277	45
180	180	18	28	409	135

Angulo interior FKRIW

Medida normativa 100, 125, 150, 180 (en mm)



Designación de un ángulo interior

Medida normativa 125

FKRIW 125

Med. normativa d	e	f	L	z	
100	100	22	28	207	145
125	125	20	28	235	175
150	150	19	25	260	200
180	180	18	28	387	320
180	180	18	28	387	320

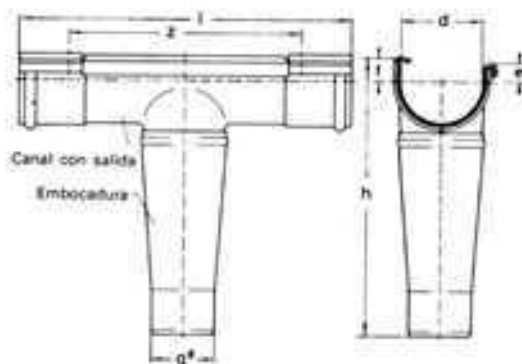
Material: PVC duro, color: gris RAL 7032

Canal FKST con salida

y embocadura de bajante

Medida normativa 100, 125, 150

(en mm)



Designación de una canal con salida,
medida normativa 125
FKST 125

Canal y embocadura
se suministran empaquetados
por separado, empalmándose
en la obra

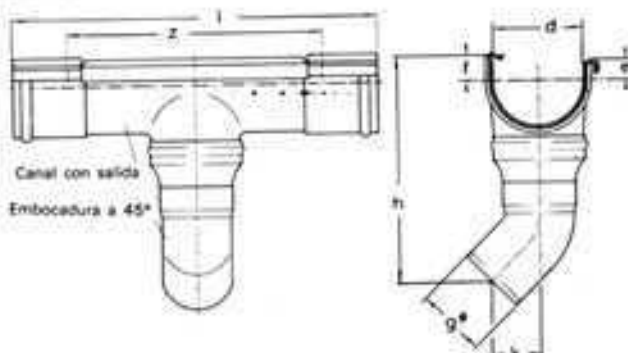
Designación de una
embocadura de bajante,
medida normativa 125
FKST 125

Med. normativa	d	e	f	g	h	L	z
100	100	22	28	75	330	393	270
125	125	20	28	75	345	411	290
150	150	19	25	110	370	437	315

Materia: PVC duro; color: gris RAL 7032

Canal con salida FKRST 45°

con embocadura de bajante a 45°
Medida normativa 100, 125, 150
(en mm)



Canal y embocadura se suministran por separado y se empalman en la obra

Designación de una canal con salida, medida normativa 125
FKRST 125

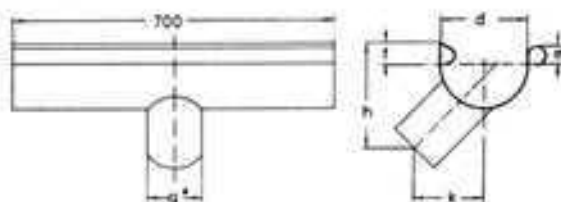
Designación de una embocadura de bajante a 45°, medida normativa 125
FKRET 125/45°

Med. normativa	d	e	f	g	h	k	L	z
100	100	22	28	75	254	55	393	270
125	125	20	28	75	272	55	411	290
150	150	19	25	110	330	75	437	315

Materia: PVC duro; color: gris RAL 7032

Canal con salida FKRSQ 45°

Con extremos lisos. Medidas normativas 100, 125, 150, 180
(en mm)



Para la medida normativa 125 existen desagües de 75 y 110 Ø
Para la medida normativa 180 existen desagües de 110 y 125 Ø

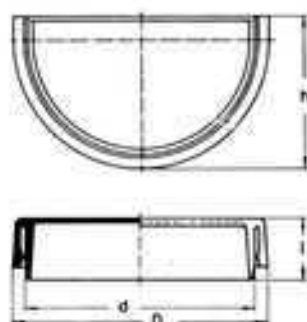
Designación de una canal con salida a 45°
Medida normativa 180, con extremos lisos y desagüe de 125 Ø
FKRSQ 45° 180/125

Med. normativa	d	e	f	g	h	k
100	100	22	28	75	120	87
125	125	20	28	75	130	94
125	125	20	28	110	141	114
150	150	19	25	110	156	109
180	180	18	28	110	175	112
180	180	18	28	125	170	129

Materia: PVC duro; color: gris RAL 7032

Pieza de extremo de canal FKRBO

para los lados derecho e izquierdo
Medida normativa 100, 125, 150, 180 (en mm)



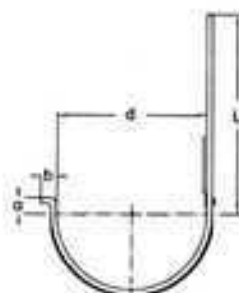
Designación de una pieza de extremo de canal,
Medida normativa 125
FKRBO 125

Medida normativa	d	D	h	l
100	100	110	70	30
125	125	136	78	30
150	150	162	92	30
180	180	192	102	30

Materia: PVC duro; color: gris RAL 7032

Soporte de canal FRH 1

con pliegue y un muelle, galvanizado o revestido de plástico
Medida normativa 100, 125, 150, 180 (en mm)



Designación de un soporte de canal galvanizado con pliegue y un muelle,
medida normativa 125
FRH 1 Z 125

Designación de un soporte de canal revestido de plástico con pliegue y un muelle de acero inoxidable, medida normativa 125
FRH 1 K125

Med. normativa	d	a	b	L	Perfil
100	106	14.5	12	≈ 205	26 × 4
125	131	10.5	16	≈ 205	30 × 4 40 × 4
150	156	9.5	16	≈ 205	30 × 4 40 × 4
180	185	4	18	≈ 205	30 × 4 40 × 4

Materia: acero

Color del revestimiento plástico: gris RAL 7032

Soporte de canal FRH 2

con 2 muelles, galvanizado o con revestimiento plástico
Medida normativa 100, 125, 150, 180 (en mm)



Designación de un soporte de canal galvanizado con 2 muelles.
Medida normativa 125
FRH 2 Z 125

Designación de un soporte de canal con 2 muelles, de
acero inoxidable y con revestimiento plástico,
medida normativa 125
FRH 2 K 125

Med. normativa d	a	L	Pert.	Kg/pieza galvanizada
100	106	12,5	≈ 215 26 × 4	0,320
125	131	8,5	≈ 215 30 × 4 40 × 4	0,430 0,590
150	156	7,5	≈ 215 30 × 4 40 × 4	0,465 0,610
180	185	6	≈ 215 30 × 4 40 × 4	0,510 0,670

Materia: acero, color del revestimiento plástico: gris RAL 7032

Al montar las piezas de las canales debe tenerse en cuenta la alta dilatación térmica del PVC (cloruro de polivinilo). Por ejemplo, al emplear una canal suspendida de PVC debe contarse con un valor de dilatación longitudinal tres veces mayor que el de una canal de cinc. (Véase tabla con los valores de la dilatación longitudinal)

PVC (duro)	0,000080 - 0,000100 grd. ⁻¹
Cinc	0,000029 grd. ⁻¹
Aluminio	0,000024 grd. ⁻¹
Cobre	0,000016 grd. ⁻¹
Acero	0,000012 grd. ⁻¹

De aquí resultan las medidas especiales para unir las piezas largas de canal.

Para limitar en lo posible las dilataciones longitudinales se pintan las piezas de canales y los bajantes de un color gris claro. Las prescripciones más detalladas acerca de la ejecución de los canales de PVC se hallan en la DIN 18469. Existen buenas razones para que las secciones de las canales colgadas de PVC sean iguales a las de las canales metálicas. En proporción al desarrollo, la forma semicircular proporciona la mayor sección de canal y un momento de resistencia suficiente para la carga vertical, y el bordón redondo del canto delantero da una buena rigidez contra las cargas horizontales (p. ej., escaleras apoyadas). Los ganchos de soporte recubiertos de plástico se realizan con el borde canteado en ángulo, de modo que puede prescindirse del retén anterior en el bordón.

Esto simplifica los trabajos y mejora el aspecto de la canal. Además de las canales semicirculares, se ofrecen también las llamadas canales de cajón en distintas secciones.

La separación entre los ganchos de fijación es < 70 cm, más pequeña que con canales de chapa (< 80 cm).

Aparte de estas dos piezas principales, las distintas empresas ofrecen todas las piezas prefabricadas eventualmente necesarias, de modo que puede hablarse de sistemas cerrados.

Las piezas especiales son las siguientes:

- 1) Piezas de unión con un cordón de empaquetadura de neopreno incorporado para las piezas de canal de 4 m de longitud.
- 2) Piezas de canal con embocadura.
- 3) Piezas de alero para cubiertas compactas con la correspondiente franja de neopreno para impermeabilizar las juntas longitudinales.
- 4) Esquinas entrantes y salientes.
- 5) Extremos de canal.

Al montar las piezas de canal de plástico no se sigue el antiguo principio de que la pieza superior solape a la pieza inferior en la dirección del desagüe, sino que la seguridad se deja exclusivamente a cargo de la impermeabilización con neopreno, que por su parte debe ser muy eficaz y duradera por el fuerte movimiento de las distintas piezas.

En la obra se requieren sólo trabajos de montaje que, sin embargo, deben ejecutarse por mano de obra especializada.

Las fases de trabajo (empezando por la fijación y alineación de los ganchos) son las mismas que en el caso de las canales de chapa.

Bajantes de aguas pluviales

Los tubos bajantes recogen el agua procedente de las canales y la conducen al alcantarillado. El enlace del bajante con el albañal se realiza con un tubo vertical de fundición, que sobresale del terreno cierta altura, en la que el bajante de chapa ligera quedaría expuesto a golpes que lo abollarían. En casas cuya fachada esté junto a la acera, el tubo vertical de fundición ha de tener por encima de la misma 1,80 m de altura. En cambio, si entre la fachada y la acera hay un trozo de jardín puede darse a dicho tubo menor altura; lo corriente es terminarlo al nivel del borde del zócalo. De este modo se suaviza el mal efecto que hace el tubo negro.

Cuando no existe albañal o alcantarilla y las aguas negras van a un pozo absorbente o a un tanque séptico, las aguas pluviales se conducen a un pozo absorbente especial o a una cuneta.

Bajante de cobre con costura plegada

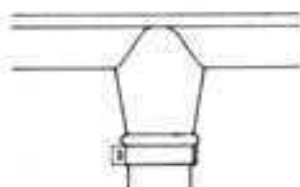
Bajante de zinc con costura soldada

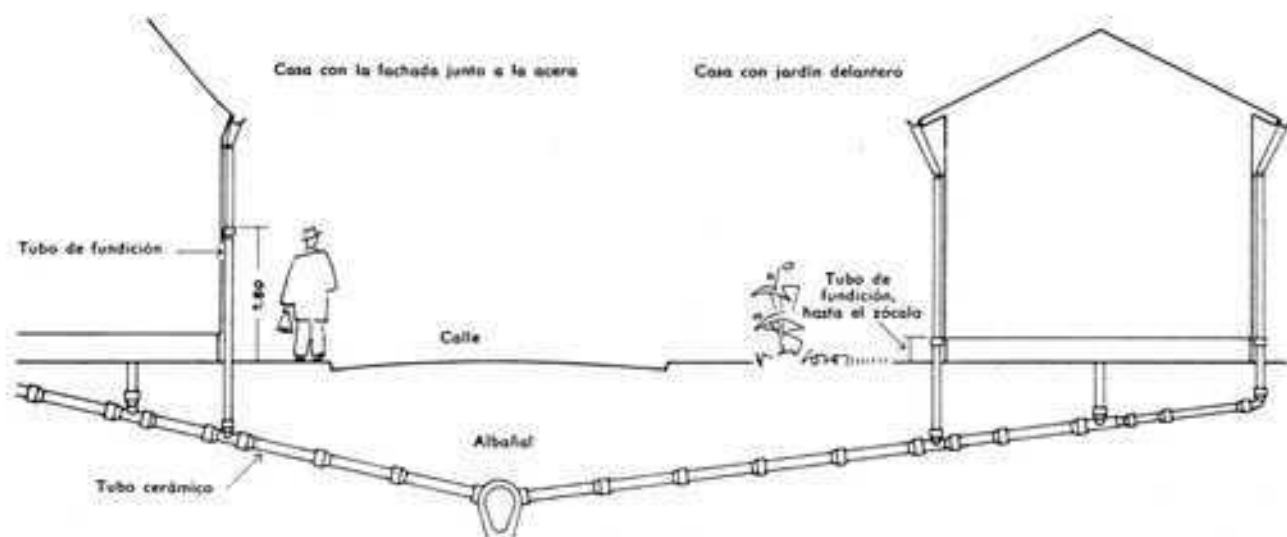


Alcachofo



Empalme soldado con 6 cm de recubrimiento





Cuando el tubo bajante desemboca en el alcantarillado, en invierno el aire caliente ascendente puede evitar la formación de hielo en el lugar donde se unen canal y bajante. Sin embargo, debe vigilarse que no se halle ninguna buhardilla en las proximidades, ya que los gases ascendentes del alcantarillado podrían molestar a los vecinos. Además los bajantes de aguas pluviales deberían colocarse en lo posible en sentido vertical para poder aprovechar plenamente este "efecto de chimenea".

Bajantes de aguas pluviales de chapa

Teóricamente, las secciones de los bajantes podrían ser mucho más reducidas que las que suelen emplearse en la práctica. Sin embargo, hay que contar también con la posibilidad de que las aguas arrastren hojarasca, papeles o trozos de hielo, por lo cual se adopta generalmente la relación de 1,5 m² de superficie cubierta (en planta) por cm² de sección transversal de bajante. Siguiendo esta regla se obtienen tubos que para su construcción requieren piezas de chapa del mismo tamaño, aproximadamente, que las de las canales. La experiencia ha demostrado que aun en el caso de superficies cubiertas de grandes dimensiones, como p. ej. en la construcción de grandes hangares o naves de tinglados importantes son suficientes secciones de tubos de 120 a 125 mm.

Al determinar el diámetro de un tubo bajante se tiene en cuenta no sólo su adaptación a las medidas de las canales sino también la necesidad de que encaje bien en el manguito del tubo inferior de fundición. Debido a que los diámetros interiores de los tubos de fundición para desagües suelen ser de 75 mm, 100 mm y 125 mm, predominan también los tubos bajantes de estos diámetros, o algo menores todavía. Cada trozo o sección del tubo bajante se enchufa unos 6 cm en el trozo inferior y se suelda a él. El recubrimiento en la costura longitudinal es de unos 2 cm y también va soldado. Esas soldaduras tienen siempre que colocarse apartadas de la pared y vueltas hacia afuera, para evitar que en el caso de producirse fugas puedan originarse daños en la pared por causa de la humedad.

El tubo bajante se sujeta a la pared con abrazaderas, cada 1,50 m ó 2,00 m, y se apoya en ellas por rebordes soldados o picos salientes.

Los bajantes de cobre no se sueldan, sino tan sólo se pliegan y se cosen con roblones de latón. Desde el punto de vista del aspecto de la obra tiene importancia el enlace del tubo bajante con la canal.

Para conducir bien el agua debe colocarse entre el tubo bajante y la canal un trozo de tubo cónico recto que constituye el camino más corto para el agua. Cuando se trata de grandes superficies de cubierta es conveniente disponer embudos o cajas colectoras, sobre todo cuando el agua llega al tubo bajante desde dos lados opuestos. Si en las proximidades de edificios de poca altura hay árboles y pueden caer hojas sobre las cubiertas, se dispone sobre la boca de entrada del bajante una jaula de enrejado ("alcachofa") para detener la hojarasca.

Hoy día las piezas redondas de enlace entre canal y bajante se emplean sólo en construcciones con cornisas muy salientes (edi-

ficios históricos) y han de constituirse a base de muchos elementos sueltos.

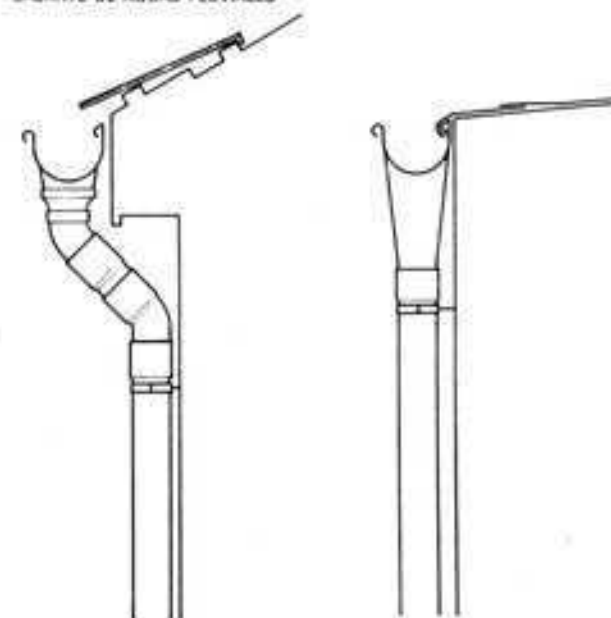
En el caso de canales de cobre se prescinde de cualquier tratamiento superficial, dado que no requieren ninguna protección y que precisamente en la pátina que se forma reside su atractivo. Para canales y bajantes de chapa de cinc normalmente no se necesita una protección anticorrosiva mediante pintura. Sin embargo en atmósfera húmeda o contaminada por desechos industriales, la velocidad de corrosión del cinc es tan grande que habría de disponerse una capa de pintura protectora. Entonces hay que procurar un cuidadoso desengrasado de la superficie de cinc (neutralizar con una solución de 1 parte de ácido clorhídrico y 10 partes de agua) y dado el caso también una mano de imprimación (Wash Primer) que facilite el agarre.

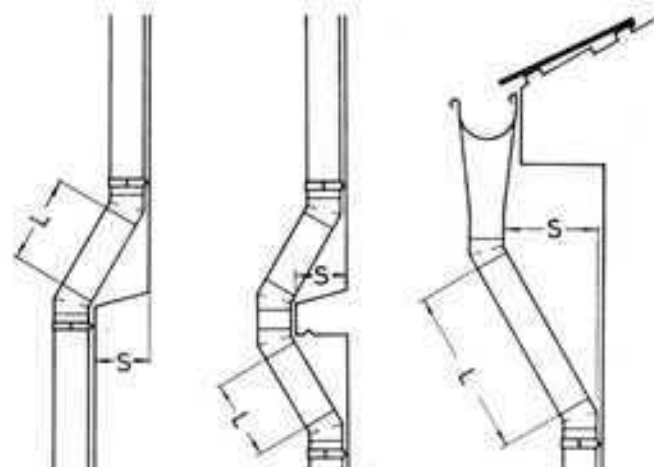
La cara interior de la canal, que es más atacada que la exterior por el agua de lluvia, recibe a menudo una capa de asfalto. También en los bajantes de chapa de cinc debería aplicarse una capa de pintura por el interior, a causa de los gases que ascienden del alcantarillado.

Bajantes de fibrocemento

Los tubos bajantes de fibrocemento se encuentran en el mercado con diferentes longitudes y diámetros. El enlace de los tubos se realiza mediante manguitos que se rellenan con mortero de cemento. También se suministran cajas colectoras de diferentes tamaños y formas.

BAJANTE DE AGUAS PLUVIALES





$L \text{ (mm)} = 2 \times S \text{ (mm)} - 50 \text{ mm}$

Bajantes de aguas pluviales de plástico

Los bajantes de plástico se conectan a las embocaduras de las canales existentes. El empalme se efectúa mediante un manguito. Para enchufar estos tubos y piezas moldeadas se emplea un deslizante que se aplica sobre los extremos. Una vez empalmados los manguitos y los extremos hasta el tope, ha de hacerse retroceder los tubos 1,5 cm, para poder absorber libremente la dilatación térmica.

Cuando el desagüe de las cubiertas se efectúa por el exterior, los tubos bajantes y las piezas moldeadas tienen manguitos lisos sin anillo de empaquetadura. En cambio, cuando los tubos bajantes se disponen por el interior del edificio, los manguitos deben conformarse con estriado de rigidización y anillos de empaquetadura.

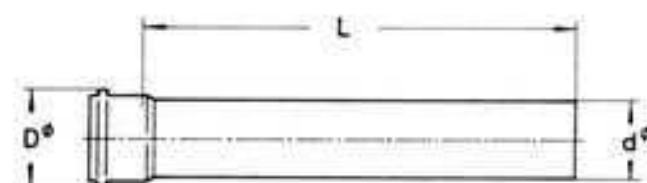
La mejor solución es fijar los bajantes en la obra de fábrica mediante unas abrazaderas recubiertas con plástico.

El punto de introducción del bajante en el tubo de fundición debería situarse en lo posible a una altura sobre el nivel de terreno en donde ya no esté expuesto a daños mecánicos.

La DIN 7748 y la DIN 18469 exponen más detalladamente las prescripciones sobre la ejecución y el empleo de los tubos bajantes de plástico.

Bajante de aguas pluviales FKRFI

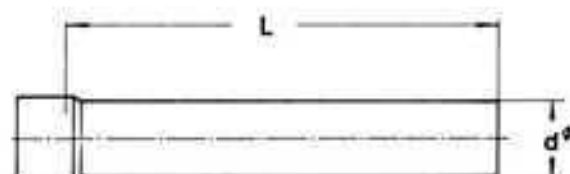
para desagüe interior
con anillo de goma en Ø
Diámetro normativo 70, 100, 125 (en mm)



Designación de un bajante para desagüe interior,
diámetro normativo 70, longitud constructiva 2500
FKRFI 70x 2500

Bajante de aguas pluviales FKRFa

para desagüe exterior
sin anillo de goma en Ø
Diámetro normativo 70, 100, 125
(en mm)



Designación de un bajante para desagüe exterior,
diámetro normativo 70, longitud constructiva 2500
FKRFa 70x2500

Diámetro normativo	Medida normativa para canales	d Ø	L*	kg/pieza
70	100 y 125	75	500	0,280
			1000	0,540
			2500	1,320
			3200	1,685
100	150 y 180	110	500	0,450
			1000	0,947
			2500	2,302
			3200	2,942
125	180	125	500	0,565
			1000	1,080
			2500	2,630
			3200	3,350

Material: PVC duro; color: gris RAL 7032

Diámetro normativo	Medida normativa para canales	d Ø	D Ø	L*	kg/pieza
70	100 y 125	75	89,1	500	0,349
				1000	0,670
				2500	1,633
				3000	2,083
100	150 y 180	110	126,7	500	0,640
				1000	1,210
				2500	2,920
				3200	3,872
125	180	125	144,1	500	0,836
				1000	1,571
				2500	3,776
				3200	5,028

Material: PVC duro; color: gris RAL 7032

Chimeneas e instalaciones de calefacción

Para atender a nuestras necesidades industriales y domésticas en lo relativo a consumo de calor, nos vemos obligados a transformar energía de diferentes clases en calor. Las posibilidades que hoy existen para ello han alcanzado, gracias al progreso actual de la ciencia, un alto grado de perfección, si bien, por desgracia, no han llegado todavía a la amplitud necesaria, por lo cual nos vemos en la necesidad de obtener el calor en una importante parte mediante la combustión de valiosas primeras materias, como ya se venía haciendo hace tiempo.

Resulta, por consiguiente, indispensable construir generadores térmicos que garanticen no sólo un proceso perfecto de combustión exento de peligros, sino también una proporción máxima de calor aprovechable del que se desprende de los combustibles donde se hallaba en forma de combinaciones químicas. La seguridad de funcionamiento y la economía de unas instalaciones de combustión dependen de la construcción y de las dimensiones adoptadas para sus elementos componentes: hogar, chimenea y conductos de humos que enlazan estas partes (tubos del horno, caja de humos).

Antes de la era industrial, se conocía como material combustible únicamente la madera y en las casas sólo había un hogar o muy pocos. Hoy día disponemos de una serie de materiales combustibles con distintos estados de agregación y distinto poder calorífico. Además existe una gran variedad en el tamaño de las instalaciones de calefacción, que no puede apoyarse en modelos o ejemplos históricos, por lo que las experiencias en la construcción de las correspondientes chimeneas sólo cubren pocos decenios e incluso a veces muy pocos años. Un número elevado de graves desperfectos en las chimeneas nuevas, y en particular en las chimeneas muy altas, y sus fatales consecuencias demuestran la necesidad de estudiar los problemas de la construcción de chimeneas modernas con mayor profundidad.

Definición de la chimenea

Con el nombre de chimenea se designa cualquier clase de tubo o hueco destinado a conducir los gases de la combustión de los hogares hacia arriba, dándoles salida al exterior por encima de las cubiertas y tejados. En las casas de vivienda y demás construcciones urbanas suelen construirse interiormente, salvo escasas excepciones; en la industria, en cambio, generalmente se construyen aisladas y al exterior. Según sean los gases de la combustión, se distinguen las chimeneas para humos y las chimeneas para escape de gases. Las chimeneas para humos sirven para lanzar hacia arriba los productos de la combustión de materias sólidas y líquidas combustibles, como la leña, la turba, el lignito, la hulla, el coque y los aceites combustibles, mientras que las chimeneas de escape o salida de gases sirven para expulsar al exterior los gases residuales de los combustibles gaseosos quemados. Las conducciones de ventilación no son verdaderas chimeneas, aun cuando la misión que desempeñan es parecida.

Proceso de combustión

La misión de una chimenea resulta del proceso de combustión dentro de la instalación de calefacción y de las características de combustión de los materiales combustibles.

Una instalación de combustión sólo puede funcionar segura y económicamente cuando su chimenea y su hogar están debidamente proporcionados entre sí. El hogar mejor estudiado puede desperdiciar sus ventajas si la chimenea es insuficiente o inadecuada. Es condición precisa, para lograr una perfecta construcción y unas adecuadas dimensiones en una chimenea, el conocimiento de los requisitos que la instalación debe cumplir y las condiciones de su funcionamiento.

La elección del sistema de calefacción depende del material combustible disponible y del tipo de funcionamiento deseado. El tamaño del hogar de un local se rige por la emisión media de calor por m² de superficie a calentar, en función de las necesidades térmicas de cada caso. Según la DIN 4701 la emisión de calor se halla mediante la pérdida de calor que se produce por los elementos constructivos que incluyen el local, es decir por sus dimensiones, su capacidad de aislamiento térmico y la hermetización de junta de sus aberturas.

Cuanto más pequeño sea un edificio o cuanto más altos sean los costes de energía, tanto más deben considerarse minuciosamente las relaciones económicas entre la calefacción y el aislamiento térmico. La necesidad específica de calor no debería sobrepasar en las casas de viviendas de 125 kcal por hora y m² de superficie habitada. Un aislamiento térmico mejorado (respecto a las exigencias mínimas de la DIN 4108) compensará con el tiempo más que suficientemente los elevados costes de construcción, debido a los ahorros que proporciona la instalación y los reducidos costes de funcionamiento.

Materiales combustibles

Como materiales combustibles sólo pueden considerarse aquellos elementos cuya combustión se efectúa constantemente, es decir, sin que se produzcan explosiones o gases venenosos. Distinguimos entre los materiales combustibles naturales como leña, turba, lignito y hulla, gas natural y los materiales elaborados como briquetas, coque, fuel-oil y gas de ciudad. También podemos hacer la división en materiales sólidos, líquidos y gaseiformes. Consideramos como:

Material sólido: leña, turba, lignito, hulla, carbón vegetal tratado, briquetas y coque

Material líquido: fuel-oil S (pesado), L (ligero), EL (extraligero)

Material gaseiforme: gas natural y gas de ciudad.
El valor económico de un material combustible viene definido por su precio y por su valor calorífico, el llamado poder calorífico. Con el precio del combustible P por unidad (kg, l, m³, kWh) y el poder calorífico H_u se halla el precio del calor W_p con la fórmula

$$W_p = 1\,000\,000 \frac{P}{H_u} \text{ en u.m./Gcal,}$$

en donde

u.m. = unidad monetaria

1 Gcal (gigacaloría) = 10⁹ cal = 10⁶ kcal.

En la elección de un combustible influye principalmente el precio del calor, luego los correspondientes costes de funcionamiento de una instalación de calefacción (evacuación de cenizas, etc.) y en algunos casos también los costes reducidos o aumentados para la instalación misma de calefacción, como, por ejemplo, los costes suplementarios para el tanque de fuel-oil en comparación con los costes que ocasiona una calefacción con gas natural. En

beneficio de una atmósfera menos contaminada, habrá que contar en el futuro con una restricción de elegir libremente los materiales combustibles, ya que la composición química de los gases del humo y el posible porcentaje de hollín son muy distintos.

Proceso químico

La combustión que tiene lugar en el hogar es una combinación de los elementos químicos del combustible con el oxígeno del aire; en ella se desprenden gases y se produce calor.

El hogar debe permitir una combustión lo más perfecta posible y con el mínimo de pérdidas (es decir, la transformación de los materiales combustibles en calor), y no debería ceder más calor a la chimenea que el indispensable para un buen funcionamiento de la instalación. Los componentes incombustibles quedan como residuos sólidos o gaseiformes y serán evacuados en forma de ceniza o de gases de escape.

Componentes combustibles

En líneas generales, los elementos combustibles que entran a formar parte de los productos sólidos que reciben la denominación general de materias combustibles son: el carbono, el hidrógeno y el azufre; sus mutuas proporciones son muy variables según el tipo de combustible de que se trate.

En el caso de los combustibles gaseiformes, como el gas natural y el gas de ciudad, los componentes combustibles constan en su mayor parte de hidrocarburos de distintas estructuraciones y de hidrógeno.

Las reacciones químicas que se producen cuando la combustión es completa son las siguientes:

El carbono se combina con el oxígeno del aire para formar anhídrido carbónico (dióxido de carbono, también llamado ácido carbónico)



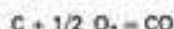
El hidrógeno se combina con el oxígeno del aire para formar vapor de agua



El azufre, a su vez, se combina con el oxígeno del aire y forma anhídrido sulfuroso:



Cuando la combustión del carbono es incompleta se produce, en cambio, óxido (monóxido) de carbono:



El óxido de carbono puede arder, formándose, como producto de su combustión, dióxido de carbono.



De los hidrocarburos ($C_n H_m$ = productos de la destilación del carbón) se forma, cuando la combustión es completa, dióxido de carbono (CO_2) y vapor de agua (H_2O), mientras que si es incompleta, se producen, según las circunstancias, óxido de carbono (CO), hollín (C) e hidrógeno libre (H_2), así como alquitranes. El monóxido de carbono que no ha podido arder formando dióxido significa una alta pérdida de calor, ya que al convertirse 1 kg de C en CO se producen aproximadamente 2500 kcal, y la transformación de 1 kg de C en CO_2 produce aproximadamente 8000 kcal.

Una combustión incompleta se produce por falta de oxígeno, su insuficiente mezcla con el material combustible o bien por temperaturas demasiado bajas en el hogar.

A base de estas fórmulas, cuando se conoce la composición química de los combustibles, es posible determinar el poder calorífico, la cantidad específica de gases y humos y la cantidad de oxígeno necesaria.

Poder calorífico

Es la cantidad de calor expresada en kcal que, a base de una combustión completa y sin pérdidas, puede obtenerse de 1 kg de combustible sólido o líquido o de 1 m³ de combustible gaseoso. Hay que distinguir entre poder calorífico superior e inferior. El superior supone que el agua producida en la combustión ha recuperado su estado líquido; en el inferior se supone que el agua queda en forma de vapor. La diferencia entre ambos valores corresponde al calor de vaporización del agua, que es de 600 kcal/kg a 0° C. En la práctica, el valor más corrientemente empleado es el del poder calorífico inferior H_i .

Oxígeno necesario

Se expresa en Nm³/kg (metros cúbicos normales de gases por kg de combustible quemado). El metro cúbico normal se refiere a los gases a 0° C y 760 mm de mercurio (presión a nivel del mar) y viene a ser un valor práctico para establecer comparaciones. Partiendo del mismo puede determinarse la cantidad de aire teóricamente necesaria para la combustión a base de que de 100 partes en volumen de aire, 21 son de oxígeno.

Aire necesario

Se deduce directamente en forma teórica del oxígeno necesario. En realidad, se necesita más aire del teóricamente indispensable.

El aire necesario y por lo tanto la magnitud del tiro se determina por los siguientes factores:

Estado de agregación del combustible

La leña, por ejemplo, no se suministra en piezas de igual tamaño, ni puede amontonarse de modo tan uniforme que la aportación de aire llegue homogéneamente a toda ella.

El desmoronamiento del material incandescente contribuye también a perjudicar el proceso de combustión. En el caso del carbón y del coque, el proceso de combustión se desarrolla más regular y racionalmente ya que estos materiales se suministran cribados con bastante exactitud.

En los combustibles líquidos la combustión ya es mejor por el más favorable estado de agregación, de modo que la cantidad de aire en exceso puede reducirse.

En teoría, el gas puede mezclarse con el oxígeno o con el aire necesario en una proporción exacta, de modo que en este tipo de combustión se necesita sólo una pequeña cantidad de aire en exceso por motivos higiénicos.

Rendimiento del hogar

La construcción de las cámaras de combustión de hornos y calderas de calefacción que funcionan con combustibles sólidos ha sido mejorada considerablemente en los últimos años. Un criterio importante es la dimensión de la instalación y su forma de funcionamiento; puede tratarse, por ejemplo, del manejo individual de estufas o pequeñas calefacciones centrales, en contraposición al servicio controlado y dirigido de unas grandes instalaciones de calefacción.

Poder calorífico Hu de distintos combustibles (valor medio)

Combustible: sólido	kcal/kg	Líquido	kcal/l	Gaseoso	kcal/m ³ n
Leña, secada al aire	3500	Benceno	9600	Gas pobre	2600
Briquetas de lignito	4800	Bencina	10200	Gas de gasógeno	1200
Hulla	6900	Fuel-oil El	10200 ¹	Gas de ciudad	3870
	7500	El	8600	Metano	8600
Antracita	7800	S	9600 ¹	Propano	22350
Coque	6900	Propano	11070 ¹	Butano	29500
		Butano	10920 ¹	Gas natural	7600

En la práctica se suman a la cantidad de aire necesario las siguientes cantidades suplementarias:

Para estufas individuales, tanto si funcionan con leña, como con fuel-oil o con gas.

una cantidad de aire en exceso de	aprox. 100 %
Para pequeñas calefacciones centrales, que funcionan con carbón o coque	aprox. 50 %
Para pequeñas calefacciones que funcionan con fuel-oil	aprox. 40 %
Para pequeñas calefacciones que funcionan con gas	aprox. 20 %

En el caso de grandes instalaciones de calefacción, que hoy día funcionan casi exclusivamente con fuel-oil o gas, se reduce, para mejorar el tiro, la cantidad de aire en exceso a un 20 — 10 %, y en casos extremos incluso a un 5 %.

Como los combustibles coque, fuel-oil y gas no requieren cantidades de aire muy distintas, dado el caso, una instalación de calefacción podrá transformarse de combustible sólido a fuel-oil o gas, sin que corra peligro la seguridad en el funcionamiento.

Componentes no combustibles

En toda materia combustible en bruto varían los valores anteriormente mencionados (poder calorífico, oxígeno y aire necesarios) según la proporción en que entran en ella los componentes incombustibles y los combustibles. Los componentes no combustibles son principalmente cenizas, agua y oxígeno con pequeñas cantidades de nitrógeno.

Contenido de cenizas

Se reduce al aumentar la aptitud combustible (y, por lo tanto, el poder calorífico) del material. Las cenizas ácidas, en unión con el agua, atacan la obra de fábrica básica.

Contenido de agua

En parte se halla en forma de humedad higroscópica o específica, y en parte en forma de humedad sensible o externa; al aumentar su contenido reduce progresivamente la combustibilidad y el poder calorífico. El calor necesario para la evaporación del agua tiene que ser suministrado por los elementos combustibles. El vapor de agua producido viene a incrementar el que contiene el humo y con ello el peligro de condensaciones en los conductos de humos, punto de partida de la mayor parte de los daños en las instalaciones. Por ejemplo, el anhídrido sulfuroso que se produce por la combustión del azufre puede formar con el agua de las condensaciones ácido sulfúrico, cuya acción sobre los materiales empleados en la construcción del hogar y de la chimenea los va destruyendo progresivamente. Causas de esta destrucción: la conversión de la cal contenida en el mortero y en los materiales pétreos, en yeso (pasando de carbonato cálcico a sulfato cálcico); el aumento de volumen que esta reacción trae consigo produce la expansión y desmoronamiento del material. Si no se produce ninguna condensación y los gases se conservan secos son inofensivos para la chimenea.

Gases del humo

Según se indica en las consideraciones anteriores, los gases del humo procedentes de materias combustibles sólidas están formados por una mezcla de gases secos, vapor de agua y aire. Los gases de combustión significan en la atmósfera además de una contaminación del aire una reducción de la insolación. No sólo el hombre, los animales y la vegetación, sino también los metales, los materiales de construcción calizos y los productos textiles sufren bajo los efectos de estos gases, que contienen cada vez más ácidos sulfurosos.

Cantidad específica de gases del humo

Se expresa, igual que la cantidad de oxígeno necesario, en Nm³/kg. Al variar la presión atmosférica y la densidad, también varía la cantidad de oxígeno por m³ de aire, por lo tanto si varía la cantidad de aire necesario, también lo hará la cantidad de gases del humo.

Gases secos

Cuando la combustión es completa, estos gases son el ácido

carbónico y el anhídrido sulfuroso. La presencia de óxido de carbono, hidrógeno e hidrocarburos se debe siempre a una combustión incompleta y significa una importante pérdida de calor químicamente combinado. Los hidrocarburos presentes en los gases del humo son además causa de explosiones e incendios en las chimeneas, a causa de revestirse de alquitranes los conductos de humos.

Vapor de agua

Procede en parte de la combustión del hidrógeno y en parte de la vaporización del agua contenida en el combustible. Tan pronto como los gases del humo en su marcha hacia la chimenea se enfrían hasta alcanzar su punto de rocío, se condensa el vapor de agua, depositándose en forma de agua líquida en la superficie interna de las paredes de la chimenea y origina los temibles efectos de corrosión antes mencionados. El punto máximo de rocío varía según la composición de la mezcla de gases del humo y por lo tanto según la naturaleza del combustible. Así, p. ej., el punto de rocío es, aproximadamente, para los gases de la combustión.

de la leña y la turba	60° C
de los aceites combustibles	50° C
de las briquetas de lignito	45° C
de las hullas	40° C
de los coques de gas y de fragua	18° C

El aire contenido en el humo, si las chimeneas no permiten infiltraciones, corresponde al exceso de aire que entra en el hogar. El aire que después de la combustión se introduce por rendijas o por cierres poco herméticos, en los conductos de humos, es designado con la denominación de "aire falso". Su efecto es muy perjudicial; no sólo incrementa el volumen de gases del humo, sino que rebaja su temperatura y con ella su fuerza ascensional.

Proceso físico

El transcurso regulado del proceso de combustión, la aportación de oxígeno y la evacuación de los gases por la chimenea se efectúan siguiendo unas leyes físicas.

Corriente gaseosa

La velocidad de la corriente y la sección de paso determinan la cantidad de gases que pueden circular en una hora por una chimenea.

Se produce una corriente gaseosa siempre que en dos puntos distintos existe diferencia de presión, que al tratar de nivelarse, ocasiona un movimiento de los gases. Por esta razón, la velocidad de corriente depende de la magnitud de dicha diferencia de presiones. Inversamente, toda corriente gaseosa origina una diferencia de presiones, que varía con la velocidad de la misma. En las chimeneas, la circulación de los gases se produce por la depresión debida, en los casos normales, al tiro de los gases del humo, y eventualmente también a la acción del viento; en casos excepcionales se produce artificialmente por medio de ventiladores o máquinas soplantes. Si la chimenea es suficientemente hermética y el aire únicamente puede entrar a través de las instalaciones reguladas del hogar, este aire es el que alimenta con su oxígeno el proceso de la combustión.

Según el principio de Arquímedes, la columna gaseosa experimenta en la chimenea un empuje hacia arriba igual al peso del aire desalojado. Como todos los gases tienen la propiedad de dilatarse al crecer la temperatura o al disminuir la presión, haciéndose específicamente más ligeros, según sea la diferencia de temperaturas entre los gases del humo y el aire exterior pueden producirse en la chimenea diferentes procesos de circulación o de corriente de los gases. Si el aire exterior y los gases del humo tienen igual peso específico, no se produce desplazamiento alguno. Si el humo tiene mayor densidad que el aire, descenderá por la chimenea y atravesando el hogar invadirá el local. Este estado de cosas puede producirse especialmente en la estación calurosa, porque a igualdad de temperatura los humos pueden llegar a ser hasta un 10% más pesados que el aire.

La diferencia de presión que se produce crece al aumentar la altura de la columna gaseosa y al crecer la diferencia entre los pesos específicos (diferencia de temperaturas) entre el aire exterior y los gases.

La altura eficaz de la columna gaseosa se calcula desde la parrilla del hogar hasta la desembocadura de la chimenea, aun cuando los gases del humo pueden seguir subiendo una vez fuera de la chimenea.

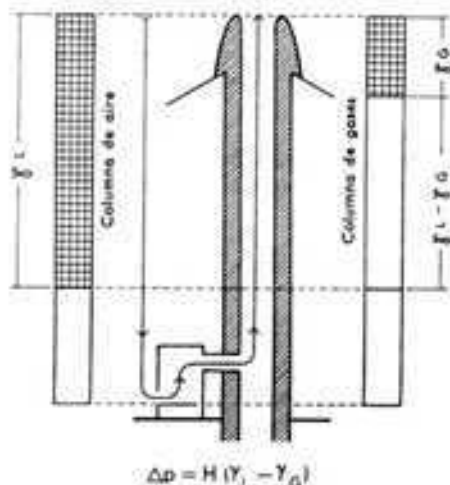
Pérdidas en la corriente de gases

La depresión que reina al pie de la columna de humo desgraciadamente no puede aprovecharse en su altura total como presión dinámica para producir la velocidad de circulación del mismo, ya que una parte importante de la misma se pierde como presión estática a causa del rozamiento y otras resistencias opuestas a la circulación. No solamente la depresión va disminuyendo a medida que los gases suben por la chimenea, aun cuando se mantuviese constante la temperatura de los mismos, sino que el humo va enfriándose al subir y se vuelve, por consiguiente, más pesado (y más lento), sin contar que, además, se encuentra con resistencias que retardan su circulación.

La altura de la presión dinámica (altura de velocidad) se obtiene restando de la altura de la depresión efectiva las alturas correspondientes a las pérdidas debidas a las resistencias ofrecidas a la corriente de gases y a la resistencia en el hogar.

A base de la presión dinámica restante se puede determinar la velocidad de la corriente de gases que, junto con la sección, determina la capacidad efectiva de tiro de la chimenea.

Comparando esa capacidad efectiva de tiro con la capacidad aparente que sería teóricamente posible si se dispusiera de la depresión total, se obtendrá el grado de rendimiento o de eficacia de la chimenea, que caracteriza el valor de la instalación tanto desde el punto de vista térmico como en el aspecto técnico de la circulación de los gases. Aumenta al reducirse las pérdidas de presión y depende, por consiguiente, de la construcción de la chimenea. A igualdad de condiciones de instalación y de funcionamiento ofrece un término de comparación utilizable de los diferentes sistemas de chimeneas.



Ecuación general de la diferencia de presión Δp [kg/m²] en función de la altura de la chimenea H [m], el peso específico del aire exterior γ_L [kg/m³] y del peso específico del humo o de los gases de escape

$$\Delta p = H (\gamma_L - \gamma_G)$$

Altura total de la depresión en función del peso específico del humo a la temperatura de entrada en la chimenea γ_{G0} y del peso específico del aire exterior:

$$\Delta p_t = H (\gamma_L - \gamma_{G0})$$

Altura total de la depresión en función del peso específico del humo a la temperatura media del mismo en la chimenea γ_{Gm} y del peso específico del aire exterior. Temperatura media del humo igual a la semisuma de las temperaturas del mismo a su entrada en la chimenea y a su salida de ésta:

$$T_m = \frac{T_G + T_L}{2}$$

$$P_D = P_{ef} - (P_F + P_R + P_E)$$

Presión dinámica P_D que produce la velocidad de la corriente (altura de velocidad).

Presión estática ($P_F + P_R + P_E$), siendo:

P_F la pérdida de presión a consecuencia de las resistencias en el hogar,

P_R la pérdida de presión a consecuencia de las resistencias producidas por el rozamiento,

P_E la pérdida de presión a consecuencia de otras resistencias aisladas.

Enfriamiento de los gases

La influencia de las infiltraciones de "aire falso" puede determinarse con toda exactitud cuando se trata de instalaciones existentes, pero sólo es posible preverla de manera algo aproximada en los proyectos, porque depende en gran parte de la ejecución de los mismos. Puede, en cambio, determinarse teóricamente con bastante seguridad el descenso de la temperatura del humo. Esta determinación se efectúa a base de la cantidad de gases que circula, de su temperatura de entrada y de la protección térmica que ofrecen las paredes de la chimenea. Para una determinada longitud de tubo y una sección constante, el descenso o caída de temperatura crece al disminuir la cantidad de gases y al aumentar la permeabilidad térmica.

La transmisión, permeabilidad o fuga del calor por las paredes de la chimenea comprende: el paso del calor de los gases del humo a la superficie interior de la pared de la chimenea, la conducción de ese calor a través de las materias de dicha pared, pasando de la cara interior a la cara exterior de la misma, y paso o intercambio del calor de la superficie exterior de la pared al aire ambiente.

El paso o intercambio de calor se efectúa parte por convección (arrastre o transporte del calor) y parte por radiación. Como los gases sólo irradian calor a base de grandes densidades y altas temperaturas (p. ej., por encima de 400° C), sólo es necesario ordinariamente tener en cuenta, para la transmisión del calor de los gases del humo por las paredes de la chimenea, la fracción correspondiente a la convección. Esta es mayor en el caso de paredes de superficie áspera que en el caso de superficie lisa, y también es mayor para corrientes turbulentas que para corrientes laminares y asimismo es mayor en corrientes forzadas (viento, ventiladores) que con el tiro natural.

El intercambio de calor entre los gases del humo y el aire exterior no tiene lugar con la misma intensidad en todos los puntos de la chimenea; sin embargo, cuando sólo se persigue una vigilancia o control se suele hacer referencia a la pérdida media por metro de longitud de tubo.

Crece al aumentar las dimensiones de la superficie interior de la chimenea y tiene que alimentarse a expensas del calor de los gases que por ella circulan. Esto explica que, al igual temperatura de entrada de los gases del humo, una gran masa de gases ve mermado su contenido de calor, que es considerable, en una cantidad que representa un tanto por ciento mucho menor que cuando la masa de gases es más pequeña; en este último caso, la cantidad de calor de los gases es menos importante y la pérdida producida la afecta de tal manera que el calor residual es ya insuficiente para la producción de la depresión necesaria. En consecuencia, y aun cuando la chimenea vaya poco cargada o sea de dimensiones excesivas, como ocurre a menudo en la construcción de chimeneas domésticas, los gases del humo a los pocos metros de altura se han enfriado tanto que no sólo se encuentran por debajo del punto de rocío de la mezcla, sino que incluso a veces vuelven a descender por la chimenea y penetran de nuevo en el local a que está conectada. Según indican los estudios comparativos, en las chimeneas poco cargadas la depresión crece con la altura dentro de muy estrechos límites. Aparte de que cuando ésta es excesiva perjudica más de lo que beneficia. Por consiguiente, todas las chimeneas deben calcularse de manera que el contenido de calor de los gases se halle en una relación lo más favorable posible con la superficie del tubo

que los contiene. Se escoge, para ello, una sección de chimenea que no sea mayor que la que realmente exija la carga de humo. Estas consideraciones también inclinan la elección a favor de la chimenea de sección circular cuyo perímetro (que corresponde a la superficie interior de la chimenea) viene a ser una quinta parte menor que el que corresponde a una sección cuadrada equivalente desde el punto de vista de la técnica de la corriente de gases. Las secciones rectangulares resultan aún más desfavorables.

Resistencias opuestas a la circulación de los gases

Las resistencias opuestas a la circulación son de diversa magnitud, según sean las características de la corriente gaseosa. El que ésta sea laminar (ordenada) o turbulenta (desordenada) depende de la naturaleza de la sección y de las dimensiones de la misma en el tubo por donde circulan los gases, así como de la velocidad media de circulación y de la viscosidad cinemática de los gases. La corriente laminar puede producirse en chimeneas poco cargadas y en los tubos de estufas de mayólica de grandes dimensiones; pero en la práctica casi siempre se produce una corriente turbulenta en los conductos de humos. El paso del régimen de corriente laminar al de corriente turbulenta se produce al alcanzar la "velocidad crítica".

El tipo de corriente en los gases o humos reviste gran importancia para la transmisión del calor de los mismos a la superficie interior de la chimenea.

Según su modo de actuar, hay que distinguir, en las resistencias ofrecidas al paso de la corriente gaseosa, las resistencias de rozamiento y las resistencias aisladas.

Resistencias aisladas

Son las ocasionadas por los cambios de sección en los conductos y las variaciones bruscas de dirección de los mismos. Producen remolinos en la corriente y dan lugar a pérdidas de presión. El valor de éstas se expresa en función de la altura de velocidad (presión dinámica). Los diferentes valores de las resistencias aisladas se consignan en la tabla siguiente, expresándolos por el coeficiente de la presión dinámica:

Resistencias aisladas de los conductos de aire y de gases		
Clase		Coefficiente
Codo brusco en ángulo recto		1,5
Codo brusco en ángulo recto, pero con defletores de plancha (según tipo)		0,2-0,8
Curvas redondeadas (radio de curva = 2 diámetros del tubo)		0,1
Ramales, en forma de T, corriente en dirección transversal		3,0
Ramales: bifurcaciones u horquillas		1,0
Embocaduras o desembocaduras con bordes agudos en los conductos y también aberturas de aspiración o inyección		1,0
Tamiz o enrejado, según sea la relación entre el paso libre y la sección total		2-16

Como la pérdida de presión debida a las resistencias aisladas también crece con el cuadrado de la velocidad de la corriente, su disminución ofrece una extraordinaria importancia. Así, por ejemplo, en los indispensables cambios de dirección de los conductos y chimeneas nunca debería hacerse como se acostumbra, acodándolos bruscamente, sino según un arco redondeado. Deberían evitarse todo lo posible las sinuosidades y desviaciones en las chimeneas, puesto que sólo es eficaz para el tiro la componente vertical y además obligan con frecuencia a la colocación de soportes o apoyos adicionales.

Como resistencias aisladas que influyen en la velocidad de ascensión deben considerarse finalmente también la composición de las capas y la altura de apilado de los materiales combustibles sólidos, así como la resistencia del emparrillado.

Resistencias de rozamiento

El rozamiento de los gases contra las paredes de los conductos y dentro de la masa de la propia corriente gaseosa retarda la circu-

lación de ésta y se traduce en una pérdida de presión. La magnitud e importancia de las resistencias de rozamiento dependen de la aspereza o rugosidad de las paredes y de la forma de la sección, y aumentan con la longitud del tubo.

Mientras se trata de corrientes de tipo laminar, la rugosidad de las paredes carece de importancia y las pérdidas de presión que se producen son proporcionales a la velocidad de la corriente. Cuando el régimen de la corriente es del tipo turbulento, las pérdidas de presión en los tubos lisos crecen con el cuadrado de la velocidad. En los tubos de superficie áspera o rugosa, las pérdidas de presión son mayores que en los tubos lisos, y en las chimeneas que tienen adherencias de hollín pueden llegar hasta el doble.

También es importante la forma de la sección de los conductos. Las formas rectangulares no son favorables; y cuanto más aplastadas, peor. La mejor solución son las secciones cuadradas y sobre todo las secciones circulares de chimeneas. El tamaño de las secciones cuadradas equivale aproximadamente al de las secciones circulares cuando el lado del cuadrado es igual al diámetro.

Condicionantes de la instalación de calefacción

Sólo una vez se sabe el rendimiento térmico útil que se precisa de la instalación y el tipo de combustible pueden coordinarse la cantidad de gases del humo, la altura y la sección, así como la constitución de las paredes de la chimenea.

Calefacción individual

Un hogar en cada local a calentar significa no sólo mayores costes de servicio, sino también un mayor coste de instalación para la suma de todos los hogares individuales, además de una mayor necesidad de superficie. Si a pesar de todo esto deben realizarse hogares individuales, se hará únicamente con las siguientes condiciones: alto aprovechamiento del calor, fácil regulación, servicio lo más simple posible y sin desperdicios y emisión de calor uniforme, sin altas temperaturas superficiales.

Mientras, bajo estas condiciones, la estufa individual ha ido siendo reemplazada cada vez más por la calefacción central, la chimenea-hogar pudo conservarse como elemento decorativo también en las construcciones modernas. El efecto calorífico de una chimenea-hogar se basa casi exclusivamente en la radiación, lo que explica el rendimiento extremadamente bajo, de sólo 10-30%. El conducto de humo de la chimenea-hogar debería situarse directamente encima o detrás de la cámara de combustión. El poder calorífico puede fijarse en 4000 kcal/h por m² de abertura del local. La abertura de la chimenea-hogar, hallada por cálculo, habría de servir para determinar la sección necesaria del conducto de humos.

Una insuficiente adecuación de las dimensiones de la abertura del hogar a las de la sección de la chimenea puede ocasionar, especialmente al principio del proceso de combustión, que el humo salga hacia el interior del local.

Para aportar el aire necesario para las estufas individuales generalmente ya bastan los resquicios de las ventanas y puertas. Mediante este proceso se evacua simultáneamente el aire gastado y por la depresión creada se atrae aire fresco y seco: una conocida ventaja en el caso de los antiguos hogares individuales, así como una desventaja destacada para los locales con calefacción de agua caliente y con insuficiente ventilación a través de las ventanas. La regulación del suministro de aire a la cámara de combustión, tanto en el momento de iniciarse la combustión como luego para aumentarla o reducirla según la temperatura que se quiere conseguir, se efectuaba a mano, abriendo más o menos la válvula de aire. Aportando poco aire, el proceso de combustión se ponía lentamente en marcha y luego se mantenía constante. Durante el tiempo de transición (pequeña llama y moderadas temperaturas de los gases del humo) se producía al mismo tiempo un enfriamiento de las paredes de la chimenea y una fuerte reducción del impulso ascensional.

Los aparatos de calefacción individuales se fabrican tanto para combustibles sólidos como para gas, fuel-oil y electricidad. Excluyendo la electricidad, todos estos tipos de energía requieren la evacuación de los gases de humo hacia el exterior, por lo que es necesario distinguir entre estufas que funcionan con combustibles sólidos, con líquidos y con gases. Para las estufas de aceite se emplean preferentemente los llamados quemadores gasificadores. El fuel, que arde sin residuos, se introduce en una cubeta de hierro y luego se vaporiza y se gasifica bajo los efectos de las llamas. En comparación con los gases del humo de los combustibles sólidos, el contenido de vapor de agua en el humo de los aceites y gases empleados es muy alto y por lo tanto debe tenerse muy en cuenta la posible aparición de agua condensada en la constitución de la chimenea.

Calefacción colectiva

En el caso de la calefacción colectiva se caldea un número más o menos grande de locales mediante un solo hogar (muchas veces con varias calderas). El calor se produce según su magnitud o en un cuarto central de calefacción, situado, por ejemplo, en la planta sótano o en la última planta, o bien fuera del edificio; y luego será suministrado mediante los portadores de calor (aire, agua, vapor) a los locales directamente o a través de radiadores. La calefacción por aire caliente de varios locales en una o dos plantas mediante una sola estufa reduce los costes de servicio y proporciona a hogar y chimenea una mejor compensación de carga que varias estufas individuales.

La instalación de una calefacción por agua caliente que caldea toda una planta de una casa de viviendas es en total más cara que una instalación central de agua caliente para todo el edificio. Los conductos horizontales y la instalación de varias pequeñas calderas cuesta más que una calefacción central por agua caliente que principalmente tiene conductos verticales. Sin embargo, por la capacidad de regulación individual se prefieren a veces en pequeñas construcciones las calefacciones de pisos, máxime si por existir suministro central de gas o de fuel-oil puede prescindirse de cualquier tipo de trabajos de mantenimiento en las viviendas.

Igual que en caso de las estufas individuales, en las instalaciones de calefacción central con calderas para combustibles sólidos el aire (oxígeno) necesario para iniciar y mantener el proceso de combustión es aspirado de la habitación a través de una abertura en la cámara de combustión. Una chimenea con buen aislamiento térmico y acumulación de calor es una clara ventaja para un proceso de combustión (con combustibles sólidos) que se inicia lentamente y luego se mantiene constante. Su calentamiento tiene lugar lento y uniformemente. En cambio, el proceso de combustión en grandes calderas de gas o de fuel-oil con soplador es muy distinto que con combustibles sólidos. Antes de que se inicie el proceso de combustión, un ventilador mecánico empuja aire hacia la chimenea, pasando por la cámara de combustión. Sólo cuando se ha efectuado la atomización o turbulencia del combustible con el aire tiene lugar el encendido, y con ello el comienzo repentino del proceso de combustión. La temperatura de los gases del humo sube por lo tanto muy rápidamente. Es la misma tanto en invierno como en verano. Debido a la mayor diferencia de temperatura respecto al aire exterior en los meses de verano, la ascensión de los gases del humo es más favorable que en el caso de combustibles sólidos. Hoy, en general, la temperatura de la caldera se regula automáticamente mediante termostatos. Una vez alcanzada la temperatura correspondiente de caldera, el proceso de combustión se detiene, y sólo se reactiva cuando la temperatura baja. Por lo tanto se trata de un proceso de combustión intermitente. Este tipo de funcionamiento de la caldera repercute lógicamente en las solicitudes a las que está sometida la chimenea.

En los hogares que funcionan con fuel-oil y gas, el proceso de combustión se inicia repentinamente y con plena fuerza. Las paredes de la chimenea se calientan por lo tanto muy rápidamente por los gases del humo que penetran a 250-300°. Durante los intervalos de interrupción las paredes vuelven a enfriarse rápidamente. Los gases del humo en las calefacciones con gas,

pero también las de fuel-oil, contienen una gran cantidad de vapor de agua, que puede provocar una imbibición de las paredes de la chimenea. En el caso de la calefacción de fuel-oil, este agua absorbe además hidrocarburos no quemados y se combina con el óxido de azufre o con el ácido sulfuroso respectivamente. De este modo puede producirse una deposición de hollín alquitranado.

Normalmente las instalaciones de calefacción central se sitúan en la planta sótano. El combustible, hoy día fuel-oil principalmente, se deposita en las cercanías.

En principio, sin embargo, las centrales de calefacción podrían disponerse en cualquier planta, sobre todo en los edificios altos, en donde ya han sido situadas muchas veces sobre la cubierta o en las plantas intermedias. De este modo se ahorran los costes y la superficie que requiere la chimenea que atraviesa todo el edificio, y además se evitan los problemas de un impulso ascensional demasiado débil de los gases del humo. Prescindiendo de los costes de transporte, la ubicación del depósito de fuel-oil sobre la cubierta es una solución bastante arriesgada, como ha sido comprobado en diversas ocasiones. El almacenaje de fuel-oil en el sótano, con una bomba de elevación, parece ser una mejor solución, aunque tampoco pueden excluirse aquí posibles fallos en el funcionamiento.

En las calefacciones que funcionan con gas natural pueden evitarse de igual modo los problemas de chimeneas y bombas. En la construcción de edificios altos es muy corriente situar toda la instalación de calefacción en la planta buhardilla, con un buen aislamiento acústico. Aparte de los costes de transporte y de almacenamiento del combustible, se ahorra la instalación, el espacio necesario y el mantenimiento de una chimenea que atravesase todas las plantas. En cambio, basta una altura de chimenea que se eleve unos pocos metros sobre el nivel del quemador.

Ejecución de una chimenea

El buen funcionamiento y la economía de un sistema de calefacción requieren una perfecta complementación entre el hogar de combustión y la chimenea. El planeamiento de instalaciones mayores es trabajo de los ingenieros especialistas. Para la ejecución de estas instalaciones deben seguirse las siguientes normas:

- DIN 4705 Chimeneas para calefacciones centrales
Cálculo de las luces.
- DIN 1056 Hoja 1. Chimeneas exentas
Fundamentos para su cálculo y ejecución.

Los problemas de la calefacción con una sola caldera son abordados por los planeadores, de manera extraordinariamente superficial, hasta el punto de que la regla arbitraria: "una chimenea de 20x20 tira siempre!", cuenta con muchos adeptos. En los años pasados, sin embargo, se ha estudiado mucho el sistema de caldera única, mejorándose su rendimiento, de manera que se liberan más calorías para un apropiado caldeoamiento del local y se mantienen las pérdidas de la chimenea lo más bajas posible. Estos estudios han alcanzado, sin embargo, un tope, un límite consistente en que al pretender rendimientos más altos que el 85% se ocasionan dificultades en la salida de gases porque a la chimenea no llega suficiente cantidad de calor para cumplir su cometido. El problema de la máxima eficacia y las exigencias de funcionamiento en la chimenea llevaron a probar otros combustibles, aparte de los hasta entonces comunes: madera y carbón. Por otra parte, no se dominaba tan a fondo como ahora el proceso de la combustión, sobre todo en caldera única.

Los aparatos quemaban con un rendimiento del 50 al 60% y la temperatura de salida de gases, que —junto con el contenido en CO₂ del gas que se elimina— da una idea esencial de dicho rendimiento, era muy alta. Hoy en día, las normas sobre aparatos prescriben un rendimiento del 70% y advierten que deben evitarse los conductos de caldera demasiado largos y las superficies de caldeo suplementarias o adicionales. Los aparatos actuales

ofrecen rendimientos entre 80 y 90%, por lo tanto sólo se pierde por la chimenea entre un 10 y un 20% del calor producido, justo para que mediante el ascenso se vaya manteniendo por abajo la baja presión que provoque la entrada de aire nuevo necesario para la combustión, y se empuje hacia arriba a los gases a expulsar. Esto pone en claro que las calderas modernas, aunque son más económicas, presentan mayores exigencias para las chimeneas que las calderas antiguas, cuyos gases de expulsión tenían temperaturas tan altas que podían salir aun con una chimenea defectuosa, de donde se demuestra que aquella regla empírica antes citada ya no puede formularse.

Las prescripciones esenciales para la construcción de chimeneas en casas son:

- Norma DIN 18160. Hoja 1 "Calderas y hogares".
Chimeneas domésticas, cálculo y ejecución.
Hoja 2 "Calderas y hogares".
Puntos de unión.
Hoja 5 "Calderas y hogares".
Instrucciones para la limpieza de chimeneas.

- DIN 4705 Chimeneas para calefacciones centrales
DIN 1053 Chimeneas de obra de fábrica
DIN 1056/57 Chimeneas exentas
DIN 1058 Chimeneas con revestimiento ácido
DIN 1046 Chimeneas de hormigón armado
DIN 18150 Chimeneas de piezas moldeadas
(Potencia calorífica nominal 40 000 kcal/h, para calderas de gas 75 000 kcal/h máx.)

- Chimeneas sometidas a permisos especiales
(Construcción de tres hojas)
Prescripciones sobre cuartos de calefacción de la Landesbauordnung

Tipo de edificio	Calefacciones por planta, central, por bloque con fuel-oil, coque, gas ciudad, gas natural Calefacción a distancia con carbón, fuel, gas natural	Calefacción por planta con corriente de baja intensidad
Casa plurifamiliar	100	80
Casas unifamiliares		
en fila	110	85
en el extremo de la fila		
en fila desplazada más de 1/3	120	90
casa doble como casa aislada	130	95

Ejemplo

Longitud del edificio 50,0 m
Profundidad del edificio 9,0 m
3 plantas a 2,75 m de altura cada una
Superficie total de las ventanas simples 170,0 m²
 $Q = \Sigma w \times F = 50,0 \times 9,0 (45 + 15) + 2 \times (50,0 + 9,0) \times 3 \times 2,75 \times 55 + 170,0 \times 200 = 27\,000 + 53\,500 + 34\,000 = 114\,500 \text{ kcal/h}$

Pérdidas de calor (valor medio) w en kcal/m²h

Forjado de buhardilla	45	Ventanas y puertas exteriores (sumar con pared exterior)	
Cubierta plana	85	Ventana simple	200
Forjado de planta baja	15	Ventana de dos hojas	95
Pared exterior		Ventana doble	75
Aberturas incluidas	55	Muro cortafuegos	15

Los citados valores de w se basan en $t_a = -15^\circ \text{C}$ (zona climática III), zona de fuertes vientos, situación aislada, aislamiento térmico según DIN 4108, temperatura ambiente $+20^\circ \text{C}$.

Dimensionado

Para el cálculo de las dimensiones de las chimeneas en los edificios se empieza determinando el calor necesario para cada uno de los locales que hay que calentar. La cantidad de calor que en un local se necesita depende de sus dimensiones y de su situación, así como de la temperatura que se desea reine en su interior; y también de las temperaturas más bajas que lo rodeen y de la protección o aislamiento térmico que le proporcionen las paredes y techos que lo cierran. El calor necesario se determina a base del cálculo de las pérdidas térmicas (DIN 4701) y proporciona el dato relativo a la potencia o capacidad de producción de calor útil que efectivamente se necesita para la calefacción del local; en ese dato se basa el cálculo de las dimensiones que hay que dar al hogar y a la chimenea. El cálculo exacto del calor necesario, tal como se efectúa, por ejemplo, en las instalaciones de calefacción central, es de la incumbencia del ingeniero especialista en calefacción. Aquí bastan algunas indicaciones. Relativamente precisas son las apreciaciones que parten de la cantidad de calor que deja escapar el local a través de los elementos constructivos que lo envuelven. Según este método se calcula, por ejemplo, el calor necesario para los edificios de viviendas con calefacción central con la fórmula

$$Q = \Sigma w \cdot F$$

en donde

Q es el calor necesario en un edificio, en kcal/h
 w son las pérdidas de calor por transmisión de los elementos constructivos correspondientes en kcal/m²h
 F es la superficie del elemento constructivo, en m²

Valores máximos de calor específico necesario en kcal/hm² de superficie útil (incluyendo miradores y terrazas) en la Construcción de Viviendas sociales (extraído del Wohnungsbauförderungsbestimmungen des Landes Nordrhein-Westfalen del 30.1.1970)

Altura de las chimeneas

La altura de las chimeneas al construir las casas viene ya fijada por la altura de los edificios; sin embargo, según la clase de hogar de que se trata es necesario observar ciertas alturas mínimas. Desde la parrilla del hogar hasta la boca superior de la chimenea es necesario que haya:

para grandes calderas de calefacción central más de 16 m
para calderas de calefacción central de tamaño medio de 12 a 16 m
para pequeñas calderas de calefacción central de 10 a 12 m
para estufas con conducto de humos horizontal de 6 a 8 m
Altura mínima, según la norma DIN 18260 4,5 m

La altura mínima viene determinada por la resistencia del hogar o caldera ("tiro necesario", en la mayoría de los casos, de 0,5 a 4 mm de columna de agua), la clase de combustible y la importancia de las superficies de caldeo, de manera que, según las circunstancias, hay también calderas pequeñas que requieren chimeneas altas.

Las chimeneas domésticas "tiran" mejor cuando están construidas rectas y verticales hasta llegar al desván y allí salen al exterior en la misma cumbrera de la cubierta o cerca de ella. En general, es necesario que sobresalgan unos 50 cm por encima de la cumbrera y de los edificios inmediatos. Además, la cabeza de la chimenea en su sección superior no debe sobresalir de la superficie de la cubierta más de 1,50 m; de lo contrario, hay que sujetarla con vientos o anclajes. Si una chimenea queda por debajo de la cumbrera de la cubierta, su boca tiene que estar por lo menos a 1,20 m de la superficie de dicha cubierta midiendo esta distancia en sentido perpendicular a la misma. Tales chimeneas deben procurar evitarse al disponer la planta de una casa, porque es frecuente que tiren mal por la perturbación del viento. Cuando no es posible evitarlas debe procurarse siempre colocarlas en la parte por donde vienen los vientos dominantes en la localidad. Los remates de las chimeneas sobre cubiertas planas

o de escasa pendiente tienen que sobresalir al menos 1,50 m por encima de la cubierta, a causa de los remolinos que pueden producirse.

Es necesario ceñirse a esas ordenaciones constructivas, relativas a las alturas mínimas exigidas, y acomodar a ellas las dimensiones al proceder a su cálculo. Desde luego, la capacidad de servicio de una chimenea, para una determinada temperatura media de los gases, depende tanto de su altura como de su sección; sin embargo, suele ser, en todos los casos, más sencillo aumentar la sección que la altura. Así, por ejemplo, una chimenea de 200 cm² de sección que con una altura eficaz de 14 m basta para un hogar de 25 000 kcal/h, debería aumentarse otros 14 m para que pudiera servir para una producción de calor de 35 000 kcal/h, mientras que bastaría aumentar su sección 80 cm² para lograr el mismo servicio, conservando la antigua altura. Este ejemplo demuestra al mismo tiempo lo poco razonable que es aumentar un poco la altura de una chimenea a fin de que "tire" mejor. El aumento de altura de las chimeneas sólo puede ofrecer interés cuando los gases del humo conservan todavía en el punto correspondiente una temperatura suficientemente elevada y las paredes de la chimenea les ofrecen la necesaria protección térmica. De lo contrario, la temperatura de los gases desciende rápidamente y la resistencia por rozamiento tiende a aumentar considerablemente. Sin embargo, si una chimenea es mucho más baja de lo que requiere el hogar anexo a ella, no queda otro recurso que disminuir la cantidad de fuego o elevar la temperatura de los gases a la entrada, o mejor aún, aumentar artificialmente la depresión de la chimenea.

En los edificios de varias plantas, la altura eficaz de las chimeneas de los hogares individuales es diferente para cada piso. La depresión disponible suele ser demasiado elevada en los pisos inferiores, en tanto que resulta suficiente o demasiado escasa en los superiores, siendo en cambio igual el consumo de calor en todos los pisos; es, pues, necesario instalar estufas o fogones que funcionen bien dentro de un amplio margen de depresión y con la máxima economía posible. Una depresión o tiro demasiado fuerte puede contrarrestarse tratando de rebajar la temperatura de entrada de los gases, alargando los conductos de humos de los hogares o los tubos de enlace con la chimenea, para producir un sensible enfriamiento de los gases. Cuando sólo hay un hogar conectado a la chimenea (caldera de calefacción central) puede combatirse una depresión demasiado fuerte (exceso de tiro) mediante una cuidadosa admisión de aire frío, producida por válvulas o compuertas de regulación automática, que la reducen hasta la medida deseada. Cuando el tiro o depresión disponible es insuficiente, puede mejorarse mediante una elevación de la temperatura del humo. Muchas veces basta ya con hacer trabajar la chimenea a plena carga, de manera que siendo mayor la cantidad de gases se disponga de una mayor cantidad de calor para producir su movimiento ascensional. Un sistema muy sencillo es empezar por suprimir o hacer lo más corto posible el tubo de conexión del hogar con la chimenea. Muchas veces da también buen resultado el empleo de otra clase de combustible. Sin embargo, resulta más económico en todos los casos mejorar la protección térmica de las paredes de la chimenea y escoger una sección que posea la forma y tamaño más adecuados.

Sección de las chimeneas

Una vez fijadas la altura de la chimenea y la cantidad o masa de gases que debe evacuar (producción térmica del hogar correspondiente y tipo de combustible a emplear) y conocidas las pérdidas que se producirán, es ya posible determinar, para un intervalo dado de temperaturas del humo, la sección que conviene dar a la chimenea. El cálculo exacto de la misma, tal como ha sido descrito en la primera parte de este capítulo, resultaría muy laborioso y largo. En la práctica, por consiguiente, se suele proceder empíricamente y en la mayoría de los casos se llega a resultados satisfactorios.

Suele dar buenos resultados la ecuación simplificada por Redtenbacher. Es aplicable a calderas de calefacción alimentadas con coque y para temperaturas del humo a la entrada de la chimenea de 150 a 300° C, y, a base de los correspondientes coeficientes, también puede aplicarse en muchos casos cuando el hogar está alimentado con leña o con petróleo.

$$F_{\text{coque}} = 0,029 \frac{W}{\sqrt{H}} \text{ cm}^2$$

$$F_{\text{petróleo}} = F_{\text{coque}} \cdot 0,90$$

$$F_{\text{leña}} = F_{\text{coque}} \cdot 1,05 \text{ a } 1,50$$

en donde:

- F = la superficie necesaria de la sección de la chimenea en cm²
W = la suma de las cantidades de calor producidas en los correspondientes hogares en kcal/h,
H = la altura eficaz de la chimenea,
0,029 = una constante numérica, aplicable al caso de chimeneas rectas de tipo corriente y con tubo de conexión corto, para los humos.

Paredes de las chimeneas

Las paredes de las chimeneas tienen que cumplir con las condiciones siguientes:

Tienen que ofrecer protección suficiente para que, por una parte, los gases no se enfrien demasiado (lo cual tendría como consecuencia exageradas pérdidas de tiro y considerables condensaciones de carácter permanente), y, por otra, mantener las temperaturas de la superficie exterior de la chimenea suficientemente bajas para que no ofrezcan peligro para las estructuras de madera próximas a ellas. Deben ser suficientemente impermeables a los gases para que en funcionamiento normal impidan la infiltración de aire falso, o en funcionamiento anormal la salida del humo, hacia los locales.

Deben resistir los ataques químicos de los gases del humo y su superficie interior debe ser lo más lisa posible.

Tanto en funcionamiento normal como en los casos en que se prende fuego al hollín incidentalmente (o intencionadamente para quemarlo) deben ser de volumen tan estable que, a pesar del fuerte calor y de la rápida variación de temperatura, se conserven inalterables la forma y la estructura de las chimeneas. Su estabilidad estática debe estar asegurada cualesquiera que sean las condiciones de funcionamiento.

Es necesario que su construcción pueda ser perfecta sin necesidad de exigir unas precauciones exageradas.

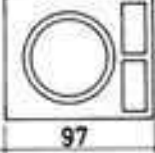
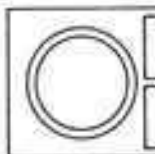
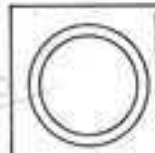
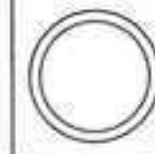
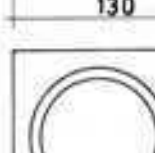
Protección térmica

En tanto que cuando se trata de chimeneas para grandes hogares se suelen cumplir bien las exigencias que impone la protección térmica, resulta en cambio más difícil lograr de modo suficiente dicha protección en las chimeneas de hogares pequeños. La causa estriba en que la mayor parte de estas chimeneas trabajan con poca carga. Las cantidades de gases que por ellas circulan son tan pequeñas, en relación con la superficie interior de sus paredes, que su enfriamiento es demasiado rápido. Un aislamiento eficaz que atenuase la pérdida de calor implicaría gastos tan considerables que no serían prácticamente admisibles. Los recursos para disminuir los inconvenientes de una sección exageradamente grande de la chimenea son:

- Aumento de la cantidad de gases conectando a la chimenea varios hogares.
- Aumento de la temperatura de los gases.
- Aumento del exceso de aire y
- Adición de aire previamente calentado.

La mejor solución, sin embargo, es reducir la sección de la chimenea al mínimo admisible en relación con los hogares a ella conectados, de acuerdo con las precedentes explicaciones. El funcionamiento a plena carga de la sección adoptada es una condición básica de la construcción de una chimenea. Mientras no se pueda llegar a ella hay que recurrir a otras medidas para la mejora de la protección térmica en las paredes de la chimenea. La protección térmica mínima no sólo debe ser suficiente para asegurar la producción del tiro necesario, sino que, además, debe ser bastante eficaz para impedir la producción de condensaciones. No se trata precisamente aquí de aquellas pequeñas precipitaciones que se producen casi siempre durante el calentamiento de la chimenea al encender el fuego y que no suelen ser

**DIMENSIONES DE PIEZAS PREFABRICADAS PARA CHIMENEAS MONOTUBULARES
SISTEMA SCHIEDEL**

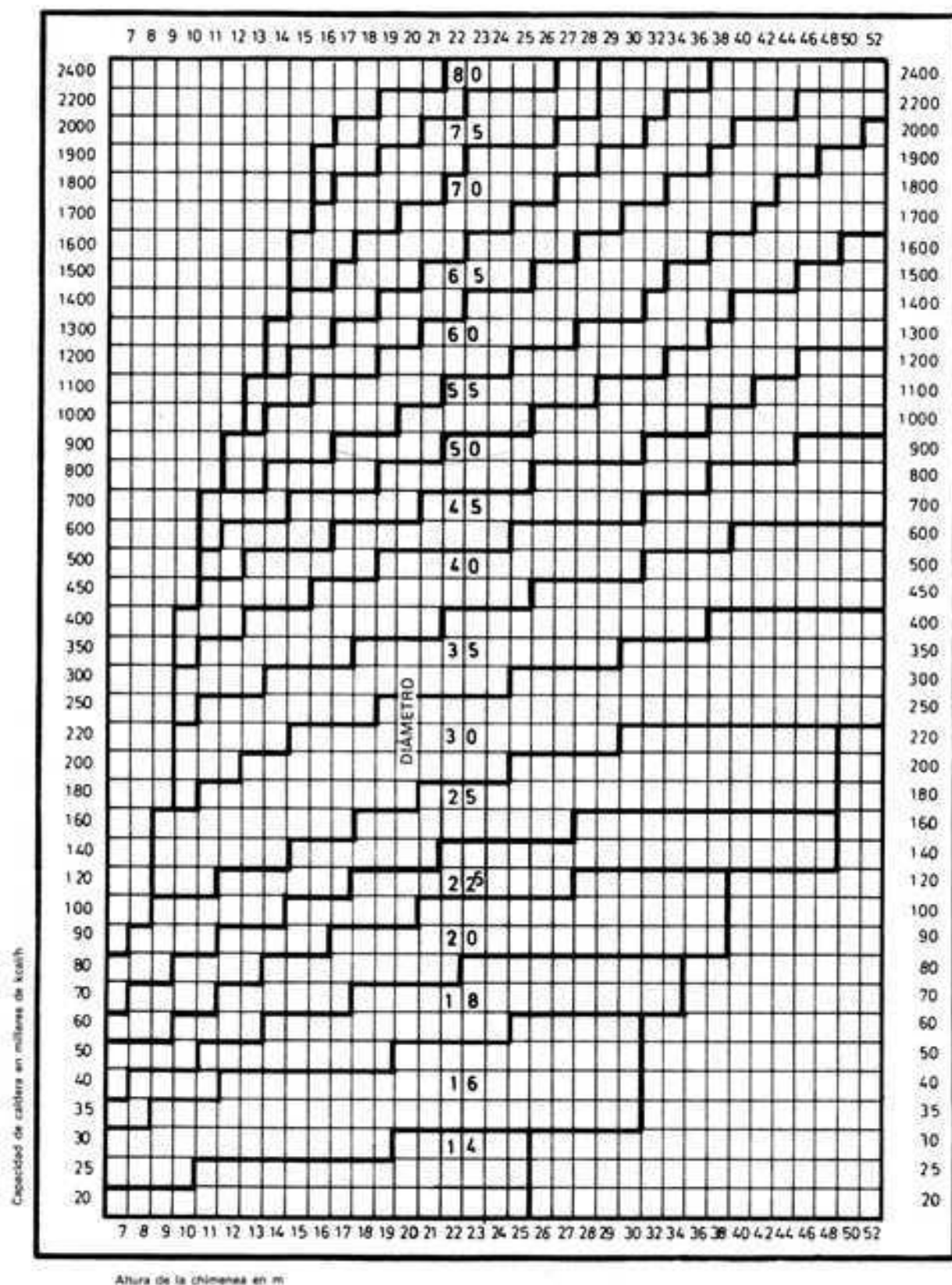
N.º de pedido		Diámetro Ø	Ventilación	kg/m	N.º de pedido		Diámetro Ø	Ventilación	kg/m
112		34	14	10/24	155	28		80	50 2x17/32,5 660
	45					97			
21		36	16	10/25	170				
	48								
122		40	18	12/30	195	29		90	55 2x18,5/37,5 800
	54					107			
22		40	20	12/30	200				
	54								
142		43	22,5	13/32,5	240	30		95	60 2x19,5/40 870
	58					113			
23		50	25	2x10,5/17,5	280	31		102	65 2x21,5/43,5 960
	61					122			
24		55	30	2x10,5/20	310				
	66								
25		60	35	2x12,5/22,5	380	32		108	70 2x23,5/46,5 1065
	73					130			
26		67	40	2x14/26	490	33		113	75 2x25,5/49 1115
	81					137			
27		75	45	2x15,5/30	615	34		118	80 2x27,5/51,5 1215
	90					144			

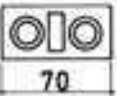
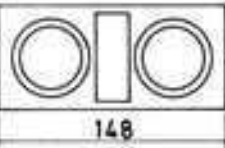
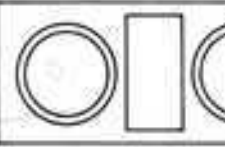
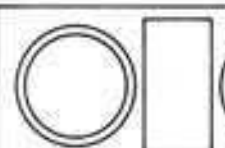
perjudiciales. Lo que hay que evitar son las condensaciones de agua que repetida y constantemente se producen procedentes de los gases del humo durante el normal funcionamiento de la instalación, siempre en los mismos puntos del trayecto de los gases en que las temperaturas de la superficie interior de la chimenea, y por tanto del humo, caen por debajo del punto de rocío de la mezcla gaseosa.

En muchas chimeneas de obra de fábrica no basta la protección térmica de sus paredes para impedir las condensaciones de agua, pero sin que por ello se produzcan grandes daños. En tales casos, la capacidad de absorción del ladrillo de la obra basta

para establecer una compensación de la humedad. Una pared de chimenea algo permeable a la humedad absorbe parte del agua y por efecto de la conductividad térmica la desplaza hacia el exterior, donde, en circunstancias normales, se evapora. La temperatura de la superficie interna puede entonces ser un poco más baja que el punto de rocío de la mezcla de gases, sin que la pared de la chimenea aparezca mojada. Este estado de cosas sólo es satisfactorio mientras la cantidad de agua condensada que se produce corresponde al poder de difusión de la pared de la chimenea. Si la diferencia de temperatura es mayor y con ella aumenta también la cantidad condensada, los poros del material

Con alturas de chimeneas menores de 10 m el tiro necesario debe ser de 2.5 mm columna de agua como máximo.
En caso de grandes cruzas y al emplear calderas especiales debe hacerse un cálculo más exacto.



N.º de pedido		Diámetro Ø Ventilación kg/m	N.º de pedido		Diámetro Ø Ventilación kg/m
115		14 10/24 240	65		40 24/55 755
60		16 10/25 255	66		45 28/61 930
123		18 12/30 340	67		50 30/66 1030
61		20 12/30 345	68		55 37/74 1355
143		22,5 13/32,5 375	69		60 41/79 1540
62		25 16/40 445	70		65 44/86 1665
63		30 18/45 465			
64		35 21/48 575			

quedan excesivamente empapados y se observa que la pared está mojada de manera apreciable. Cuando la combustión es incompleta, los gases del humo contienen también, además del vapor de agua, alquitranes que se depositan en forma de brea y hollín. Estas sustancias se mezclan con el agua (adherencias de hollín graso) y forman un líquido pardusco que va escurriendo y que penetra en la obra de fábrica, pudiendo llegar a aparecer en la superficie exterior en forma de manchas oscuras.

Si esta impregnación se prolonga, llega a producir una temible incrustación de hollín. Favorecidos por la impregnación, penetran en la obra de fábrica los alquitranes corrosivos y el ácido sulfúrico. Este último se forma con el agua y el anhídrido sulfuroso producido principalmente en la combustión de hullas, briquetas y coque. Descompone los morteros y las piedras y ataca los hierros.

Cuando la obra de fábrica de una chimenea está empapada y queda expuesta a las heladas existe el peligro de sufrir los efectos de la congelación. Un revoque o enlucido exterior demasiado grueso y compacto actúa muy desfavorablemente, porque detrás de él se acumula la humedad difundida por la obra de fábrica de las paredes de la chimenea, y luego por los efectos de las heladas rompe y disgrega la obra.

Como es natural, la parte de una chimenea correspondiente a su boca superior es la más afectada por tales daños, pues en tal

sitio las bajas temperaturas de los gases del humo se prestan mejor a que éste descienda por debajo del punto de rocío. Es necesario, por consiguiente, que las paredes de las chimeneas, al atravesar el desván y sobre todo en la parte de chimenea que sobresale fuera de la cubierta, vayan mejor protegidas que al recorrer locales provistos de calefacción en pisos inferiores. Una pared de chimenea impermeable a la humedad (hecha, por ejemplo, de ladrillos recochos, de hormigón compacto, enlucida con cemento, o de tubos cerámicos vidriados, etc.) cumple mejor con las condiciones requeridas de gran impermeabilidad para los gases, de superficies internas bien lisas y de mayor inalterabilidad ante los agentes químicos que las paredes de chimenea permeables a la humedad. Sin embargo, tales procedimientos sólo se hallan justificados cuando, de antemano, puede excluirse el enfriamiento de los humos por debajo de su punto de rocío, cosa posible cuando el cálculo de las dimensiones está bien hecho y se aplica una protección térmica suficiente por medio de capas de algún material aislante (p. ej., lana mineral "Sillan" o placas ligeras de lana de maderal). Cuando la protección térmica es insuficiente, en las chimeneas de paredes impermeables se producen condensaciones que escurren hacia la parte baja de aquéllas (cuando se quema leña, en una chimenea de tipo corriente y para temperaturas de 55 a 65° C, se condensan cantidades de agua del orden de 1 kg por hora).

Para su purga o extracción se usan las llamadas cubetas colectoras del agua de exudación. Está contraindicada la conexión o enlace de esas purgas con los desagües domésticos por la posible formación de ácido sulfúrico y por la destilación de alquitranes, así como por la posibilidad de que se inflamen en la chimenea los gases que puedan desprenderse de los albañales. Para proteger las materias combustibles próximas a las chimeneas (sobre todo los elementos constructivos de madera), la calorifugación o protección térmica de las paredes de las mismas debe ser suficiente para que las temperaturas, en su superficie exterior, no lleguen a un límite que no pueda soportarse con la mano, y como máximo, en todo caso a 70° C.

Las chimeneas de piezas moldeadas especiales deben presentar la misma protección térmica que las de paredes de ladrillo macizo, cosa que hay que comprobar en cada caso, mediante los oportunos certificados de ensayos y autorizaciones.

Resistencia a la acción del fuego y de las temperaturas elevadas

En el normal funcionamiento de las instalaciones de hogares se cuenta, en la construcción de casas de vivienda, generalmente con temperaturas de los humos, a la entrada de las chimeneas, de 150 a 300° C. Cuando se prende fuego al hollín, sea accidentalmente, sea intencionadamente para eliminarlo, se producen, sin embargo, transitoriamente temperaturas hasta de 1000° C. Así pues, las paredes de las chimeneas no sólo tienen que ser incombustibles y ofrecer, en funcionamiento normal, protección suficiente contra el fuego, sino que además deben poder resistir esas elevadas temperaturas y sus rápidos cambios sin que ni la forma ni la estructura de la chimenea sufran detrimento. Según datos de experiencia, las chimeneas de obra de ladrillo macizo hechas a base de los espesores indicados en las tablas que se acompañan cumplen esas condiciones. En general, un espesor de pared de 1/2 asta basta en las chimeneas destinadas a hogares cuya producción horaria de calor útil no llegue a 80 000 kcal. Si se trata de hogares de potencia calorífica superior a esa cifra (que corresponde a la calefacción de locales con un volumen total de 1600 a 1800 m³) se necesitan paredes de chimenea con espesor de 1 asta. Cuando se trata de instalaciones de calderas de grandes dimensiones donde se empleen combustibles ricos en elementos volátiles o cuando el funcionamiento de las mismas es intermitente, es necesario proteger la superficie interior de la chimenea en la parte de entrada de los gases, y por lo menos hasta la altura de un piso, con un revestimiento de ladrillo refractario.

Las chimeneas de otros tipos constructivos tienen que ofrecer igual protección contra el fuego que las de obra de ladrillo macizo. Cuando las paredes están hechas de varias capas (chimeneas Schofer, Plewa, Mola, etc.), la capa interior (conducto de gases) debe tener un espesor adecuado al material de que está hecha y siempre que la chimenea sea lo suficientemente impermeable a los gases y, además, lo bastante resistente al fuego y a las temperaturas elevadas. Las cualidades exigidas deben en cada caso ser comprobadas mediante ensayos oficiales.

Impermeabilidad a los gases

Únicamente son por completo impermeables a los gases de las chimeneas metálicas sin costuras; todas las chimeneas no metálicas son más o menos permeables a los gases. Esta permeabilidad depende del espesor de las paredes, de la naturaleza del material de que están hechas (porosidad) y de la diferencia de presiones que exista entre el aire exterior y los gases. Por consiguiente, en la parte inferior de la chimenea donde, en funcionamiento normal, existe la máxima depresión, es donde más nociva es aquella permeabilidad y es también donde más se manifiesta por las infiltraciones de aire. Cuando el funcionamiento es anormal (sobrepresiones dentro de la chimenea), una falta de hermeticidad en las paredes y juntas de la chimenea se traduce en la salida de humo hacia los locales por que pasa la chimenea. Las chimeneas de obra de ladrillo macizo bien rejuntada, gracias al espesor relativamente grande de sus paredes y a pesar de sus numerosas juntas, son muy impermeables a los gases, sea la que sea la forma de servicio a que se sometan. Sus múltiples juntas ofrecen desde luego una resistencia inconveniente al tiro de los gases, pero, en cambio, cuando se producen fuertes soli-

citaciones térmicas en la masa de la obra actúan como un amortiguador contra las dilataciones que tienen lugar, cosa que explica su gran resistencia contra la formación de grietas. La impermeabilidad a los gases de las paredes de chimenea hechas de obra de fábrica puede además mejorarse notablemente mediante un compacto revoque exterior (especialmente en la base de la chimenea, donde existen las mayores diferencias de presión). Las chimeneas de piezas monolíticas y, por consiguiente, con menos juntas de amortiguación son, sin embargo, frecuentemente más permeables a los gases, aun cuando el material presente en la mayor parte de los casos una estructura más compacta. Esto es debido a que las paredes son mucho más delgadas, con lo cual las juntas horizontales tienen menor anchura, y también, en muchos casos, es atribuible a la ausencia de un rovoque y enlucido exterior. Por consiguiente, son muchos los casos en que las chimeneas se construyen con piezas especiales prefabricadas con la sección del conducto de humos redonda o redondeada en los ángulos y con la superficie interior bien lisa, con objeto de aprovechar las ventajas de una mejor corriente de los gases y de un menor depósito de hollín; sin embargo, conviene protegerlas térmicamente con placas o revestimientos, p. ej., de hormigón de pómez, que luego se cubren con un compacto revoque.

Cuando las paredes de las chimeneas están mal protegidas térmicamente, la conveniente capacidad absorbente de las mismas para la humedad está en contraposición con las condiciones que exige la permeabilidad al paso de los gases. Es mejor, en tal caso, utilizar unas chimeneas suficientemente impermeables a los gases, pero dotadas de buena protección térmica.

Resistencia

Por las llamadas deflagraciones pueden producirse unas enormes sollicitaciones de las paredes de la chimenea. Estas deflagraciones aparecen cuando, por ejemplo, unos elementos de combustible se queman de forma explosiva en la chimenea debido a un encendido retrasado. La causa exacta no puede indicarse posteriormente con seguridad. Los graves daños en las chimeneas de los edificios altos, que a veces han provocado el derribo y la nueva construcción de la chimenea, sólo se explican con la suposición de estas deflagraciones. Tales encendidos dentro de la chimenea nunca podrán evitarse totalmente. En las chimeneas de obra de fábrica las sollicitaciones originadas se reparten a una red elástica de juntas.

Debido a una posible superposición de estas sollicitaciones dinámicas y de las tensiones provenientes de la estructura, para las chimeneas grandes y de alta capacidad hechas de piezas prefabricadas es preferible la sección circular a la cuadrada. Los tubos de acero V2A, que poseen una densidad, una resistencia a la compresión y a la tracción considerablemente mayores, tienen aquí especial aplicación. Las chimeneas de cerámica de los mejores fabricantes tienen una resistencia a la compresión de aproximadamente 30 kp/cm², cosa que teóricamente no se alcanza casi nunca. La presión nominal calculada para una altura de 120 m es de sólo 24 kp/cm². Por las inevitables inexactitudes en la construcción y por las tolerancias de medidas de las piezas prefabricadas y la ejecución de las juntas, esta presión se sobrepasa con certeza. Para mantener la chimenea en una posición exactamente vertical, debe ser sostenida en cada planta, pero como mínimo cada 5 m, por una armadura o un revestimiento flexible. De igual modo deben ejecutarse los puntos de paso. Aunque las piezas cerámicas prefabricadas para chimeneas pueden tener grietas de cocción, su forma, trayectoria y frecuencia están determinadas exactamente en los informes de autorización. Misión del arquitecto o el aparejador es examinar minuciosamente las piezas suministradas a la obra y vigilar la colocación correcta de las mismas.

Construcción

Los conocimientos teóricos ofrecen para la construcción de las chimeneas los siguientes puntos de vista: Las chimeneas, en cuanto sea posible, deben situarse hacia el centro de la planta del edificio, con lo cual se hallan rodeadas

por todas partes de locales caldeados; deben subir verticalmente desde el nivel del suelo y desembocar en la cumbre de la cubierta o en sus inmediaciones.

Es posible, desde luego, construir chimeneas adosadas a paredes exteriores (como también junto a paredes de cajas de escalera o a paredes cortafuegos aisladas) y aun construirías aisladas de toda edificación, pero en tales casos su paredes tienen que poseer una elevada protección térmica, que puede lograrse dando a las paredes mayores espesores, pero que se logra mejor mediante capas adicionales de aislamiento térmico. Cuando son necesarias varias chimeneas, como p. ej. en las construcciones de varios pisos, se las agrupa adecuadamente, de manera que se defiendan mutuamente contra las pérdidas de calor. La situación y agrupación de las chimeneas han de permitir, desde luego, una conexión sencilla con los hogares.

Las calefacciones y las chimeneas o lares de fuego abierto deben tener chimeneas propias independientes. Los hogares con fuego permanente, como p. ej. las estufas cerámicas destinadas a la calefacción de varias habitaciones, deben conectarse también con chimeneas individuales para poder asegurar un funcionamiento sin perturbaciones.

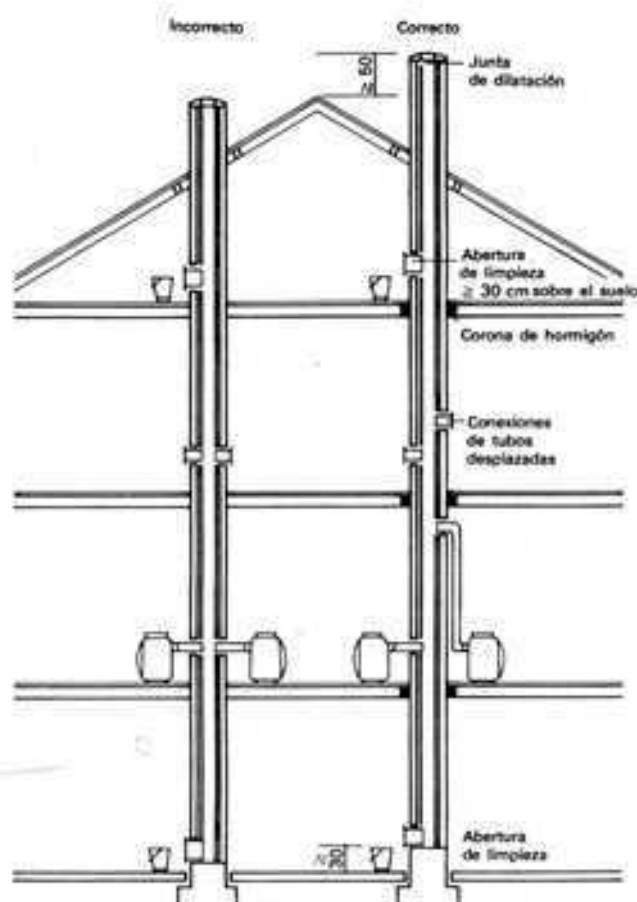
Los humos de todos los hogares deben poder ser conducidos por la vía más corta a la chimenea mediante tubos de conexión (conductos de humos, tubos de estufa). Como puntos básicos para los conductos de humos, en lo relativo a su sección, forma, protección térmica, resistencia contra el fuego, impermeabilidad a los gases y capacidad de acumulación de calor, pueden servir los mismos que para las chimeneas.

Los tubos de humos desmontables, como suelen ser los tubos de estufa de tipo corriente, hechos de chapa de hierro, tienen una sección más estrecha que la de la chimenea correspondiente y menor también que la que correspondería a la potencia de las estufas, fogones u hornillos a ellos conectados. Con una buena estufa, la temperatura de los gases del humo en estos conductos no debe rebasar los 250° C.

Todas las chimeneas deben poder ser deshollinadas en los sótanos y en el desván, pero no en las plantas de vivienda. Las aberturas necesarias para la limpieza deben llevar dobles puertas resistentes al fuego, que cierren tan bien que por ellas no pueda ser aspirado aire falso. Generalmente esas portezuelas de las chimeneas son de hierro, pero también pueden hacerse trampillas de limpieza de hormigón, especialmente si después de cada limpieza se tiene la precaución de rejuntarlas con barro. Las aberturas de limpieza deben, cuando menos, hallarse a la altura de un cubo de limpieza y a lo más a 1,50 m por encima del pavimento inmediato; si éste es de madera conviene cubrirlo con una chapa metálica. En locales en que se almacenan materias inflamables o fácilmente combustibles o bien en que se manipulan tales materias (p. ej., heno o paja en desvanes o buhardillas) no se podrán abrir en las chimeneas puertas de limpieza que den a dichos locales. Tales chimeneas, además, se revestirán con un tabique de protección de ladrillo macizo o con un revestimiento de placas aislantes. En caso necesario, tales chimeneas se deshollinan desde la cubierta, en la que hay que colocar tablones fijos para circular y peldaños de hierro, con el fin de evitar accidentes. En las agrupaciones de chimeneas, cada una de ellas debe llevar sus propias aberturas de limpieza, que se marcarán con los números del piso y de la puerta correspondientes. Cada chimenea debe tener su desembocadura independiente por encima de la cubierta.

Por su considerable peso y para no tener que hacer de deshollinador en el interior de las viviendas, se suelen cimentar las chimeneas sobre el terreno firme haciéndolas atravesar, convenientemente protegidas contra la humedad, por lo sótanos y por las demás plantas hasta sobresalir por encima de la cubierta o tejado. Sólo en casos excepcionales se las apoya sobre un piso macizo en alguna de las plantas del edificio. En tal caso hay que prever que incluso en caso de incendio quede asegurada la estabilidad estática de la chimenea.

Para poder tener la garantía de una suficiente seguridad contra el fuego, es necesario que toda estructura de madera quede separada lo menos 20 cm del paramento de la chimenea. Cuando una chimenea atraviesa un piso o cubierta de vigas de madera hay que cerrar el espacio intermedio entre vigas y cabios por medio de una estructura de protección de la chimenea. Antigua-



mente se hacían unos voladizos en las paredes laterales de la chimenea o se empotraban tejas planas con las juntas encontradas; actualmente se dispone allí una corona de hormigón. En rigor, esas disposiciones protectoras actúan como aletas refrigeradoras, con lo cual en tales puntos y en la parte correspondiente del interior de la chimenea pueden depositarse condensaciones que, sobre todo al atravesar la cubierta donde reina el máximo salto de temperatura, es frecuente se llegue a empapar el material de la obra. Es prudente recubrir la chimenea, en esos puntos, con cartón de amianto y rellenar el espacio intermedio hasta llegar a las estructuras de madera con lana mineral o con algún otro material aislante incombustible. Por las mismas razones se debería colocar en las uniones con pisos macizos alguna capa aislante.

En los locales de desvanes y de sótanos, las chimeneas deben ir revestidas con una capa de revoque por lo menos.

Como en las cubiertas a base de correas o carreras de madera es inconveniente tener que interrumpir la correa de cumbre, la mejor solución para las chimeneas en esta clase de cubiertas es hacerlas atravesar junto a una de las correas. Con objeto de poderlas situar cerca de la cumbre, que es donde tiran mejor, tanto si el tejado es de escasa inclinación como si es de fuerte pendiente, muchas veces resulta necesario curvar el trazado de las chimeneas. La solución más sencilla es construir dos chimeneas, una junto a otra, y curvarlas simétricamente, porque así se apoyan y afianzan mutuamente. Las reacciones o esfuerzos horizontales que se producen en la parte baja de las curvas deben contrarrestarse mediante contrafuertes o tirantes de anclaje resistentes al fuego (p. ej., de hormigón armado) y que se embeben en el espesor de un piso o techo. Al llevar a cabo esa curvatura de las chimeneas hay que tener presente que su inclinación sobre la horizontal no sea nunca inferior a 60°. Si en una determinada chimenea se ha introducido una curva tal que haga que su centro de gravedad caiga fuera del tercio central de su sección (momento de vuelco > 1,5 del momento estático) es necesario añadirle una construcción maciza que le sirva de apoyo. En ningún caso debe descansar sobre un piso de vigas de madera;

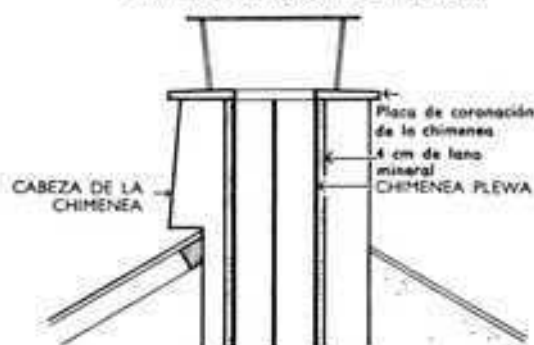
tampoco la cabeza de la chimenea que sobresale de la cubierta debe ser sujeta a la estructura de madera de ésta. Lo más corriente es hacer las desviaciones de dirección a base de acodaduras bruscas en línea quebrada, pero como esto produce notables resistencias al tiro de los gases, es mejor hacer tales desviaciones en forma curva, con un radio que por lo menos sea 6 veces mayor que la luz interior del conducto, de manera que apenas se introduzca resistencia alguna en el tiro. Esas curvas o desviaciones se construyen valiéndose de plantillas o cimbras cuyo radio de curvatura se acomoda a la condición antes citada y teniendo además en cuenta que las juntas en forma adovelada que es necesario hacer no queden de menos de 5 mm por la parte estrecha ni de más de 20 mm por la parte más ancha. En los sitios donde se introducen desviaciones de una chimenea es necesario disponer aberturas de limpieza. En los sitios donde hay acodaduras muy acentuadas conviene protegerlas mediante la colocación de armaduras de hierro redondo para prevenir los desperfectos que podría producir la bola del deshojador. Las desviaciones en dos direcciones son difíciles de hacer y, por consiguiente, hay que procurar evitarlas todo lo posible al situar las chimeneas en la planta del edificio.

Chimeneas de obra de fábrica

La obra se hace con ladrillos de buena clase, ligados con mortero de cal y cemento; en muchos sitios se sube la obra simultáneamente con las paredes del edificio, se enluc por el interior con una capa fina; pero aún es mejor hacer un aparejado o enlace entre la chimenea y las paredes. Al elegir o fijar la sección hay que tener la precaución de que el aparejo de las piezas resulte sencillo y especialmente en los tizones no haya que recurrir a medios ladrillos o cuartos de ladrillo, pues tarde o temprano acaban por soltarse y caer en los conductos de humos o bien quedar atravesados obstruyendo el paso a los gases del humo. Según la experiencia que de ello tienen los deshojadores, las chimeneas que mejor resultado dan son las de casas antiguas en que las chimeneas de 26/26 cm están hechas únicamente con piezas cerámicas enteras. Las superficies exteriores de las paredes de las chimeneas se revocan y enlucen, como las paredes del local, con dos capas. También en los desvanes es preciso revocarlas o enlucirlas, pero en tal caso basta una sola capa, tal como se hace en las paredes cortafuegos.

En las paredes de mampostería de piedra natural o de hormigón, las chimeneas deben ligarse como si fuesen de obra de ladrillo independientes y aisladas. También en el caso de paredes de entramado, las chimeneas tienen que ser construidas en forma independiente, manteniendo siempre la indispensable distancia entre ellas y las estructuras de madera.

CHIMENEA SITUADA AL EXTERIOR



En general, las chimeneas domésticas se construyen con espesores de pared de media asta, suficientes para las necesidades usuales. Cuando se trata de hogares con gran consumo de combustible, como p. ej. en el caso de grandes instalaciones de calefacción central, en panaderías, hoteles, etc., es necesario emplear paredes de 1 asta de espesor. Y en estos casos, sobre todo si se emplean briquetas como combustible, que producen llamas de mucha longitud, es necesario revestir el tercio inferior con ladrillo refractario.

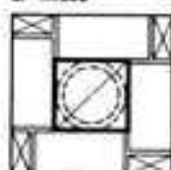
Las paredes de medianería no deben ir a parar al centro de una pared de chimenea, sino, en todo caso, adosarse a ella.

19,75 x 19,75 cm (390,1 cm²)

1.ª hilada



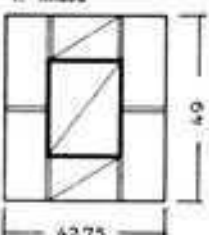
2.ª hilada



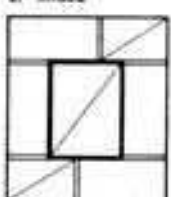
Eventualmente con tubo cerámico

19,75 x 26 cm (513,5 cm²)

1.ª hilada

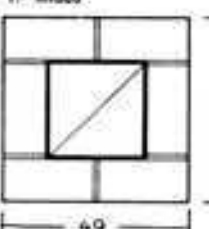


2.ª hilada

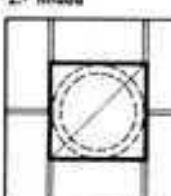


26 x 26 cm (676 cm²)

1.ª hilada

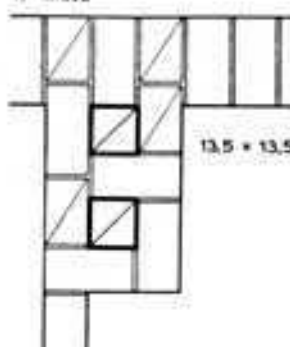


2.ª hilada

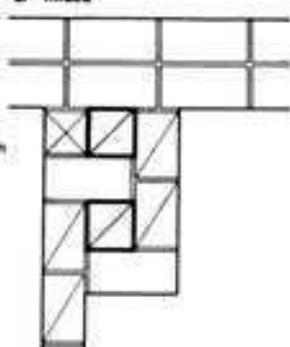


Eventualmente con tubo cerámico

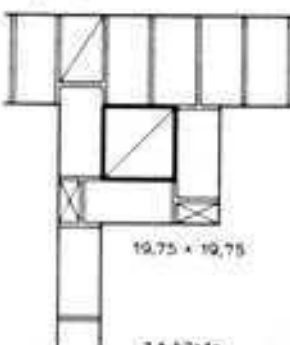
1.ª hilada



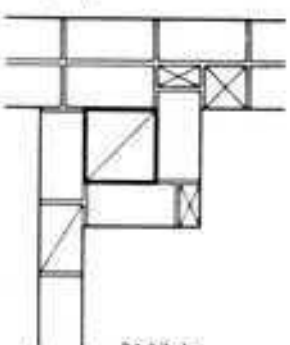
2.ª hilada



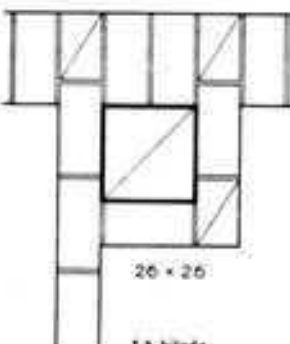
13,5 x 13,5 cm



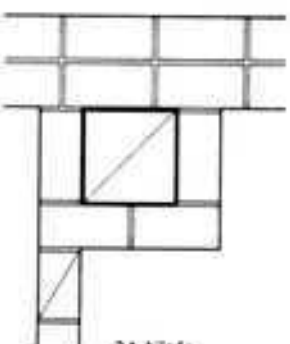
1.ª hilada



2.ª hilada

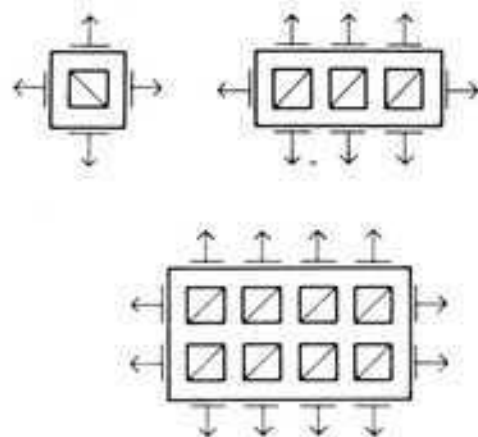


1.ª hilada

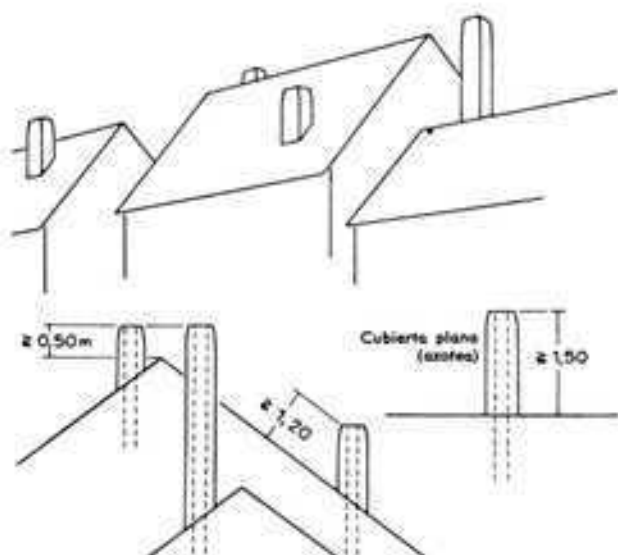
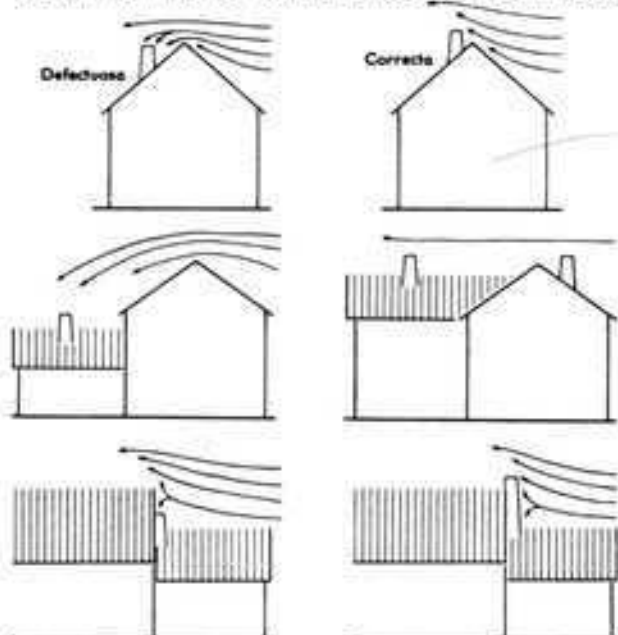


2.ª hilada

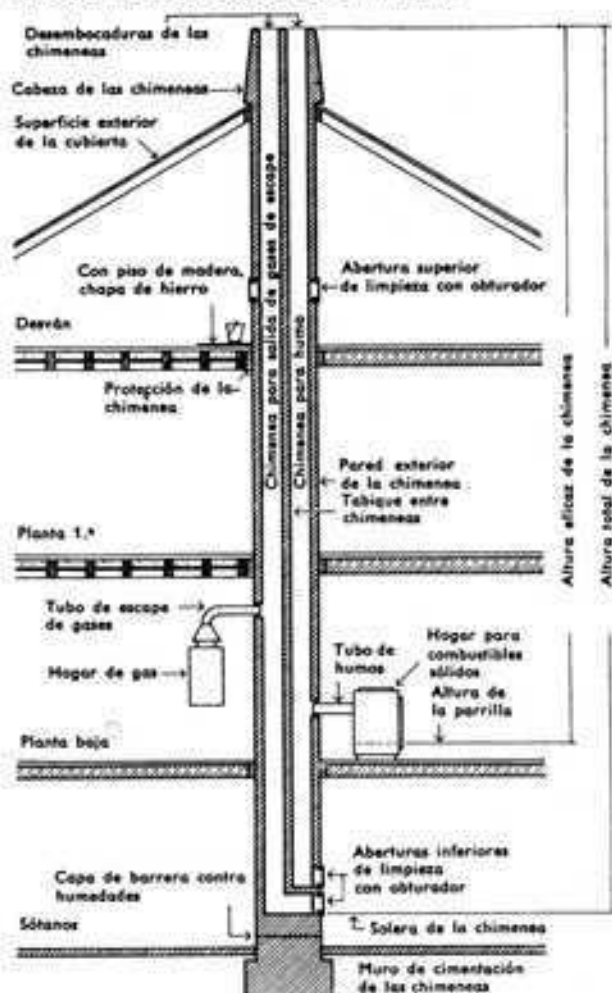
EL ENFRIAMIENTO EN LOS GRUPOS DE CHIMENEAS ES MENOR QUE EN LAS CHIMENEAS AISLADAS



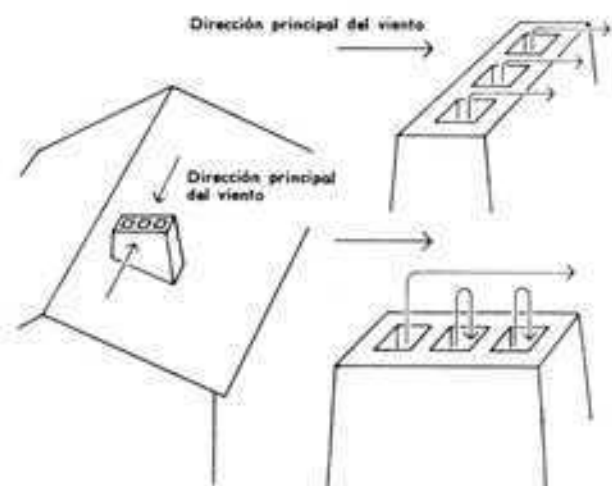
ACCIÓN DEL VIENTO SOBRE EL TIRO DE LAS CHIMENEAS

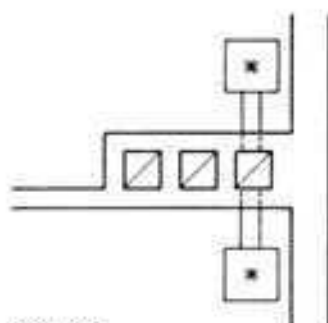


SECCIÓN POR UN GRUPO DE CHIMENEAS

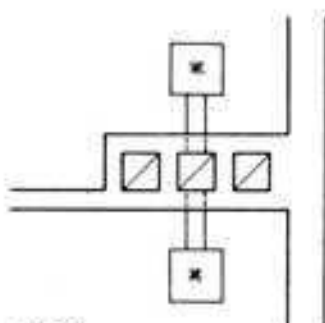


Las desembocaduras de las chimeneas tienen que hallarse en plena y libre corriente del viento.
 Las chimeneas que desembocan en una zona de presión producida por una represa no tiran.
 La altura mínima por encima de la cumbrera de la cubierta o por encima de las edificaciones próximas debe ser de 0,50 m.
 Las cabezas de chimenea que sobresalen de la cubierta más de 1,50 m deben anclarse con tirantes o vientos.
 Cuando una chimenea desemboca por debajo del nivel de la cumbrera de la cubierta, su boca debe estar por lo menos a 1,20 m de distancia de la superficie de la cubierta, medida perpendicularmente.
 La altura mínima de las chimeneas sobre techados o cubiertas planas o de poca pendiente será al menos de 1,50 m.
 Las chimeneas agrupadas en línea van mejor cuando la alineación es perpendicular a la dirección del viento dominante.

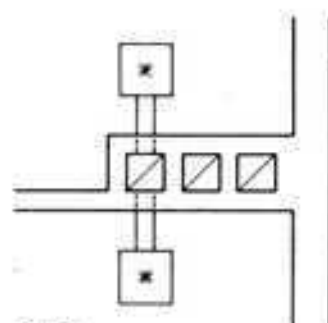




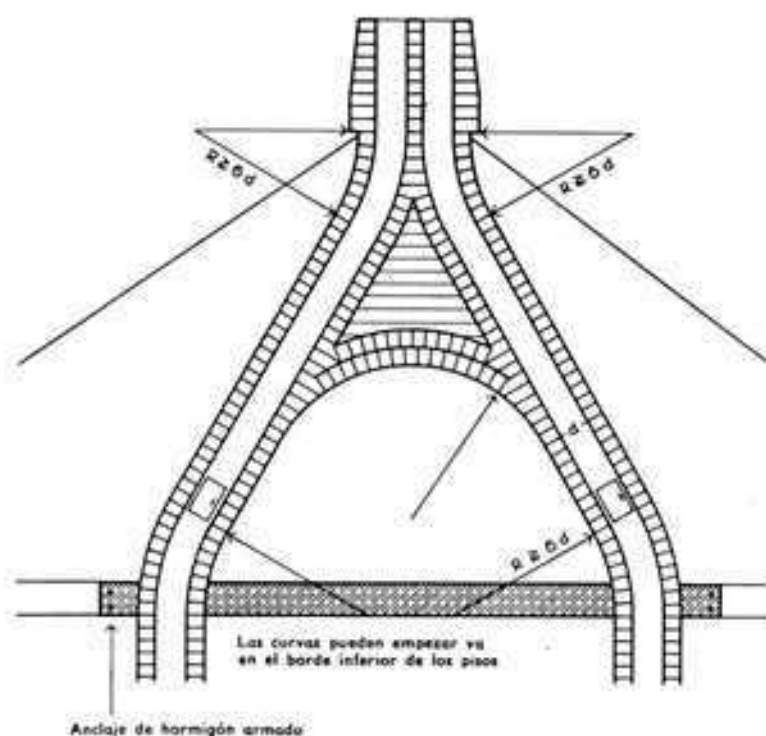
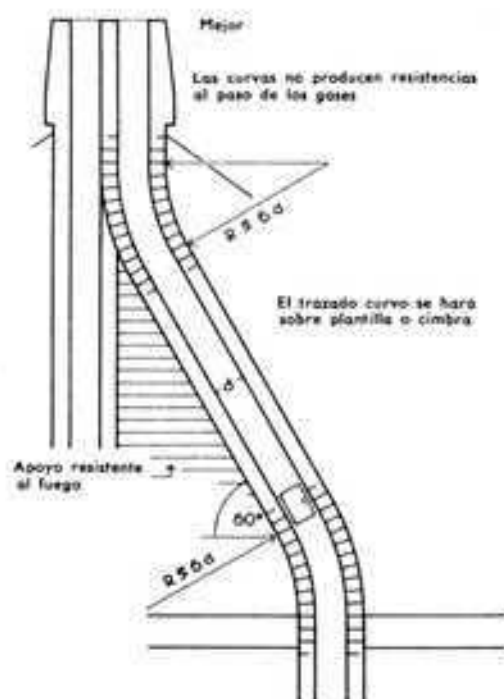
Planta baja
Enfriamiento muy
intenso; máxima
altura de chimenea



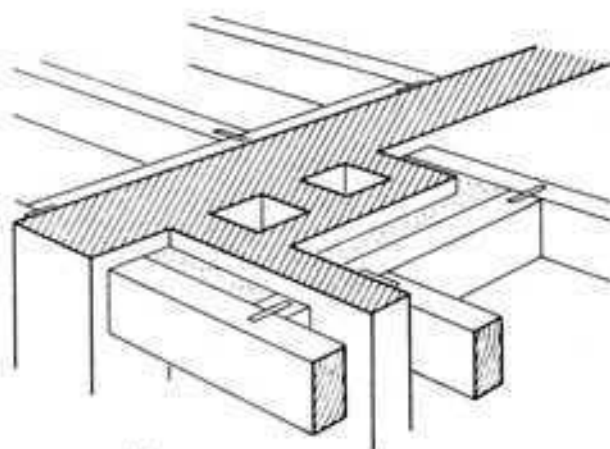
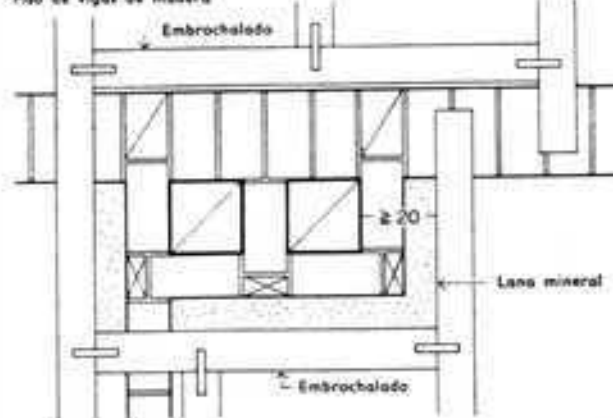
1.º piso
Enfriamiento menos fuerte;
altura media de chimenea



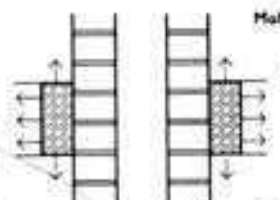
2.º piso
Mínimo enfriamiento,
mínima altura de chimenea



Piso de vigas de madera

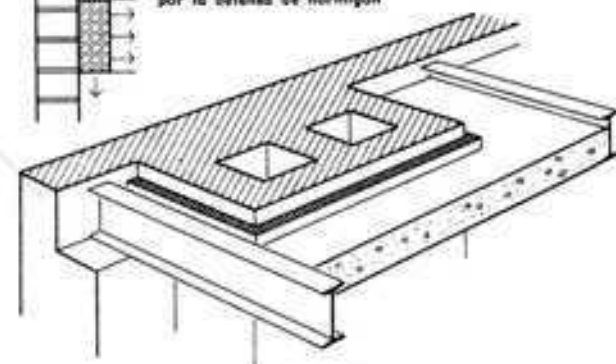


Piso de vigas de acero

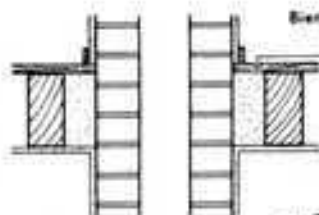


Mal

Pérdida de calor por la defensa de hormigón

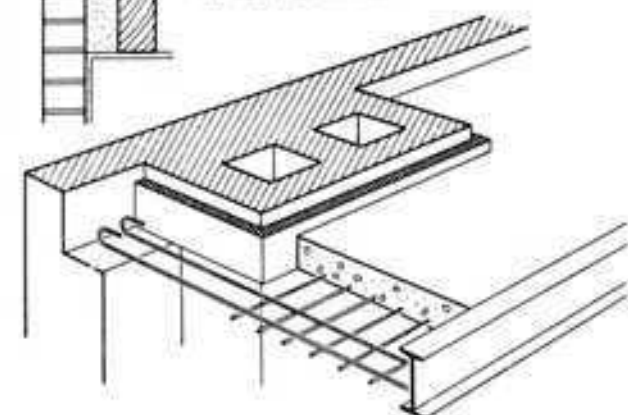


Piso de vigas de acero

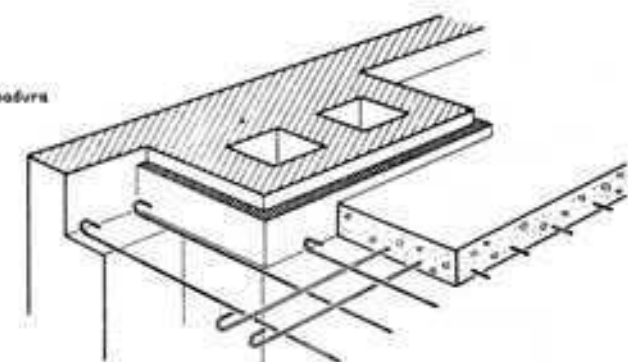
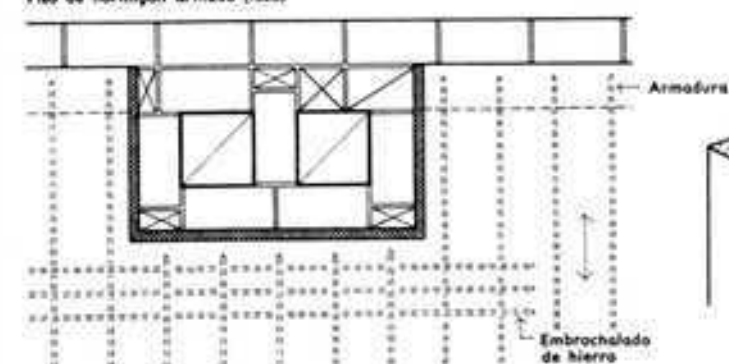


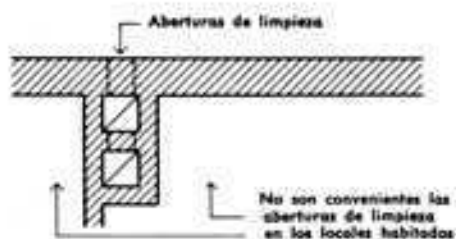
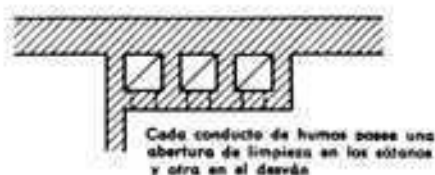
Bien

Defensa con aislamiento térmico de lana mineral

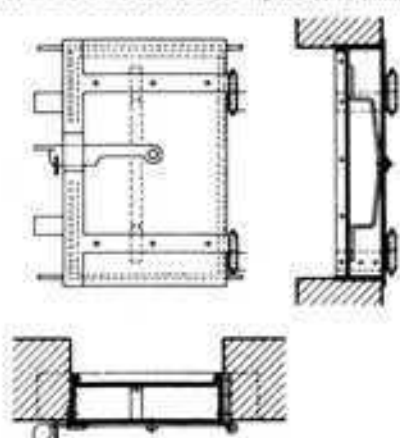


Piso de hormigón armado (losa)

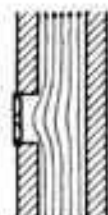




Portezuela de hierro en la abertura de limpieza de la chimenea

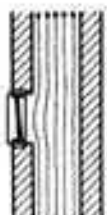


mal



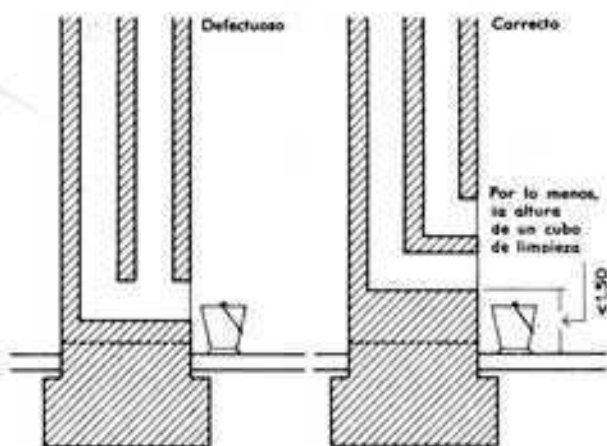
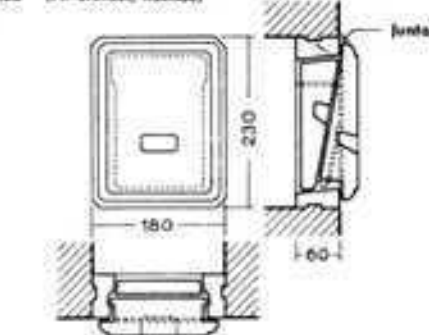
Portezuela de hierro: poco aislante; perturbación de la corriente por el cambio de sección

bien

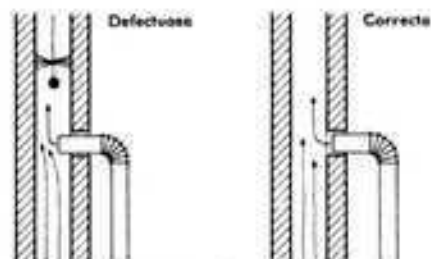
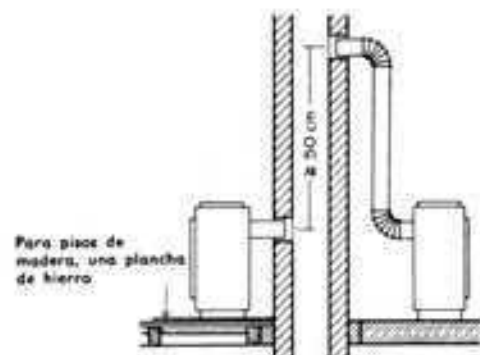


Portezuela de hormigón: buen aislamiento; apenas hay cambio de sección, corriente uniforme

Portezuela de hormigón para abertura de limpieza de chimenea (H. Stenzel, Itzehoe)

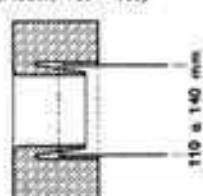


CONEXIÓN DE LOS HOGARES

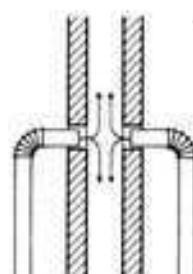
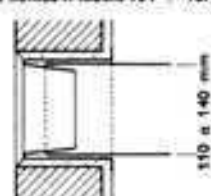


No conviene que el tubo de la estufa penetre demasiado en la chimenea

Enchufe de hormigón para tubo de humos (Modelo 900 - 903)



Enchufe de chapa negra para tubo de humos (Modelo 904 - 907)



Defectuoso

No conviene que dos tubos de estufa desembocquen enfrentados en la chimenea

Chimeneas de piezas moldeadas

Había una serie de razones para sustituir las chimeneas de obra de fábrica por las de piezas prefabricadas.

- La eliminación paulatina de la obra de fábrica en beneficio de otros tipos de construcción. Las chimeneas deben situarse ahora como elementos independientes delante de las paredes y no pueden construirse conjuntamente con éstas.
- Para ahorrar gastos de trabajo y de salarios se fabrican mayores elementos parciales, que pueden colocarse más fácil y rápidamente.
- Sustitución de la calefacción a base de estufas en cada local por la calefacción que caldea toda la casa, o calefacciones centrales, que hoy día funcionan casi exclusivamente con fuel-oil (raras veces con gas). Cada instalación de calefacción con más de 40 000 kcal/h necesita una chimenea propia. Este tipo de calefacción tiene unas exigencias mayores y esencialmente distintas respecto a las chimeneas.

Debido al funcionamiento intermitente, que se pone en marcha repentinamente, es decir, con plena fuerza, y luego se para con igual brusquedad para arrancar de nuevo más adelante, las paredes de la chimenea se calientan y se enfrían alternativamente. En las calefacciones de fuel-oil (o de gas) se produce una considerable cantidad de vapor de agua. Al descender la temperatura por debajo del punto de condensación esta agua se deposita en las paredes de la chimenea. Absorbe hidrocarburos que no se han quemado, ácidos sulfúrico y sulfuroso que penetran en las paredes de la chimenea y podrían causar daños. De este modo se efectúa la deposición de hollín alquitranado, que destruye paulatinamente la chimenea.

Para evitar estos defectos o bien prevenirlos, se han creado dos tipos de piezas prefabricadas para paredes de chimenea.

Chimeneas de piezas prefabricadas de pared simple

Están hechas de hormigones ligeros, resistentes al calor e incombustibles. Como áridos porosos se emplean: cascote de ladrillo, piedra pómez natural, pómez siderúrgico, arcilla expandida y escoria volcánica porosa. Sólo se fabrican como secciones hasta 700 cm² y deben corresponder a las prescripciones de la DIN 8150.

Las dimensiones de la chimenea son:

con secciones cuadradas	135 x 135 mm
	200 x 200 mm
	260 x 260 mm
con secciones circulares	135 mm Ø
	165 mm Ø
	200 mm Ø
	230 mm Ø
	260 mm Ø

La altura de los tambores es de 243, 326 y 493 mm, las partes laterales de las piezas se fabrican en algunos casos de forma maciza, en otros casos están equipadas con huecos (DIN 18 150, pág. 2).

Para las aberturas de limpieza, las conexiones con los tubos, las cabezas de las chimeneas y las piezas de curvatura existen los correspondientes elementos prefabricados; últimamente también se fabrican piezas que cubren toda la altura de un piso. Con ellos se presenta la última simplificación posible en la construcción por montaje de las chimeneas.

Chimeneas de piezas prefabricadas de pared doble

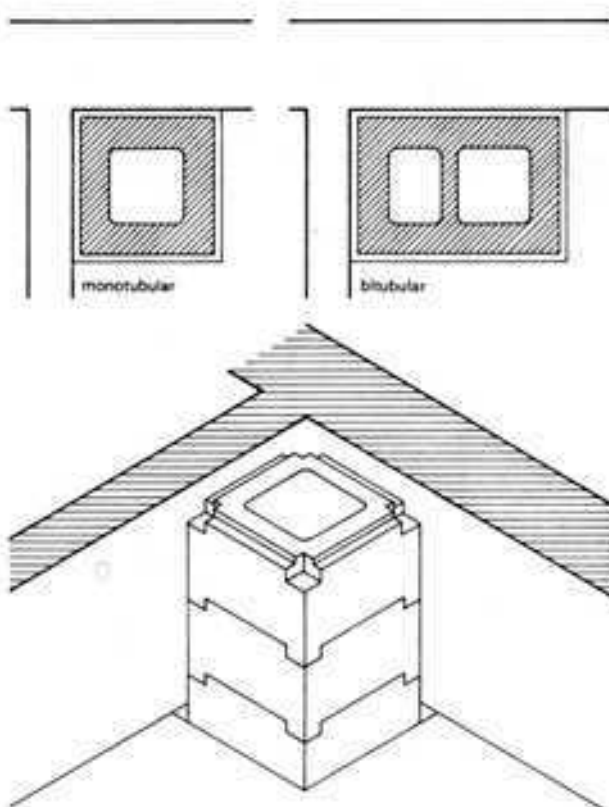
Las chimeneas redondas de pared doble o triple cumplen mejor con las exigencias de las calefacciones intermitentes y sus gases de humo.

En este caso las funciones de la chimenea se dividen en el tubo móvil, el aislamiento térmico y el revestimiento sustentante. El tubo es de materia refractaria, de poco grueso y con una superficie lisa y resistente al fuego y a los ácidos.

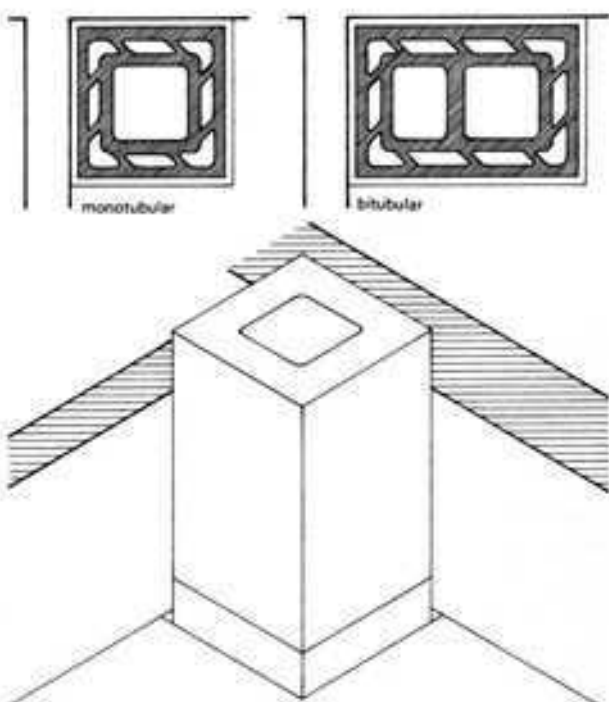
Los distintos tambores, que están provistos de pliegues, se colocan cuidadosamente dejando juntas de 7 mm de grueso como máximo. Como mortero se aplica mortero de cal y cemento del grupo II, o mejor cementos antiácidos. En la ejecución de la cabeza de la chimenea debe cuidarse de que el tubo interior tenga suficiente libertad de movimiento bajo el remate de la chimenea, calculando 1 mm por cada metro en altura. Así pues, para

CHIMENEA DE PIEZAS PREFABRICADAS DE PARED SIMPLE

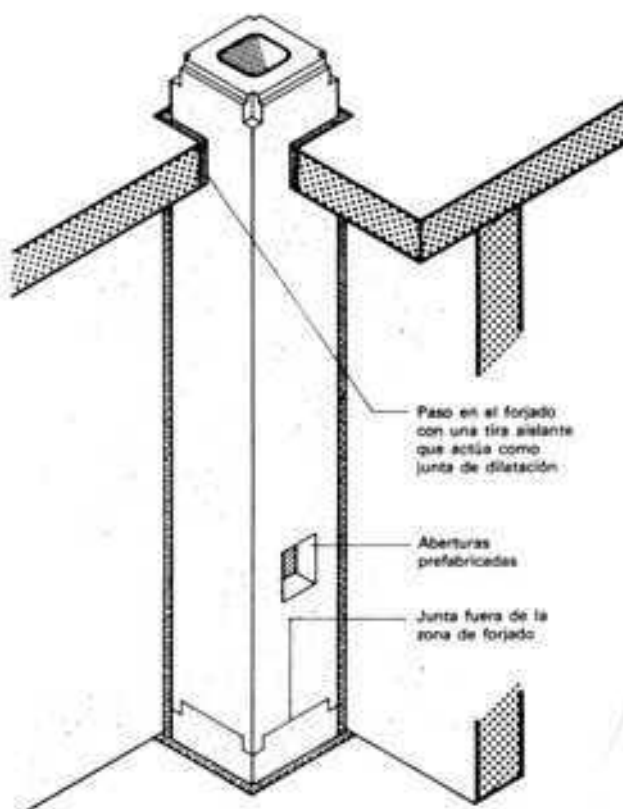
Sistema Schwendilator



Sistema Schöber



CHIMENEA QUE CUBRE LA ALTURA DE UN PISO PIEZAS PREFABRICADAS DE HORMIGÓN ESPECIAL



una altura de chimenea de 100 m, el juego será de 100 mm. El espacio entre el tubo interior y la envolvente puede dejarse hueco o llenarse con piezas prefabricadas de lana mineral endurecida. Cuando el espacio intermedio se deja hueco, debe introducirse en cada junta de tambor una cuerda de lana mineral para mantener el tubo en su posición exacta. Sin embargo, una solución mejor y más segura se logra con piezas moldeadas de lana mineral, que deben aplicarse sobre todo cuando las chimeneas están situadas en locales sin calefacción, como, por ejemplo, en cajas de escalera, o incluso junto a paredes exteriores, o cuando se trata de chimeneas con funcionamiento durante el verano, como p. ej. para el suministro de agua caliente.

Las piezas de la envolvente de hormigón ligero (cascote de ladrillo, pómez, arcilla expandida) se colocan con mortero de cal y cemento, grupo de mortero II, dejando juntas de 10 mm de grueso.

Los tubos de chimeneas de pared doble o triple existen en escalonados tan estrechos que pueden adaptarse óptimamente a las dimensiones de la instalación, es decir, al diámetro del tubo de humos hallado por cálculo. Los distintos fabricantes ofrecen naturalmente también todas las piezas moldeadas necesarias, incluso para los conductos de humo.

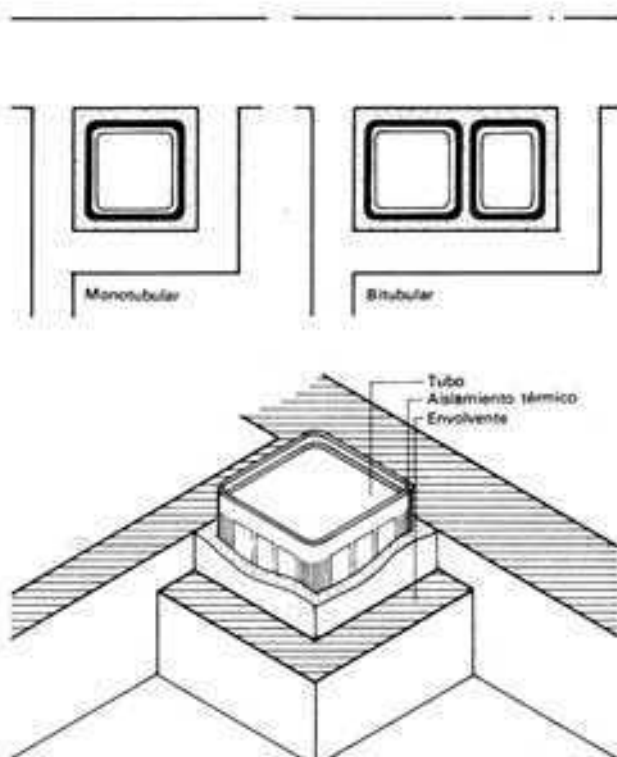
En caso de que no existan piezas prefabricadas para la envolvente de una chimenea, se realizará con obra de fábrica, placas de pómez, hormigón u hormigón armado. El espacio entre los tubos y la envolvente se llena normalmente con tierra de infusorios ligada con cemento, que es aislante térmica y también mantiene los tubos en su posición exacta.

Chimeneas aisladas

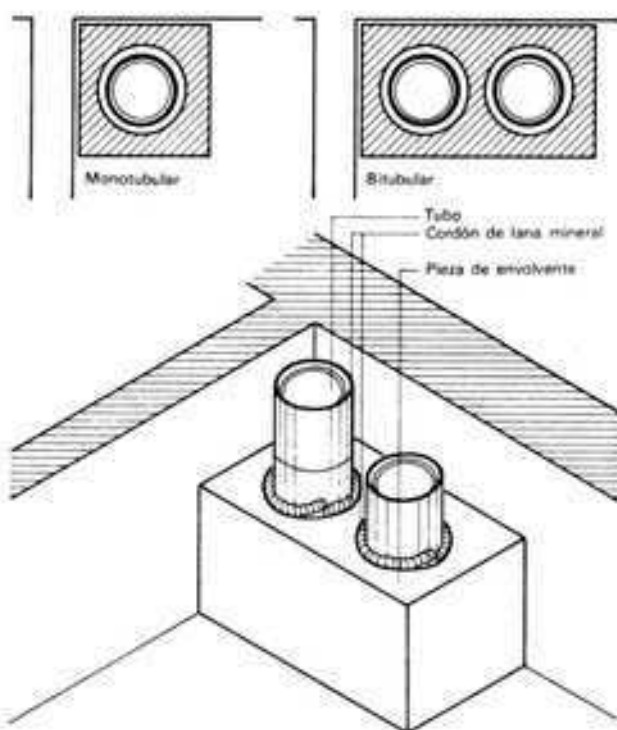
Dejando aparte el caso de las chimeneas industriales, hoy día se construyen a menudo casas de viviendas, colegios y otros tipos de edificios con chimeneas exentas. Algunas veces estas chimeneas aisladas son muy ventajosas para la planta, y en las construcciones planas y extendidas pueden proporcionar el deseado elemento vertical. La DIN 1056 rige el cálculo y la ejecución de las chimeneas aisladas.

CHIMENEA DE PIEZAS PREFABRICADAS DE PARED DOBLE

Sistema: Plewa



Sistema Schiedel



CHIMENEA DE PIEZAS PREFABRICADAS
TUBO CIRCULAR CON ENVOLVENTE



Monotubular



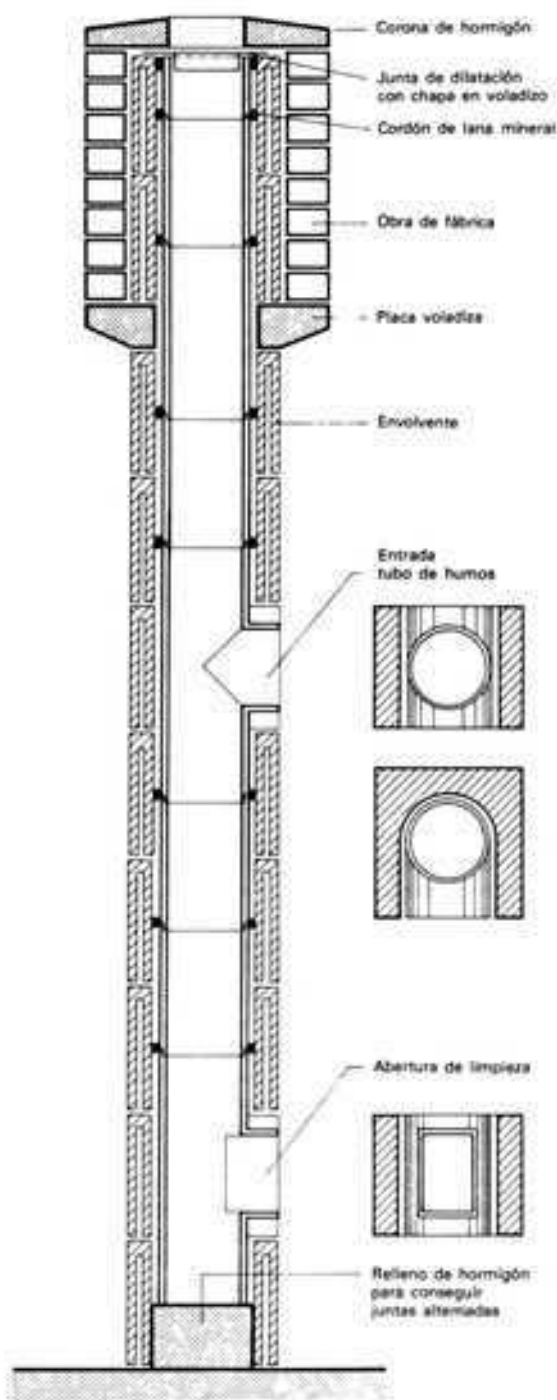
Monotubular
con ventilación



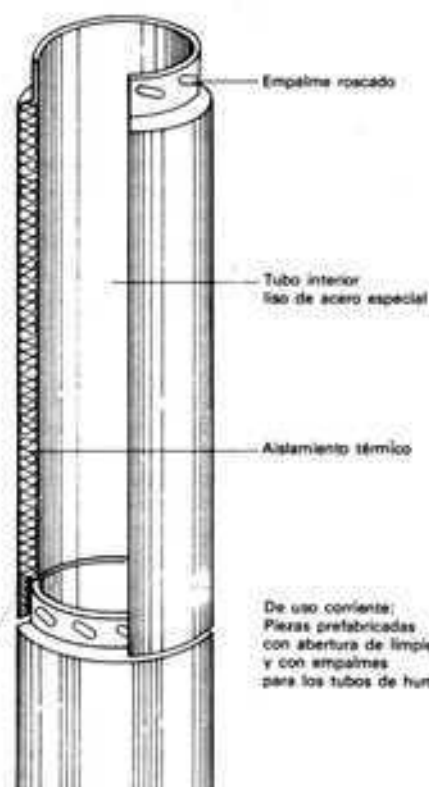
Bitubular



Bitubular
con ventilación

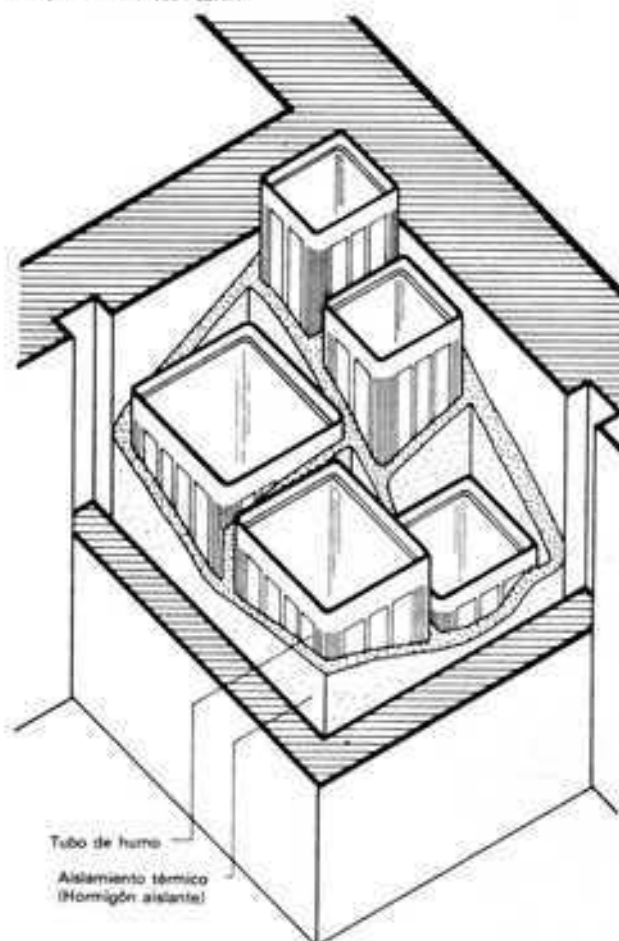


CHIMENEA DE PARED DOBLE DE ACERO ESPECIAL
PIEZAS PREFABRICADAS
ROSCADAS A PRUEBA DE GAS



De uso corriente:
Piezas prefabricadas
con abertura de limpieza
y con empalmes
para los tubos de humo.

Grupo de chimeneas PLEWA



Contrariamente a las chimeneas situadas en el interior del edificio las chimeneas aisladas pueden funcionar con sobrepresión, de modo que existe una cierta libertad al determinar la altura. Una chimenea con una buena acumulación térmica es ventajosa para mantener un tiro uniforme. Así pues, la tradicional obra de fábrica puede emplearse tanto para las chimeneas como para las paredes interiores y exteriores.

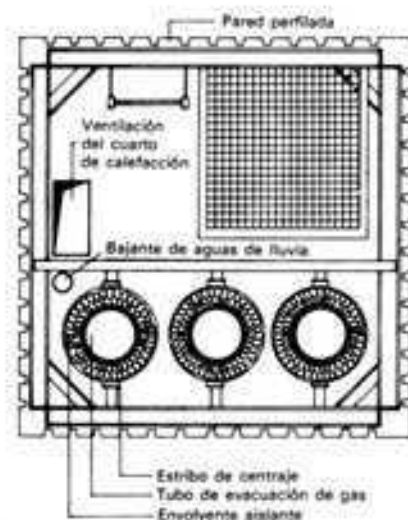
La sección circular no sólo es la mejor forma para la columna de humo ascendente, sino que su perímetro es 1/5 veces más pequeño que el de una sección cuadrada. En cuanto a posibles deflagraciones, la sección circular representa una ventaja respecto a la cuadrada por evitar tensiones de resiliencia.

A causa del movimiento continuo del tubo (dilatación y contracción en altura y en sección), éste debe ser móvil, pero manteniéndose lo más excelentemente posible en su posición, ya que la más pequeña desviación de la vertical puede causar un considerable aumento de la presión en la junta de asiento de los elementos de pared delgada.

Cuando la envolvente sirve de estructura sustentante contra los esfuerzos del viento, su dimensionado debe ser realizado por un especialista en estática. Esta envolvente puede ejecutarse, además, si se quiere, como aislamiento térmico y resistente a la intemperie. Son posibles las construcciones macizas como obra de fábrica, hormigón o piezas prefabricadas de hormigón, al igual que entramados metálicos con revestimientos ligeros.

El mantenimiento requiere la previsión de escalas, dispositivos de agarre y plataformas de trabajo. Finalmente debe concederse importancia a la protección contra los rayos, ya que estas chimeneas normalmente están muy expuestas.

CHIMENEA DE TORRE
SISTEMA KEMMLIT



Cabeza de la chimenea

Al ganar altura, los humos sufren el enfriamiento correspondiente. En chimeneas con un buen aislamiento térmico, hay que contar con aproximadamente $0,5^\circ$ por cada metro de altura, si bien a veces se mide un descenso de temperatura de 1° . Es decir, para una altura de chimenea de 100 m y una temperatura de entrada de los humos de 200°C puede darse una caída térmica de hasta 100°C . En la cabeza de la chimenea los gases tendrán entonces sólo una temperatura de 100°C . En la calefacción de fuel-oil, que siempre tiene un contenido más o menos grande de azufre, puede descenderse eventualmente por debajo del punto de condensación. La temperatura de condensación depende en cada caso del contenido de azufre del fuel-oil y del exceso de aire, y por lo tanto no puede determinarse con exactitud. El peligro de la posible formación y expulsión de gases que contienen ácido sulfuroso o ácido sulfúrico aumenta, pues, con el incremento en altura de la chimenea. Precisamente por ello debe exigirse que el material de la cabeza de la chimenea sea resistente a los ácidos y tenga un poder higroscópico muy pequeño, como

p. ej. el material refractario o el acero V2A. Para proteger la construcción misma y el medio ambiente la chimenea debe ejecutarse con suficiente altura para sobresalir de la cubierta o de los edificios vecinos. La velocidad de salida se reduce al aumentar la altura de la chimenea, con el creciente enfriamiento de los gases y también al aumentar la temperatura exterior. Las exigencias de las autoridades de control respecto a la altura de las chimeneas, por encima de la cubierta y respecto a la velocidad de salida son, necesariamente, cada vez más duras al aumentar el contenido de azufre y por lo tanto el peligro de contaminar el medio ambiente.

Si no se puede o no se quiere hacer llegar la chimenea y la salida de humos a suficiente altura sobre la cubierta, de modo que las plantas superiores queden preservadas de los gases sulfúricos, se intentará aumentar la velocidad de salida de los gases. La solución más fácil para ello es estrechar el extremo del tubo de humos, es decir, disponer una tobera. Sin embargo, existe entonces el peligro de que se produzcan presiones dinámicas en la parte superior de la chimenea. Por estas posibles presiones dinámicas, algunas autoridades no permiten el empleo de dichas toberas.

Otra posibilidad de aumentar la velocidad de salida de los humos es la disposición de un ventilador (tiro por aspiración) en la cabeza de la chimenea. Este ventilador se acoplará en caso de calefacción intermitente. Aunque su coste es reducido, su funcionamiento está, sin embargo, sujeto a averías, como ocurre con todos los aparatos técnicos.

En la cabeza de chimenea también debe tenerse en cuenta la dilatación térmica del tubo de humos. Sin embargo, en las calefacciones intermitentes y por el mayor enfriamiento de los gases a medida que aumenta la altura, esta dilatación nunca alcanza el valor calculado. Según la experiencia, basta contar con 1 mm por cada metro de altura. Estas variaciones de longitud habrán de considerarse en la ejecución de la cabeza de la chimenea y para los posibles remates.

Influencia del ángulo de incidencia del viento en el tiro de la chimenea:

- Viento ascendente -10° — Aspiración hasta aprox. 2,5 mm columna de agua
- Viento horizontal — Aspiración hasta aprox. 1,8 mm columna de agua
- Viento descendente $+12^\circ$ — Sobrepresión (puede evitarse mediante remate de chimenea)

Las chimeneas situadas en el interior de la construcción y que no pueden construirse sin juntas, siempre tienen que funcionar con presión negativa, con el fin de evitar que los gases de humo penetren en el edificio.

En las calefacciones de fuel-oil con sobrepresión la aspiración necesaria para el proceso de combustión se produce mediante unos ventiladores acoplados con el quemador.

Conductos de humos

En las grandes instalaciones de calefacción, que generalmente funcionan con varias calderas, éstas casi nunca pueden empalmarse directamente con las chimeneas (lo que sería la mejor solución); en parte ya sólo por la distancia necesaria entre las calderas y la chimenea, pero en la mayoría de los casos debido a que la distribución de la planta lo impide.

El conducto de humo es una conexión de considerable longitud entre la caldera y la chimenea. La posible sobrepresión debe regularse de tal modo que al entrar en la chimenea quede reducida a cero. En caso de espacios limitados se emplean calderas de sobrepresión. Tienen la ventaja de poseer una base de caldera aproximadamente un 20% más pequeña (debido a la desviación de la llama).

Al proyectar una instalación de calefacción con conductos de humo hay que tratar siempre de mantener los tubos lo más cortos posibles. Como longitud máxima se calcula un 25% de la altura de la chimenea, medida desde la entrada del conducto de humo. Sin embargo, esta proporción no vale para cualquier altura de chimenea. Sólo en casos excepcionales la longitud del conducto excede de 8 m. Casi nunca se puede prescindir de uno o dos cambios de dirección. Para no frenar demasiado el tiro de

la chimenea, deben evitarse las curvaturas vivas y hacerse los cambios de dirección lo más esbeltos posible. Los conductos de humo de mayor longitud tendrán una pendiente de aproximadamente 10% hacia la chimenea y se introducirán en ésta formando un ángulo de 45°.

Se elige preferiblemente la misma forma de sección que tiene la chimenea, pero un 20% mayor. Para los conductos de humo en calefacciones de carbón o coque con chimeneas de sección cuadrada se empleó una sección de la misma anchura, pero algo más alta. Para las modernas chimeneas circulares se emplean también secciones circulares o bien piezas prefabricadas especiales. Cuando los conductos de humo tienen un trazado lineal simple, no son demasiado largos y van tendidos sobre el suelo (es decir, no están parcial o totalmente empotrados en el terreno) se fabrican de preferencia en acero. Para conductos de mayor longitud y con varias curvaturas se emplean piezas prefabricadas de chamota. En las calefacciones de carbón y coque, los conductos de humo se construyen con ladrillos de chamota, disponiéndose además un registro para graduar el tiro.

Todos los conductos de humo deben tener al menos una abertura de limpieza en su extremo. Los conductos de gran longitud hechos de ladrillos de chamota deben poseer aberturas de limpieza adicionales cada 3 m o menos.

A diferencia de las chimeneas, que en los edificios están rodeadas por zonas con temperaturas promedio anual de unos 20°, los conductos de humos están introducidos parcial o totalmente en el terreno. Pero el terreno sólo tiene una temperatura media anual de 7° C. El enfriamiento de los gases ya en el conducto de humo es muy desfavorable para el tiro. Por ello, todos los conductos de humo requieren un aislamiento térmico reforzado. La construcción y el dimensionado de los conductos de humo de mayor tamaño y más complicados requieren aparte del conocimiento técnico una gran experiencia que sólo poseen los especialistas.

Directrices para los cuartos de calefacción

Para la construcción y acondicionamiento de cuartos de calefacción centralizados y sus correspondientes almacenes de combustibles.

1. Cuarto de calefacción

1.1. Definición

Las directrices definen como cuarto de calefacción un local donde están ubicados uno o varios hogares que funcionan con combustibles sólidos, líquidos o gaseiformes, y que se emplean para calefacción central (calefacción con agua caliente, calefacción de vapor de baja presión y calefacción por aire caliente), suministro de agua caliente para usos domésticos o industriales, con una potencia nominal (por separado o en conjunto) mayor de 40 000 kcal/h.

Las casas de calderas aisladas no están comprendidas en estas directrices.

1.2. Dimensiones

1.2.1. El cuarto de calefacción debe dimensionarse de tal modo que los hogares puedan manipularse correctamente y ser accesibles por todos los lados. En particular, delante, al lado y detrás de los hogares debe disponerse de suficiente espacio para poder realizar con facilidad la limpieza y el mantenimiento. La distancia entre la puerta del hogar y la pared opuesta del cuarto de calefacción debe ser 1 m mayor que la longitud del hogar; en caso de calderas de tubos de llama, calderas de tres tiros de humos y calderas especiales dicha distancia será 1 m mayor que la longitud de la parrilla. La distancia entre la cara posterior del hogar y la chimenea o la pared posterior del cuarto de calefacción no debe ser menor que la mitad de la distancia mínima necesaria que hay que dejar delante del hogar. Cuando haya dos o varios conductos de humos en la pared posterior del local de calefacción, esta distancia debe ser mayor.

1.2.2. En caso de hogares con una potencia nominal total hasta 60 000 kcal/h, la altura (luz) del local de calefacción debe tener como mínimo 2,10 m. Mayores potencias nominales requieren como mínimo 2,40 m.

1.2.3. La luz entre el canto superior del hogar y el canto inferior del forjado o de una jácena debe ser de 1,50 m como mínimo para una potencia nominal por hogar mayor de 125 000 kcal/h, 1,80 m como mínimo para más de 250 000 kcal/h y 2,10 m como mínimo por encima de 400 000 kcal/h. Estas dimensiones son válidas tanto para los hogares que se limpian y se ponen en funcionamiento desde arriba, como para los hogares cuyos tubos de empalme y accesorios se disponen por encima del hogar.

1.2.4. En el caso de los hogares cuya plataforma superior es transitable cuando el hogar está en servicio, la luz entre la plataforma y el canto inferior del forjado o de la jácena debe ser como mínimo de 2,20 m. Como altura de paso deben preverse 1,80 m como mínimo.

1.2.5. Las plataformas de trabajo situadas entre la cara posterior de la caldera y la pared posterior del local y por encima de los tubos de humos sólo deben hacerse con parrillas de enrejado, con vistas a una ventilación suficiente.

1.3. Paredes, techos, suelos

1.3.1. El cuarto de calefacción no debe estar en comunicación con locales habitados continuamente por personas, excepto aquellos locales que pertenecen a la instalación de calefacción y sus servicios.

1.3.2. Las paredes y los pilares del local de calefacción, así como los forjados entre éste y otros locales, deben ser incombustibles. Para los tabiques divisorios del almacén de combustibles sólidos se aplica el artículo 2.1.

1.3.3. Las paredes y los techos de los locales de calefacción deben preverse con un revoque estanco al gas, ya sea con un aditivo tapaporos o mediante un pintado adecuado (p. ej., con pintura al silicato sódico). Cualquier revestimiento que lleven (p. ej., para el aislamiento acústico) se hará sólo con materiales no combustibles.

1.3.4. Para el suelo del local de calefacción deben emplearse materiales no combustibles.

1.3.5. Los agujeros de paso para los tubos de humo o de otros conductos en las paredes, techos y suelos deben realizarse de tal modo que los gases no penetren en otros locales. Basta, por ejemplo, introducir fijamente una envoltura tubular en el agujero de paso; el espacio hueco entre la envoltura y el tubo se rellena mediante un cordón aislante resistente al calor o bien mediante una masa plástica.

1.3.6. Los artículos 1.3.1 hasta 1.3.5 y 1.7 también son válidos para los locales que se comunican directamente con los cuartos de calefacción.

1.4. Salidas, puertas y ventanas

1.4.1. Los cuartos de calefacción para hogares con una potencia nominal total de más de 250 000 kcal/h deben tener dos salidas utilizables sin riesgo en todo momento, y a ser posible opuestas, de las que una conduzca directamente al exterior. Una salida a través de una ventana puede considerarse como suficiente; si es necesario se dispondrán unos peldaños.

1.4.2. Las puertas de los cuartos de calefacción deben abrir hacia afuera y cerrar automáticamente. Las puertas que no dan al exterior deben ser como mínimo ignífugas.

1.4.3. El cuarto de calefacción debe tener al menos una ventana que dé al exterior. Ha de quedar asegurada una ventilación transversal. La superficie del hueco de la ventana tendrá, como mínimo, 1/12 de la planta del local. Los dispositivos de apertura y cierre de las ventanas se colocarán a una altura cómoda y serán de fácil manejo.

1.5. Ventilación

1.5.1. Los cuartos de calefacción, en lo posible, estarán libres de corrientes de aire y tendrán una ventilación uniforme. Las aberturas de entrada y salida de aire deben mantenerse siempre completamente abiertas; esto se indicará mediante un cartel bien visible y de material resistente.

1.5.2. Entradas de aire

1.5.2.1. El cuarto de calefacción debe tener, como mínimo, una entrada de aire.

1.5.2.2. El aire de alimentación se tomará a ser posible directa-

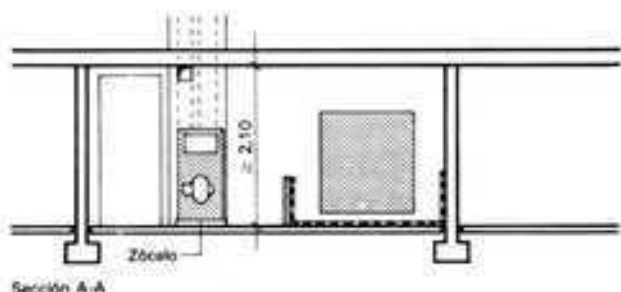
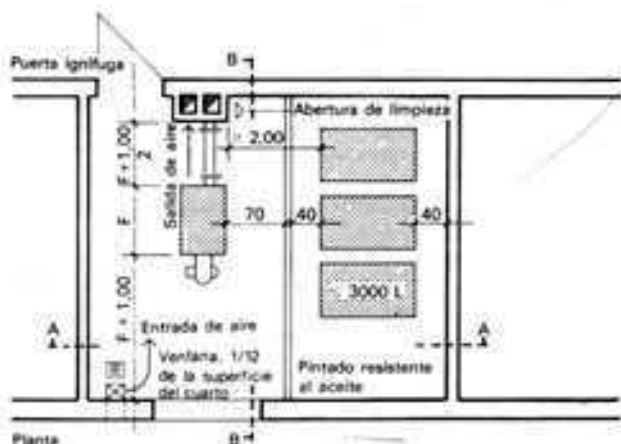
mente del exterior, aunque no en puntos cuya distancia a locales habitados continuamente sea menor de 50 cm. Respecto a las aberturas de locales con riesgo de incendios, puede prescribirse la misma distancia o una mayor, según el caso.

1.523. En el caso de hogares que funcionan con combustibles sólidos o líquidos, la sección total de las entradas de aire debe ser como mínimo el 50% de la sección de todas las chimeneas, calculado según la DIN 4705 (Cálculo de los diámetros de chimeneas para calefacciones centrales). Para los hogares de gas se calcula a base de 5 cm^2 por cada 1000 kcal/h de potencia nominal, con un mínimo de 300 cm^2 .

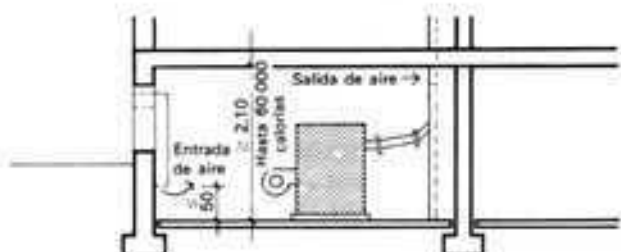
1.524. Las entradas de aire pueden situarse, como máximo, a 50 cm sobre el suelo del puesto de trabajo del fogonero.

1.525. Cuando el aire se toma de un pozo especial, la sección del mismo debe ser como mínimo un 50% mayor que la sección de entrada de aire según el artículo 1.523. La base del pozo debe situarse, como mínimo, 30 cm debajo de la entrada de aire. El pozo debe poder limpiarse con facilidad.

1.526. Las secciones de las entradas y pozos de aire necesarios según los artículos 1.523. y 1.525. no deben reducirse mediante la colocación de rejas. No deben emplearse telas metálicas de criba con mallas de pequeño tamaño. Las entradas de aire situadas junto a superficies de tránsito públicas o privadas y a una altura menor de 2 m sobre el terreno deben equiparse con rejas resistentes a los golpes.



Sección A-A



Sección B-B

Instalación de calefacción de hasta 60 000 calorías
Altura del cuarto de calefacción ≥ 2.10

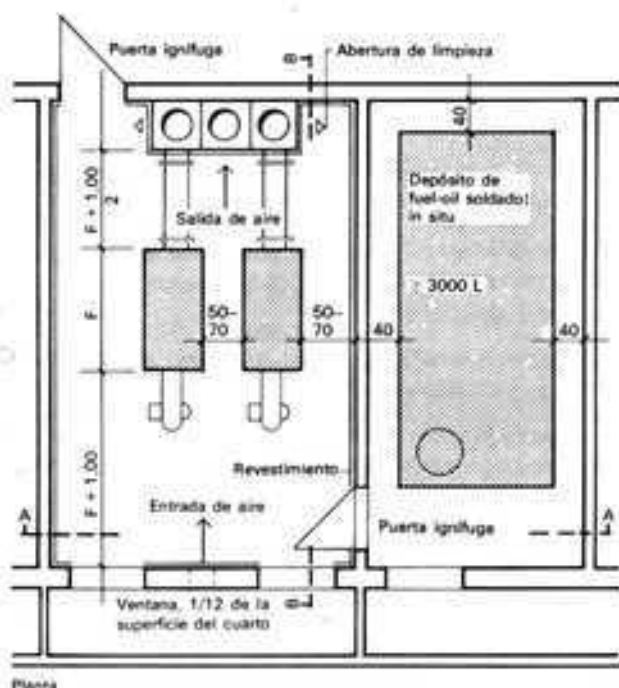
1.53. Salidas de aire

1.531. Los cuartos de calefacción con hogares para combustibles sólidos y líquidos deben equiparse con una salida de aire (abertura con pozo de aireación).

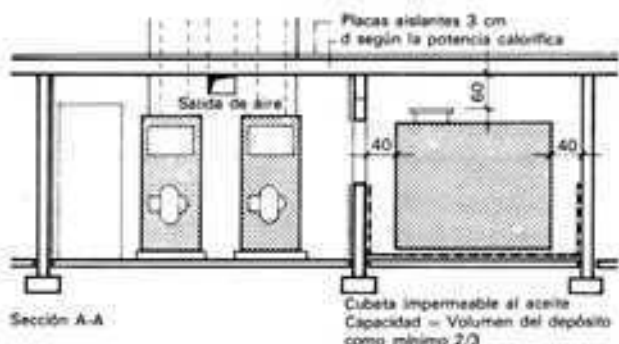
1.532. En los cuartos de calefacción con hogares de gas deben disponerse aberturas para salidas de aire en la pared exterior, situadas en el mismo lado que las entradas de aire. Los pozos de salida de aire sólo están permitidos en cuartos de calefacción con hogares centrales en la pared exterior.

1.533. Las chimeneas con placas de cubrición no pueden usarse como pozos de salida de aire.

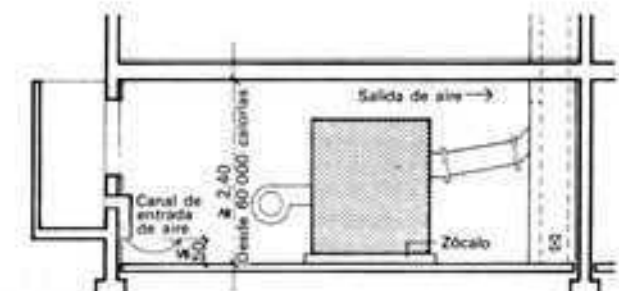
1.534. Cuando el tiro es natural, la sección total de las salidas de aire (canales) debe tener como mínimo un 25% de la sección



Planta

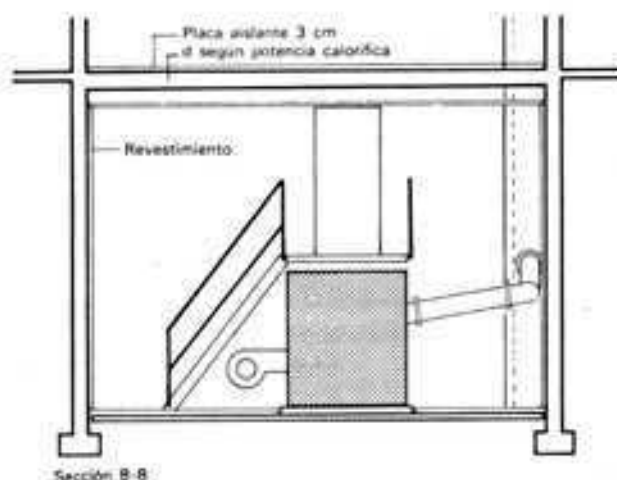
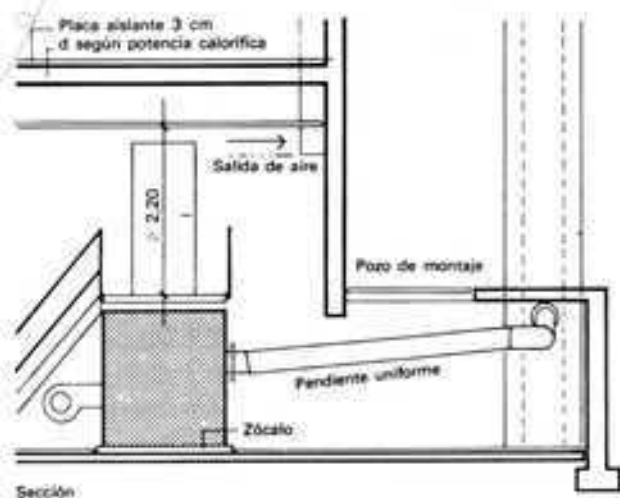
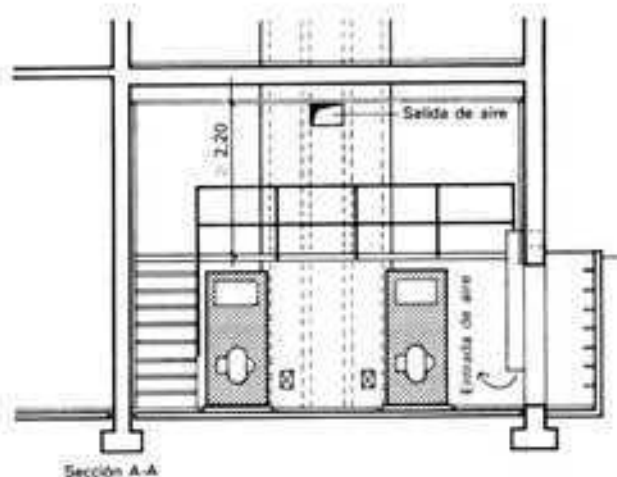
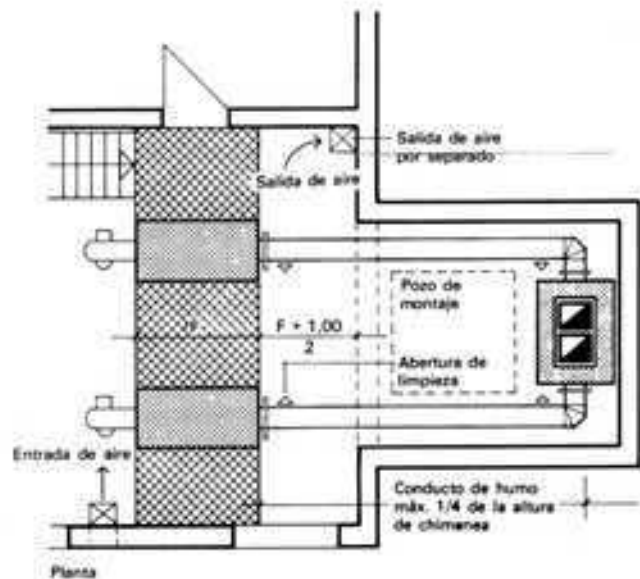
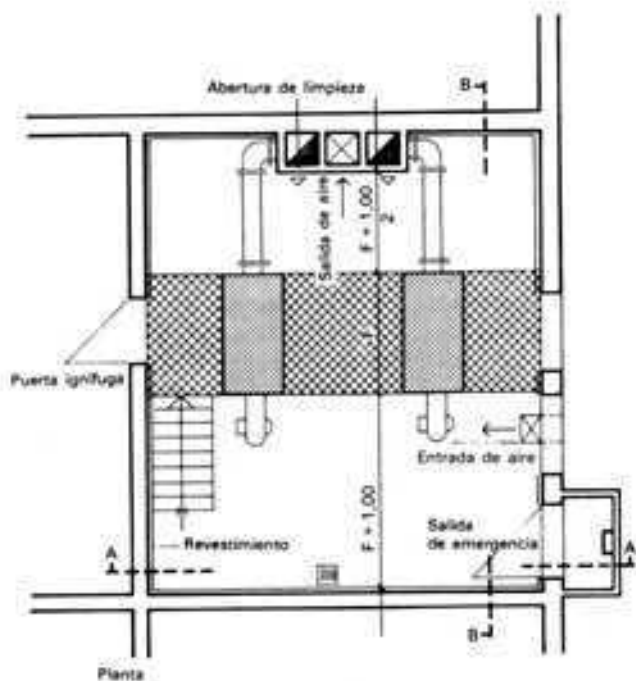


Sección A-A



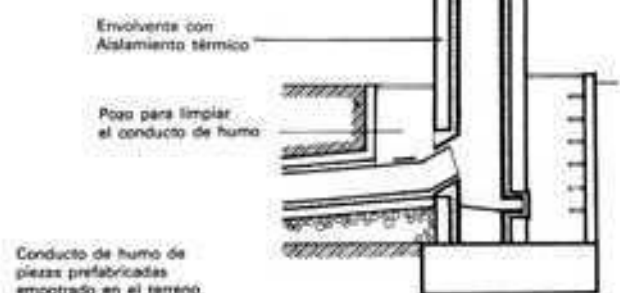
Sección B-B

Instalación de calefacción de más de 60 000 calorías
Altura del local ≥ 2.40



Instalación de calefacción con conexión a la chimenea mediante conductos de humo de piezas prefabricadas

Techos y paredes con aislamiento acústico



útil de la chimenea, pero en todo caso debe alcanzar al menos 200 cm². Cuando se trata de secciones rectangulares, el lado mayor tendrá como máximo 1,5 veces la longitud del lado más corto. La acción de las aberturas no debe ser perturbada por tuberías u otros elementos situados delante de ellas.

1.535. Las salidas de aire se dispondrán bajo el techo, lo más cerca posible de éste. No deben enrejarse.

1.536. Los pozos de salida de aire deben sobresalir de la cubierta y para conseguir un buen tiro habrán de situarse al lado de una chimenea.

1.6. Chimeneas, conductos de humo y de gases de escape, canales de humo.

1.61. Cada hogar según el artículo 1.1 para combustibles sólidos y líquidos debe tener una chimenea propia, a la que no pueden conectarse otros hogares ni conductos de ventilación. En construcciones ya existentes, puede permitirse, en casos excepcionales y hasta nueva orden, la reunión de varios hogares situados en un mismo cuarto, formando un grupo con una chimenea.

1.62. Los hogares de gas pueden ser conectados en grupos de dos o más a una chimenea común de salida de gases.

1.63. Los elementos de conexión entre el hogar y la chimenea (canales de salida de gases y humos, conductos de humo), ya sean de obra de fábrica o de hormigón, así como los tubos de humo de chapa de acero, no deben exceder en longitud de 1/4 de la altura de chimenea. En caso necesario se protegerán contra pérdidas de calor y contra humedades. El grueso de la chapa de acero en los tubos de humo será, como mínimo, de 3 mm cuando la luz del tubo es menor de 20 cm, de 4 mm cuando es menor de 30 cm y de 5 mm cuando es mayor.

1.64. Los elementos de conexión deben colocarse con pendiente hacia arriba. El registro y las válvulas de mariposa han de poder extraerse fácilmente a efectos de control y limpieza; en su parte superior irán provistos con salidas de aire cuya superficie continua no tenga menos de 3% de la sección, pero como mínimo 20 cm².

1.7. Iluminación

Los cuartos de calefacción deben equiparse sólo con luz eléctrica.

2. Almacenes de combustibles para hogares definidos en el artículo 1.1

2.1. Combustibles sólidos

Cuando se almacenen en edificios los combustibles sólidos para hogares que tienen una potencia nominal mayor de 125 000 kcal/h, se necesita un cuarto especial (almacén de combustibles) que debe estar separado del cuarto de calefacción mediante una pared resistente al fuego. No se permiten aberturas en esta pared.

2.2. Fuel-oil

2.21. Cuando se almacena fuel-oil (DIN 51 603) en edificios, se precisa un local especial (almacén de combustible) cuyas paredes resistentes al fuego deben establecer la separación con todos los locales vecinos. El local debe construirse de tal modo (p. ej., umbrales, rehundidos, cubetas) que en el caso de una avería el fuel-oil no pueda escapar al exterior, a otros locales, al alcantarillado o al agua subterránea. El suelo de este local debe ser suficientemente impermeable al fuel-oil y de un material incombustible. Las puertas deben ser, como mínimo, ignífugas. El almacén debe poder ventilarse.

2.22. En el cuarto de calefacción pueden almacenarse hasta un total de 3000 l de fuel-oil, si se cumplen las prescripciones del artículo 2.21:

2.222. los depósitos no están situados encima de los generadores de calor y sus tubos de humo correspondientes; y

2.223. los depósitos de los generadores de calor y los tubos de humo distan entre sí 2,00 m como mínimo. La distancia puede reducirse a 1,00 m, si se dispone contra el calor de radiación una pared aislante de material incombustible entre los generadores o sus correspondientes tubos de humo y los depósitos.

2.3. Almacenamiento común de combustibles sólidos y líquidos
Cuando se almacenen combustibles sólidos y líquidos conjunta-

mente en un local deben tomarse precauciones para que en caso de derrame el fuel-oil no se mezcle con los combustibles sólidos.

2.4. Iluminación

Los almacenes de combustibles sólo deben iluminarse con luz eléctrica.

Aislamiento acústico en los cuartos de calefacción

Las modernas calefacciones centrales de gas y de fuel-oil producen mucho más ruido que las antiguas de carbón y de coque. Por experiencia se puede decir que el nivel de ruido aumenta bastante uniformemente con el tamaño de la instalación. Cuando las calefacciones centrales se sitúan en casas de viviendas, de oficinas o en otros edificios habitados continuamente, según la DIN 4109 no debe excederse el nivel de sonido de 30 dB en los locales vecinos o en los situados encima.

De acuerdo con el tamaño del edificio y de la instalación de calefacción, deben preverse las correspondientes medidas de aislamiento acústico.

El nivel de sonido esperado no puede hallarse previamente con exactitud mediante cálculo. Sin embargo, se puede decir por experiencia que, por ejemplo, en las casas unifamiliares de tamaño moderado no es necesario prever unas medidas adicionales de aislamiento acústico con los modernos quemadores, calderas y bombas. El límite superior que actualmente cubre el aislamiento acústico exigible en las calefacciones de edificios es de aproximadamente 500 000 kcal/h. Comprobaciones efectuadas en grandes instalaciones de calefacción situadas en sótanos o encima de cubiertas han demostrado que, contra antiguas suposiciones y temores, las calefacciones encima de la cubierta dan un mejor resultado respecto al aislamiento acústico —o dicho de otra forma: los problemas del aislamiento acústico pueden resolverse más fácilmente en las calefacciones situadas en la cubierta que en el caso de las calefacciones situadas en el sótano.

Las calefacciones con una potencia mayor de 0,5 x 10⁶ kcal/h se dispondrán preferiblemente en centrales aisladas. El desarrollo tiende cada vez más hacia instalaciones de gran potencia y calefacciones a distancia.

Origen de los ruidos

Según su origen, se distinguen:

Ruidos del quemador

Se producen en la boquilla aspiradora y en el inyector.

Ruidos de la combustión.

Cualquier combustión a la que se inyecta aire produce un considerable ruido debido a la turbulencia del proceso, ruido que se manifiesta como un zumbido por tener bajas frecuencias. Estas, en pequeñas instalaciones, oscilan entre 30 y 50 Hz y al aumentar el tamaño de la instalación descienden hasta unos 10 Hz. La caldera actúa aquí como la caja de resonancia de un instrumento musical en la zona de la frecuencia natural, amplificando el sonido por las bajas frecuencias, mientras las frecuencias altas son reducidas por las paredes de la caldera.

Ruidos de pulsación

Las variaciones en la cantidad de aire o de fuel-oil o una mezcla irregular de combustible-aire causan las llamadas pulsaciones. Por la resonancia de la caldera, el sonido de la llama puede aumentarse tanto, que alcance eventualmente un nivel fónico de 100 dB y aún más.

Ruidos de conducciones y bombas

Debido a su elasticidad, los tubos de acero, a semejanza de la madera, son muy apropiados para transmitir oscilaciones. Como en una instalación de calefacción existen diferentes diámetros y longitudes de tubo, se produce en colaboración con los radiadores un eficiente sistema de transmisión y de amplificación de

sonido. Aunque las bombas funcionan normalmente hoy día sin producir ruidos molestos, sin embargo, cuando las frecuencias propias del sistema de tuberías coinciden por casualidad con la frecuencia de excitación de una bomba en marcha, el sistema de conductos amplifica tanto el sonido que éste resulta molesto.

Medidas contra la transmisión de ruidos

Ante todo se intentará mantener el nivel de sonido de la instalación de calefacción lo más bajo posible. Este criterio se tendrá en cuenta ya al elegir la caldera y el quemador. En el caso de las calefacciones de gas, los quemadores atmosféricos, p. ej., causan menos ruido que un quemador de sobrepresión. Una caldera de hasta 100 000 calorías tiene un nivel de sonido menor que una caldera grande. Por lo tanto, a efectos fónicos es más favorable unir varias pequeñas unidades en una instalación grande que instalar una sola caldera grande. Si, por ejemplo, una caldera produce un nivel de sonido de 80 dB, este nivel sube de 80 dB a sólo 83 dB al instalar dos calderas. El nivel total de ruido de un local se determina por la fuente de sonido más fuerte. Por ejemplo, cuando en el caso de dos calderas una tiene un nivel de sonido de 10 dB menos que la otra, el nivel de sonido total del local será el de la caldera mayor. Si el nivel total de sonido de un local puede reducirse en 10 dB, se percibirá con la mitad de fuerza que antes (y al contrario, un sonido se percibirá con doble fuerza al aumentar el nivel en 10 dB).

Sonido transmitido por los sólidos

Ya en el momento de instalar la caldera debe impedirse la transmisión del sonido a través del suelo del sótano al resto del edificio. A tal fin la caldera se coloca sobre un bastidor de muelles de acero inoxidable o sobre una placa de hormigón separada del suelo mediante placas aislantes.

Para evitar la propagación del sonido al edificio a través de las tuberías empalmadas, los tubos no se conectan rígidamente a la caldera, sino que se intercalan unas uniones de goma y metal. Las tuberías no se fijan tampoco rígidamente en las paredes y techos o en los pasos a través del forjado. Del mismo modo, los tubos para humos y los conductos de humo tampoco se fijan rígidamente a la chimenea, sino que el espacio hueco alrededor del tubo se rellena con un material elástico e incombustible, como p. ej. cordón de amianto.

Sonido transmitido por el aire

Desde la caldera también se transmite el sonido a la chimenea, y éste sólo disminuye en 10-15 dB (incluso en los edificios altos) hasta llegar a la desembocadura de la chimenea, por lo que en algunos casos puede molestar a los edificios vecinos. Para reducir la transmisión de sonido a la chimenea, puede montarse en el conducto de humo un tramo de absorción acústica, que se confeccionará de forma que no haya repentinidades disminuciones de sección.

Las chimeneas modernas de pared doble o triple no transmiten sonidos importantes a los locales vecinos.

Los ruidos que se producen en las boquillas aspiradoras y en los inyectores pueden reducirse mediante un revestimiento de absorción acústica en el canal de entrada de aire.

El ruido procedente del cuarto de calefacción se transmite no sólo por la chimenea, sino también por la puerta del local y en las grandes instalaciones además por la abertura de aspiración de aire. Por lo tanto, es aconsejable equipar las puertas con un aislamiento acústico adicional y asimismo en la abertura de aspiración debe disponerse un amortiguador de sonido, para proteger contra ruidos molestos a las viviendas situadas encima del cuarto de calefacción (incluso en caso de tener las ventanas abiertas). Fonometrias efectuadas en instalaciones de calefacción de distintos tamaños han mostrado que el aislamiento contra el sonido aéreo en el cuarto de calefacción es todavía más importante que el aislamiento contra el sonido a través de los cuerpos sólidos. Como protección contra la transmisión aérea, ante todo, el techo del cuarto de calefacción debe hacerse con una placa de hormigón armado de 20-30 cm (según el tamaño de la instalación).

Sobre el forjado bruto se colocan placas aislantes cuyo grueso sea >3 cm y sobre éstas se aplica una capa >5 cm de pavimento flotante. Además, las paredes del cuarto deben tener suficiente peso y espesor. En las grandes instalaciones, cuando estas medidas no resulten suficientes, deben colocarse además unas placas de aislamiento acústico delante de las paredes y a 30 cm del forjado un cielo raso colgado, absorbente y amortiguador de sonidos. La prescripción de la DIN 4109, según la cual el nivel de sonido de locales habitados situados encima de cuartos de calefacción no debe exceder de 30 dB, tiene que cumplirse en todos los casos.

Chimeneas para la evacuación de gases

Contra lo que ocurre con los hogares para combustibles sólidos y líquidos que requieren siempre un tubo de salida para los gases resultantes de la combustión, existe una serie de aparatos domésticos en los que se quema gas sin necesidad de una instalación especial para evacuar los productos de la combustión. Estos aparatos son los pequeños fogones y aparatos de gas. Las instalaciones alimentadas con gas y que requieren la evacuación de los gases quemados se denominan hogares de gas. El que una instalación de quemadores de gas deba clasificarse en el primero o en el segundo grupo depende del volumen de gas que consuma por hora en relación con la capacidad del local y de la ventilación de éste. Para más detalles sobre este punto puede recurrirse a las "Prescripciones técnicas y reglas para el montaje y conservación de las instalaciones de gas a baja presión en los edificios e inmuebles: DVGW-TV 60 Gas". La diferencia entre "aparato" y "hogar" se establece allí en los siguientes términos:

a) Aparatos de gas son dispositivos ("instalaciones para el empleo del gas") que producen una cantidad de gases como resultado de la combustión, suficientemente pequeña, o que se hallan en locales suficientemente grandes, para que no necesiten ninguna instalación especial para la evacuación de tales productos gaseosos, pues es suficiente la renovación del aire que naturalmente tiene lugar en el local. A estos aparatos de gas pertenecen, p. ej., los fogones de cocina, los hornillos domésticos de gas, las planchas para ropa, el alumbrado por gas, las neveras, etc.

b) Hogares de gas son aquellas instalaciones en que los productos gaseosos de la combustión tienen que ser evacuados mediante disposiciones especiales (instalaciones para gases de escape). A estos hogares de gas pertenecen, p. ej., las estufas para el caldeo de locales, las calderas de lavaderos, los grandes calentadores de agua, etc.

c) Existen aparatos que consumen gas (p. ej., los pequeños calentadores de agua) que en unos casos pueden ser considerados como "aparatos de gas" y en otros como "hogares de gas", a pesar de ser sus características siempre las mismas (incluso el consumo de gas). Depende de las circunstancias de la instalación (p. ej. las dimensiones del local, la duración del servicio, etcétera).

Lo mismo que en el caso de las chimeneas para humo, la cantidad de gases de escape a evacuar, que se producen por hora, depende también, en las chimeneas de evacuación de gases de escape, de la potencia calorífica de los hogares de gas conectados a ellas, que junto con el poder calorífico del gas determinan el consumo horario de éste. El gas del alumbrado que producen las fábricas viene a tener por término medio la siguiente composición:

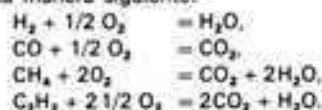
Gases combustibles:

54 %	H ₂	(Hidrógeno),
7 %	CO	(Óxido de carbono),
28 %	CH ₄	(Metano),
3 %	C _m H _n	(Hidrocarburos, en su mayor parte, C ₂ H ₂ : acetileno).

Gases no combustibles:

2 %	CO ₂	(Ácido carbónico),
0,5 %	O ₂	(Oxígeno),
5,5 %	N ₂	(Nitrógeno).

Al producirse la combustión, los gases combustibles reaccionan de la manera siguiente:



Cuando se quema 1 Nm³ de gas del alumbrado o gas de ciudad se producen unas 3500 a 4000 kcal, se consumen de 4 a 4,5 Nm³ de aire y se producen unos 4,0 Nm³ de gases residuales. Estos últimos contienen principalmente como productos de la combustión ácido carbónico y vapor de agua y, junto con ellos, pequeñas cantidades de óxido de carbono y de nitrógeno contenidas ya en el gas de origen, así como una mayor proporción de nitrógeno procedente del aire comburente y del exceso de aire arrastrado.

El aire en exceso, en los buenos hogares de gas, no suele rebasar 1,0 a 1,1 veces el aire necesario teóricamente.

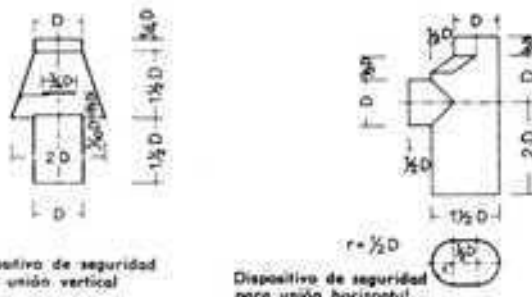
El punto de rocío de los gases de la combustión llega como máximo a los 60° C. Puede contarse con unos 800 g de vapor de agua por m³ de gas quemado. El descenso del punto de rocío mediante una prudente y bien calculada adición de aire a la temperatura del local es conveniente para la seguridad del tiro y para evitar o reducir la condensación de cantidades de vapor relativamente grandes. Una mayor protección térmica de las paredes de la chimenea y la situación de ésta, por entre dos chimeneas de humo constantemente en servicio que le presten su calor, actúan favorablemente (menores condensaciones) y aumentan el tiro. Como en muchos casos no es posible impedir la formación de grandes cantidades de agua condensada, se construyen las chimeneas de evacuación de gases de combustión con paredes impermeables. El agua de condensación que escurre entonces hasta la base de la chimenea es recogida allí en un recipiente recambiable que permite extraerla.

De tanta importancia como la evacuación de los gases de la combustión es el suministro y aportación de una cantidad suficiente de aire fresco. Cuando esta aportación de aire es insuficiente pueden presentarse sucesivamente los siguientes peligros para la salud y la vida:

Falta de oxígeno - Aumento de la proporción de CO₂ en el aire - Combustión imperfecta - Formación de CO - Extinción de la llama - Llegada de gas sin quemar.

Hay peligro inmediato para la vida, si existe en el aire del local una proporción de CO₂ del 100 % o una proporción de CO del 4 %.

La instalación de evacuación de gases en un hogar para combustible gaseoso comprende el conducto de salida de los gases quemados, desde la boca de salida del hogar hasta la desembocadura de los gases por el extremo de la chimenea. Todos los hogares de gas tienen que llevar interpuesto un dispositivo de seguridad en su conexión con la chimenea de evacuación de los gases. En general, este dispositivo de seguridad es suministrado por el mismo fabricante del hogar de gas y debe ser montado de acuerdo con sus prescripciones.



Si el fabricante no entrega con el hogar de gas ningún dispositivo adecuado de seguridad, se aplicará uno que esté de acuerdo con las normas DVGW-TV R Gas. Un dispositivo de seguridad debe estar calculado en sus dimensiones de manera que la combustión y la corriente de gases en el hogar no sufran perturbación alguna.

SECCIÓN TRANSVERSAL DE LOS TUBOS DE EVACUACIÓN DE GASES

Capacidad de la conexión H _{0,8} = 3600 kcal/m ³	Carga normal		Circular		Cuadrado		Rectangular		
	m ³ /h	kcal/min	1000 kcal/h	d	a	a	b		
			~	cm	cm	cm	cm	cm	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,8	bis 50	bis 3	20	5	25	5	24	6	4
0,8-1,2	50-75	3-5	28	6	36	6	35	7	5
1,2-1,8	75-108	5-7	38	7	49	7	48	8	6
1,8-2,5	108-165	7-10	50	8	64	8	70	10	7
2,5-4,2	165-250	10-15	62	9	81	9	77	11	7
4,2-5,3	250-320	15-19	80	10	100	10	104	13	8
5,3-6,7	320-400	19-24	95	11	121	11	126	14	9
6,7-8,3	400-500	24-30	115	12	144	12	150	15	10
8,3-10,8	500-650	30-39	135	13	169	13	176	16	11
10,8-13,5	650-810	39-49	150	14	196	14	204	17	12
13,5-16,2	810-970	49-58	180	15	225	15	247	19	13
16,2-20,0	970-1200	58-72	200	16	256	16	280	20	13
20,0-24,2	1200-1450	72-87	225	17	289	17	294	21	14
24,2-29,2	1450-1750	87-105	260	18	324	18	345	23	15
29,2-33,3	1750-2000	105-120	285	19	361	19	384	24	16
33,3-39,2	2000-2350	120-141	315	20	400	20	425	25	17
39,2-44,2	2350-2650	141-159	350	21	441	21	468	26	18
44,2-48,3	2650-2900	159-174	375	22	475	22	486	27	18
48,3-53,3	2900-3200	174-192	415	23	529	23	551	29	19
53,3-59,2	3200-3550	192-213	450	24	576	24	600	30	20
59,2-64,2	3550-3850	213-231	490	25	625	25	651	31	21
64,2-69,2	3850-4150	231-249	530	26	676	26	704	32	22
69,2-75,0	4150-4500	249-270	575	27	729	27	782	34	23
75,0-81,7	4500-4900	270-294	615	28	784	28	805	35	23
81,7-88,3	4900-5300	294-318	660	29	841	29	864	36	24
88,3-95,8	5300-5750	318-345	710	30	900	30	950	38	25

Es preciso que:

la acción inmediata del tiro de la chimenea sobre la llama de los mecheros quede interrumpida, con lo cual no es atraído aire en exceso hacia las llamas y éstas no se enfrían; en el caso de corrientes interceptadas o invertidas en la chimenea, deben permitir la salida de los gases de la combustión, con lo cual las llamas de los mecheros no se apagan; deben permitir la incorporación de aire templado del local a los gases de la combustión (para rebajar el punto de rocío), con el fin de disminuir la condensación.

Los tubos de evacuación de gases (enlaces entre los hogares y la chimenea) deben ser incombustibles (DIN 4102), resistentes a la corrosión e impermeables a la humedad.

Para hogares que sólo se utilizan por períodos de breve duración (p. ej., calentadores domésticos de agua, estufas para calefacción de locales de utilización eventual) se recomiendan los tubos de salida bien aislados, pero de poco almacenamiento de calor (chapa de hierro embreada, eventualmente con dobles paredes). Los hogares que se utilizan durante largos períodos, como son las estufas de calefacción permanente, conviene conectarlos mediante tubos de salida de gases que puedan acumular calor (p. ej., los tubos de fibrocemento).

La sección de un tubo de evacuación de gases tiene que corresponder a la sección de la boca de salida de gases del hogar y, al variar de forma, su sección no ha de sufrir reducción. En el caso de secciones de forma rectangular, el lado más largo de la sección



Conducción de los gases de escape a la chimenea de evacuación

Conducción de los gases de escape a una chimenea de servicio muerto

APARATOS DE GAS Y CONDICIONES PARA SU INSTALACIÓN

	Capacidad de la conexión m³/h	Aire teórico-mente necesario m³/h	Vapor de agua g/h	Local de menos de 5 m³		Local con 5 a 8 m³		Local con 8 a 12 m³		Local con más de 12 m³
				Evacuación de gases quemados	Aireación	Evacuación de gases quemados	Aireación	Evacuación de gases quemados	Aireación	
Nevera	0,1	0,46	80	no	Es necesaria una aireación suficiente del local de la instalación	no	Es necesaria una aireación suficiente del local de la instalación	no	Es necesaria una ventilación suficiente del local de la instalación	Es necesaria una ventilación suficiente del local de la instalación
Alumbrado por cada mechero	0,1	0,46	80	no		no		no		
Cocina sin horno por cada mechero	0,5	2,3	400	no		no		no		
Horno de cocina	0,75	3,45	600	no		no		no		
Cocina con horno	2,5	11,5	2000	no		no		no		
Aparatos pequeños con conexión de gama	2,5	11,5	2000	no	Es necesaria una aireación suficiente del local de la instalación	no	Es necesaria una aireación suficiente del local de la instalación	no	Es necesaria una ventilación suficiente del local de la instalación	Es necesaria una ventilación suficiente del local de la instalación
Estufa pequeña de calefacción	1,0	4,6	800	si: ≥ 60		si: ≥ 60		si: ≥ 60		
Estufa mediana de calefacción (de más de 1,0 m³/h)	2,5	11,5	2000	si: ≥ 100		si: ≥ 100		si: ≥ 100		
Estufa grande de calefacción (de más de 2,5 m³/h)	5,0	23,0	4000	si: $\geq 100-120$		si: $\geq 100-120$		si: $\geq 100-120$		
Caldera de lavadero (hasta 100 l de cubida)	3,5	16,1	2800	si: ≥ 60		si: ≥ 60		si: ≥ 60		
Calentador de agua pequeño (hasta 150 kcal/min)	2,5	11,5	2000	prohibidos	si	si	prohibidos	si *	Entrada y salida de ventilación*** (aberturas mínimas de entrada y salida de aire: 150 cm² cada una)	Entrada y salida de ventilación*** (aberturas mínimas de ventilación: 150 cm² cada una)
Calentador de agua grande (para baño)	6,0	27,6	4800		prohibidos	prohibidos		prohibidos		
Calentador de agua grande (para baño)	7,5	34,5	6000		prohibidos	prohibidos		prohibidos		
	o bien	9,0	41,4							

* Si la utilización es por breves períodos y la altura del techo es $\geq 2,40$ m, no es necesaria la evacuación al exterior de los gases de la combustión.

** Para alturas de techo $< 2,40$ m es necesaria la evacuación de los gases de la combustión.

*** En instalaciones situadas en locales interiores hay que ventilar dando entrada y salida al aire según DIN 18 017.

ción no debe exceder de 1,5 veces el más corto. La sección mínima necesaria en los tubos de salida de gases debe fijarse de acuerdo con la potencia de los hogares o con las dimensiones de la boca de descarga de los mismos según la tabla 4, DVGW-TV8 Gas.

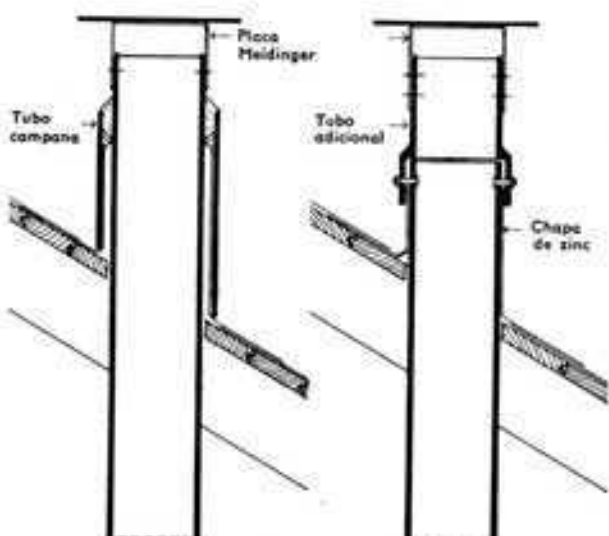
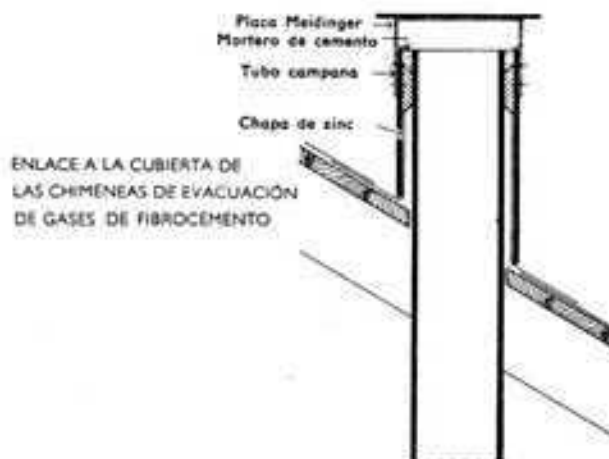
Para la seguridad del tiro, todo tubo de salida de gases de combustión debe tener un trozo ascendente antes de ser conectado a la chimenea.

Este trayecto debe graduarse de manera que con un tiro normal en la chimenea no salgan gases por el dispositivo de seguridad. Los gases de la combustión deben conducirse por el camino más corto y en caso necesario deben protegerse contra las pérdidas de calor. Los tubos de evacuación de gases deben unirse a la chimenea en sentido ascendente y disponerse y empalmarse de manera que no permitan la salida, por las juntas, de productos de condensación. Donde haya tubos metálicos de salida de gases que atraviesen paredes, éstas deben proveerse de unos manguitos de protección. Las distancias entre los tubos de salida de gases y los elementos constructivos de materiales combustibles, no protegidos contra el fuego, no han de ser menores de 5 cm cuando los tubos atraviesen paredes. Los tubos de salida de gases no deben pasar por dentro de armarios empotrados. Al llegar a la chimenea el tubo de salida de gases debe encajar bien en el manguito de entrada o tubo de revestimiento empotrado en la chimenea y no debe permitirse que penetre tanto que pueda sobresalir de la superficie interior de la chimenea. Para reducir las resistencias ofrecidas a la circulación, es conveniente introducir el tubo oblicuamente y en sentido ascendente en la pared de la chimenea. Si a la chimenea se conectan hogares de gas y de carbón (solución únicamente admisible en el caso en que la instalación de una chimenea especial para la evacuación de gases implique dificultades desproporcionadas) se realizarán todas las desembocaduras de los tubos de salida de gases, en ángulo recto. En este caso y en todos aquellos sitios en que es de temer un estrechamiento de la sección del tubo de evacuación de gases por efecto de adherencias de hollín, de acumulación de arena o de mortero antiguo, el agujero abierto en las paredes de la chimenea, tiene que ir achaflanado hacia abajo por la parte interior. En tal caso, el tubo de salida de gases residuales sólo debe llegar al punto donde empieza dicho achaflanado. Cuando en una misma planta hay que hacer varios tubos de salida de gases en la misma chimenea hay que procurar que esas bocas se hallen a diferentes alturas. También es admisible reunir varios de los tubos de evacuación de gases de diversos hogares antes de su empalme con la chimenea. La distancia entre la desembocadura de un tubo de salida de gases y la solera de base de una chimenea de obra de fábrica debe ser, cuando menos, de 1,0 m. Las chimeneas de evacuación de gases tienen que estar construidas con materiales no combustibles. Pueden estar construidas de ladrillo o con piezas de forma adecuada de arcilla cocida, de arcilla refractaria (chamota) o de fibrocemento. El elevado contenido de vapor de agua de los gases de escape requiere que las paredes de las chimeneas sean impermeables o por lo menos repelentes del agua.

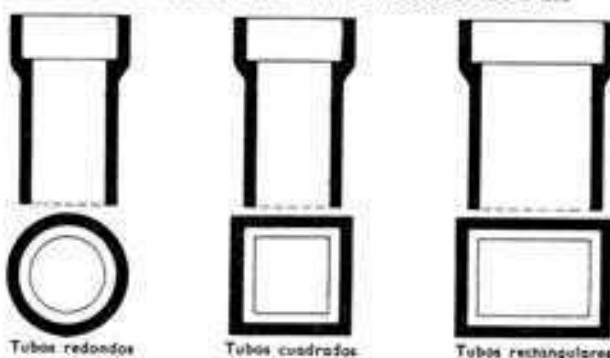
Las chimeneas para evacuación de gases hechas de obra de fábrica se revocan y enlucen, por su parte interior, con mortero de cemento y, si es preciso, se les da una capa de una pintura impermeabilizante. Las chimeneas de salida de gases hechas de cerámica o de material refractario se suministran con la superficie interior vitrificada (tubos "Plewa" y análogos). El agua que se produce por condensación tiene que poder escurrir hasta un recipiente que se coloca al pie de la chimenea.

No está permitido conectar un escape con los desagües domésticos. Para poder comprobar siempre que convenga una chimenea de evacuación de gases residuales, es necesario que tenga junto a su pie una abertura que pueda cerrarse herméticamente. Si la desembocadura de la chimenea es inaccesible, será necesario que en la buhardilla o desván exista también una abertura de prueba. En los cierres de estas aberturas y para distinguirlos de los correspondientes a los de las chimeneas de humo se marcará la letra "G".

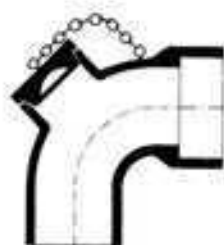
Las chimeneas de evacuación de gases cuyo trazado tenga curvas y acodaduras, estarán sometidas a las mismas condiciones que las chimeneas de humo de la misma clase. Las partes curvas u oblicuas deberán ir bien apoyadas en forma resistente al



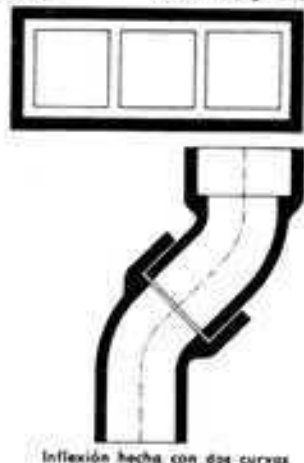
CHIMENEAS DE FIBROCEMENTO PARA EVACUACIÓN DE GASES



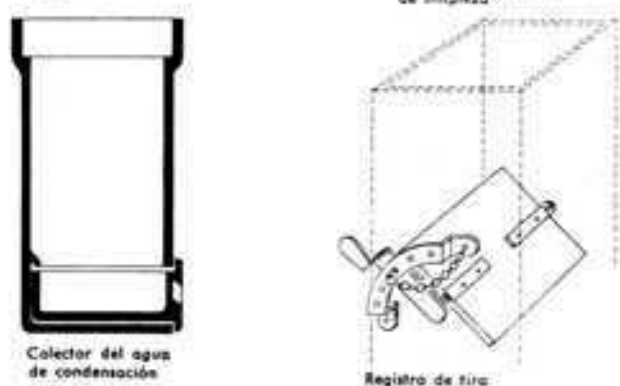
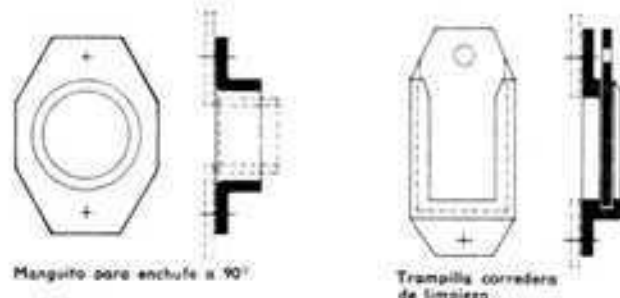
Grupos de dos o tres tubos cuadrados o rectangulares



Curva de 90° con manguito y boca de limpieza radial



Inflexión hecha con dos curvas



RELACIÓN EXISTENTE ENTRE LA SECCIÓN DE CORRIENTE QUE BARRE LA BOCA TERMINAL DE LA CHIMENEA Y LA DISTANCIA MÍNIMA ENTRE ÉSTA Y LA PLACA DE CUBRICIÓN



Los planos rayados verticalmente deben tener una superficie $\geq$ que la sección útil de las chimeneas o que la suma de éstas, en las que están en batería

fuego, y su ángulo de inclinación sobre la horizontal deberá ser, por lo menos, de 60°.

Las chimeneas de evacuación de gases residuales cuyas paredes son poco aislantes para el calor, lo mismo que los tubos de escape de gases, deben hallarse por lo menos a 5 cm de distancia de los objetos que los rodeen si éstos no están debidamente protegidos contra el fuego.

Siempre que sea posible, la desembocadura de las chimeneas de evacuación de gases residuales se situará por encima de la cumbrera de la cubierta o tejado, sobre todo si se trata de chimeneas de obra de fábrica. Su cabeza o remate se hace como la de las chimeneas de humo. La desembocadura debe quedar, en sentido horizontal, por lo menos a 1 m de la superficie de la cubierta.

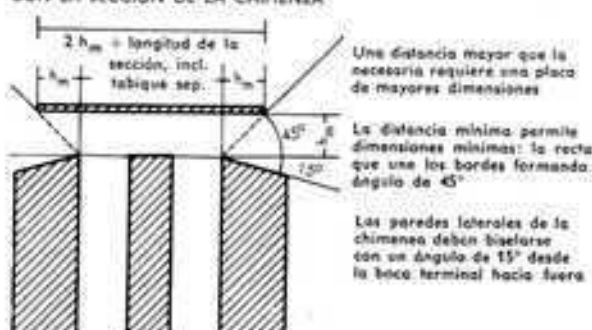
Las chimeneas construidas con piezas de formas especiales llevan también cabezas apropiadas para cada modelo.

En muchos casos es necesaria, como en las chimeneas de humo, una protección contra el viento. La que ha dado mejores resultados es la "placa Meldinger" cuya separación mínima depende de la sección útil de la misma y de sus dimensiones, ya que dentro de la corriente de aire es deseable que exista un paso franco de la misma entre desembocadura y placa, que tenga una sección equivalente a la útil de la propia chimenea.

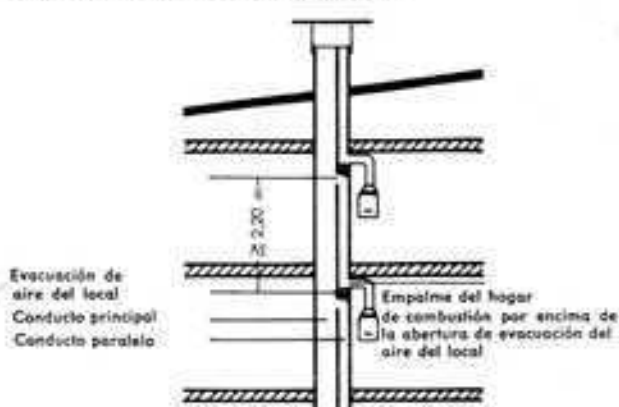
De ello se han deducido unas fórmulas que determinan la separación h_m .

Para una chimenea rectangular, así como para una serie de chimeneas en batería se tiene:

PLACA DE CUBRICIÓN, DISTANCIA Y DIMENSIONES DE ACUERDO CON LA SECCIÓN DE LA CHIMENEA



ESQUEMA DE UNA CHIMENEA COLECTORA O DE CONDUCTO COMÚN DIN 18017, hoja 2



$$h_m = \frac{f}{a+b} \text{ en cm}$$

para una chimenea circular:

$$h_m \geq \frac{f}{\frac{d}{2}} \text{ en cm}$$

f = Sección útil o suma de ellas en batería.

a, b = Longitudes de los lados de la sección útil o suma de éstos incluyendo paredes divisorias en las chimeneas en batería.

d = Diámetro de la sección útil.

La superficie de la placa ha de ser tal que cubra alrededor de la sección útil una longitud equivalente como mínimo a la separación h_m hallada.

Capacidad de los tubos de evacuación de gases

Una chimenea de gas construida con piezas moldeadas con una sección de 10 x 10 cm (100 cm²) o un diámetro de 10 cm (80 cm²) puede tener un máximo de 2 conexiones con hogares de combustión hasta una producción nominal de calor, en conjunto, de unas 20 000 kcal/h, cuando la altura eficaz de la chimenea es, por lo menos, de 2 m.

Las chimeneas de gas construidas con ladrillo o con piezas moldeadas con una sección de 13,5 x 13,5 cm (180 cm²), pueden recibir las evacuaciones procedentes ¹⁾ de los siguientes hogares de combustión, con los correspondientes valores de capacidad, en conjunto, de calor nominal producido:

Altura eficaz de la chimenea en m	Capacidad global de evacuación en m ³ /h	Producción global nominal de calor en kcal/h	Número de hogares de combustión ¹⁾	
			Calentador de agua grande, radiadores, etc. máxima	Calentador pequeño máxima
2	17	50 000	2	3
4	25	75 000	3	5
6	25	75 000	4	6

1. Un calentador de agua y sus correspondientes estufas de pared cuentan como una conexión. En una conexión común de calentadores de agua grandes, estufas locales y pequeños calentadores no debe sobrepasarse la potencia nominal total ni el número fijado de conexiones para calentadores pequeños.

Las chimeneas de evacuación de gases con una sección de 13,5 x 20 cm (270 cm²) o un diámetro de 16,5 (210 cm²) pueden recoger conexiones procedentes del siguiente número de hogares de combustión y con las siguientes producciones, en conjunto, de calor:

Altura efectiva de la chimenea en m	Capacidad global de evacuación en m ³ /h	Producción global nominal de calor en kcal/h	Número de hogares de combustión	
			Calentador de agua grande, radiadores, etc. máximo	Calentador pequeño máximo
2	40	125 000	3	6
4	50	150 000	5	8
6	58	175 000	7	12

Para las chimeneas con una sección de 20 x 20 cm (400 cm²) o un diámetro de 20 cm (310 cm²), se tienen los siguientes datos:

Altura efectiva de la chimenea en m	Capacidad global de evacuación en m ³ /h	Producción global nominal de calor en kcal/h	Número de hogares de combustión	
			Calentador de agua grande, radiadores, etc. máximo	Calentador pequeño máximo
2	29	90 000	3	5
4	29	90 000	4	7
6	40	125 000	5	8

Se recomienda, en las chimeneas que recogen más de 3 conexiones, instalar un registro de cierre automático después del dispositivo de seguridad.

Chimeneas mixtas

La evacuación de gases quemados por chimeneas de humos puede efectuarse cuando existe sección suficiente para todos los hogares de combustión y además se verifican las siguientes condiciones:

Sólo pueden conectarse hogares a gas provistos de dispositivos de seguridad de incendio.

Los hogares a gas deben disponer de registros de cierre por encima del dispositivo de seguridad.

Los empalmes o conexiones de los hogares a gas deben estar separados por lo menos a 30 cm de altura de los de otros hogares de combustión.

Las chimeneas mixtas irán marcadas, abajo y arriba, de manera bien visible con las letras "GK".

Evacuación de gases quemados en hogares situados en locales interiores

Los conductos de ventilación, aislados o reunidos en batería, según las normas DIN 18017, hojas 1 y 2, pueden servir como chimeneas de salida de gases siempre que cumplan lo prescrito para éstas.

También podrán conectarse al conducto de ventilación que se utilice como tubo de evacuación de gases una estufa y un calentador de agua, como máximo, procedentes de la misma habitación o de la misma vivienda. Para el número de empalmes o conexiones posibles en una batería de conductos de ventilación se debe consultar el apartado "capacidad de los tubos de evacuación de gases".

Si existen empalmes separados para la evacuación de gases procedentes del calentador de agua y de la estufa que desembocan en el conducto de ventilación habilitado como chimenea, la conexión de la estufa debe estar por debajo de la del calentador.

Chimeneas y conductos de ventilación

La introducción de una cantidad suficiente de aire puro es una necesidad básica para la vida humana y para el bienestar de las personas. El hombre, al respirar, absorbe oxígeno y elimina dióxido de carbono y vapor de agua. Las cantidades desprendidas dependen de la actividad, de la alimentación, del peso de la persona y del ambiente que la rodea. Como promedio, pueden calcularse 0,02 m³/h de dióxido de carbono y 40 g/h de vapor de agua producidos por persona. Si se desea que en el aire ambiente no haya más de un 1 % de dióxido de carbono, renovando el aire una vez por hora, se necesitará para cada persona mayor un cubo de aire de 32 m³ y para cada niño uno de 15³. Como en los edificios a cuatro vientos, sin embargo, aun estando las ventanas cerradas, se renueva el aire de 1,5 a 2 veces por hora de manera natural es suficiente que la cabida de aire del local sea de 16 a 24 m³ por cada persona mayor y de 8 a 12 m³ por cada niño. Si los locales son de menores dimensiones o el consumo de aire en ellos es mayor por causa de las instalaciones que hay que alimentar (hogares, aparatos o máquinas de combustión, producción de polvo, desecación y evaporación), el intercambio natural del aire a través de las rendijas de puertas y ventanas ya no será suficiente. Si en esos locales no pueden dejarse abiertas permanentemente las ventanas (días de invierno o de mal tiempo), resultará necesario prever alguna instalación supletoria de ventilación. En locales que no pueden abrirse directamente al exterior, como ocurre, p. ej., en salas de espectáculos, en teatros, cines y locales sanitarios interiores o análogos, la aportación de aire puro y rico en oxígeno y la extracción del aire viciado y nocivo es imprescindible.

La cantidad de aire que hay que suministrar (= número de veces que debe renovarse en una hora) depende del tamaño, situación y grado de ocupación del local, así como de la finalidad a que esté destinado, es decir, si se trata de cocinas, cuartos de baño, WC, fragaderos, locales de calefacción, laboratorios, locales de fábricas, escuelas, salas de clínicas u hospitales, pensiones u hoteles, locales de reuniones, establecimientos comerciales con gran afluencia de público, peluquerías, cervecerías, garajes, etc. El cálculo exacto de las dimensiones de una instalación de ventilación sólo es posible a base de sistemas de accionamiento mecánico.

Las instalaciones de renovación de aire que confían su efecto únicamente a la diferencia de temperatura y a las diferencias de presión ejercidas por el viento, que son los denominados de ventilación natural, dependen en gran medida del clima y de la situación. Por otra parte, los sistemas a base de accionamiento mecánico ofrecen los inconvenientes del desgaste de los mecanismos y exigen un cuidado y vigilancia constantes.

Las bases para el cálculo y ejecución de sistemas de ventilación natural en sanitarios y aseos situados en el interior de la casa están contenidas en la norma DIN 18017. Estos conceptos, en los que se fundamentan las siguientes instrucciones, son aplicables a locales que se utilicen por un máximo de 6 personas. La renovación de aire por este sistema, que aprovecha tanto el poder ascensional del aire caliente como las diferencias de presión del viento, ocasiona una corriente de aire constante, puesto que las aberturas de toma y salida de aire no pueden cerrarse por completo. Por ello estas habitaciones deben diseñarse de manera que la bañera y el lavabo, por ejemplo, no estén en medio de la corriente para evitar las molestias del tiro.

Técnicamente, rigen para los conductos y canales de ventilación las mismas reglas que para las chimeneas: secciones adecuadas, superficies interiores lisas, aislamiento térmico de las paredes envolventes y directriz recta de los tubos.

Los materiales más apropiados son los tubos prefabricados de fibrocemento y los de cerámica vitrificada. Esta última es preferible acústicamente. Los conductos deben estar aislados térmicamente hasta su desembocadura a fin de poder aprovechar más a fondo el empuje ascensional del aire caliente. Deben protegerse con una placa o sombrerete de la entrada de la lluvia y las ráfagas verticales de viento.

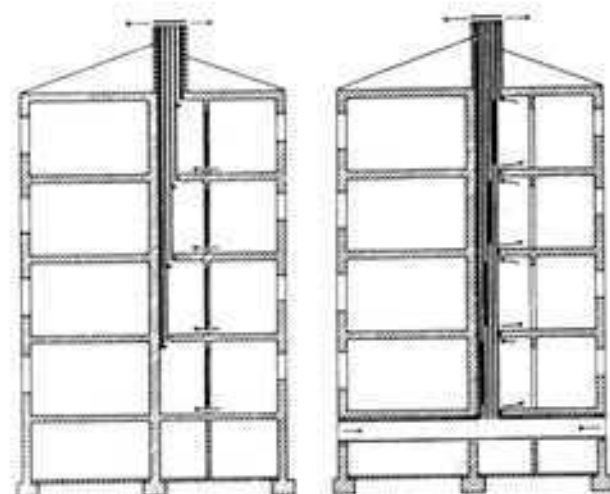
Los conductos deben limpiarse, al igual que las chimeneas. La norma DIN 18017 distingue entre instalaciones de conductos aislados e instalación de conducto común. En las primeras existe un conducto de aire para cada habitación a ventilar, el cual se

3. En instalaciones colectoras con chimenea adicional, la altura efectiva de la chimenea se calculará según DIN 18017, hoja 2.

SISTEMAS DE CANALES O POZOS DE VENTILACIÓN EN BATERÍA

Aportación de aire desde el local contiguo

SISTEMA DE CANAL ADICIONAL Y CONDUCTOS DE REPARTO PARA LA ENTRADA DE AIRE



prolonga por encima de la cubierta y desemboca en la corriente de aire libre. Si el baño y el WC de una vivienda son contiguos, pueden ventilarse por un mismo conducto cuando dentro de éste se establece una pared divisoria que separe ambas aberturas y ayude a evitar perturbaciones en el tiro.

La entrada de aire se efectúa, bien a través de aberturas que comunican con habitaciones con ventilación directa, o bien mediante canales de entrada, que desembocan por abajo en un canal transversal que tiene salida a las dos fachadas del edificio, donde entra en contacto con el aire libre. Esto trae por consecuencia que cuantos más recintos haya que ventilar y más pisos tenga el inmueble, más superficie en planta será necesaria para ventilación.

Este sistema de doble canal garantiza una eficacia completa de funcionamiento aun bajo las condiciones más desfavorables, como p. ej. en lugares resguardados del viento, en valles muy cerrados, en zonas con aumentos bruscos de temperatura o bien en edificios sin ventilación transversal. Estas ventajas técnicas tienen, sin embargo, la contrapartida de unos costes elevados por el excesivo número de canales y la considerable superficie ocupada en planta.

Los conductos comunes son más económicos, por lo cual se utilizan especialmente en edificios de viviendas de varias plantas. En este sistema se pueden ventilar un mayor número de locales de cada planta a través de un conducto único que se eleva por encima de la cubierta. Cada local está conectado a un canal lateral que a su vez desemboca en el común y recibe el aire de entrada a través de aberturas permanentes que comunican con otras habitaciones con ventilación directa. Estas aberturas permanentes, con una superficie mínima de 150 cm², pueden tener forma de rendija practicada en la puerta. La sección horizontal del conducto común puede ser cuadrada o rectangular con una proporción entre sus lados $\geq 3:4$ y una superficie de 300 cm² como mínimo y 500 cm² como máximo, según puede verse en la siguiente tabla:

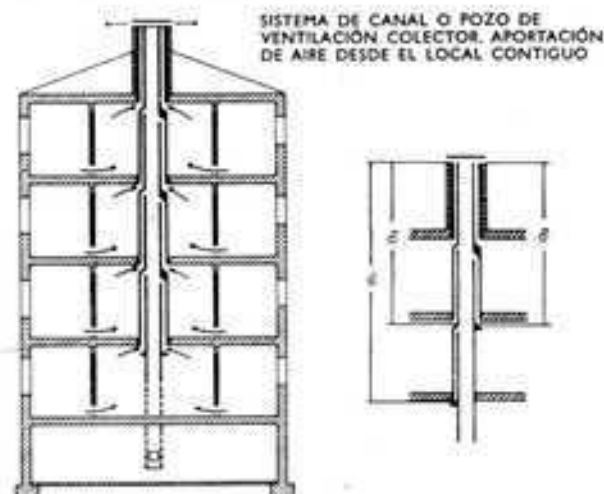
Altura eficaz media del conducto h_m	Número de conexiones con canales laterales para distintas secciones del conducto común		
	300 cm ²	400 cm ²	500 cm ²
< 10 m	5	8	10
> 10 < 15 m	6	9	11
> 15 m	7	10	12

La altura eficaz media h_m es en esta tabla la media aritmética de las distancias entre las bocas de salida de aire de cada local y la desembocadura al aire del conducto común.

$$\text{Altura } h_m = \frac{a_1 + a_2 + \dots + a_n}{n}$$

El conducto común debe permanecer vertical y de sección constante en toda su longitud. En su parte inferior debe tener una abertura para limpieza de 400 cm² como mínimo, cuyo borde superior no debe quedar a menos de 0,5 m de distancia de la conexión de salida más baja.

Los conductos laterales que parten del local y se integran con el conducto común deben tener una sección mínima de 140 cm². La distancia entre el centro de la boca de ventilación del local, que debe estar lo más cercana posible al techo del mismo, y la abertura terminal que lo integra con el conducto común no debe ser inferior a 2,20 m. La distancia mínima entre dos de estas aberturas terminales debe ser de 25 cm.



Los conductos laterales para la ventilación de las plantas superiores pueden llevarse junto con el conducto común hasta la desembocadura. Las aberturas de salida en los locales podrán tener una trampilla de cierre cuando sean mayores de 150 cm², pero deberán dejar una rendija permanente de 25 cm². Si se les coloca una rejilla deberá ser de malla no inferior a 10 mm y tener una superficie neta de 180 cm².

En las viviendas modernas suele haber cocinas muy pequeñas o cocinas-armario incorporadas al comedor cuyo volumen y superficie de paredes no son suficientes para absorber la humedad que se origina en ellas. A esto se suma la impermeabilidad al vapor que presentan los actuales sistemas de construcción a base de prefabricados—paneles grandes o elementos de hormigón poroso—los cuales exigen la instalación de una barrera contra el vapor en los locales húmedos para prevenir condensaciones interiores. Lo mismo cabe decir de las paredes de fábrica de ladrillo con revestimiento exterior de piedra o placas bien rejuntadas con mortero. Se impone la necesidad de evacuar el aire húmedo. Ante todo debería existir una ventilación que alcanzara hasta debajo del techo; las cocinas interiores sin aberturas no son recomendables.

Lo más eficaz es eliminar el vapor directamente desde encima de los fogones mediante un extractor de paletas que lo lleve por un tubo o conducto de ventilación que, al igual que los otros, desemboque por encima de la cubierta en plena corriente de viento. En esto se presentan dos posibilidades: en edificios de pocas plantas se instalan tantos conductos de ventilación como cocinas. En edificios de muchas plantas se necesitaría ocupar mucho espacio en planta, por lo cual es preferible una instalación con conducto común, tipo DIN 18017, como la descrita anteriormente para aseos, pero contando con que las aberturas de la cocina proporcionarán la entrada de aire fresco necesaria. También existe la posibilidad de colocar en una ventana un extractor mecánico que expulse la humedad al exterior.