

CONSTRUIR LA ARQUITECTURA

Editorial Gustavo Gili, SL

Roselló 87-89, 08029 Barcelona, España. Tel. (+34) 93 322 81 61
Valle de Bravo 21, 53050 Naucalpan, México. Tel. (+52) 55 55 60 60 11

ANDREA DEPLAZES (ED.)

CONSTRUIR LA ARQUITECTURA DEL MATERIAL EN BRUTO AL EDIFICIO

UN MANUAL

GG

Título original: *Architektur konstruieren. Vom Rohmaterial zum Bauwerk. Ein Handbuch*, tercera edición ampliada publicada por Birkhäuser Verlag, Basilea/Boston/Berlin, 2008.

Departamento de Arquitectura de la ETH, Zürich. Cátedra de Arquitectura y Construcción III/IV. Catedrático Andrea Deplazes. www.deplazes.arch.eth.ch

Colaboradores desde 1997: Felix Ackermann, Patric Allemann, Oya Atalay Franck, Özlem Ayan, Stefan Baumberger, Marcel Baumgartner, Dawit Bentil, Ivana Bertolo-Kordic, Nik Biedermann, Matthias Blass, Tamara Bonzi, Sian Brehler, Gisela Brüllmann Roth, Kamenko Bucher, Ramun Capaul, Maud Châtelet, Zegaye Cherenet, Franca Comalini, Katja Dambacher, Nicole Deiss, Natalina Di Iorio, Alois Diethelm, Christoph Elsener, Christine Enzmann, Serge Fayet Hemmi, Lukas Felder, Eva Geering, Lorenzo Giuliani, Jasmin Grego, Daniel Gut, Kornelia Gysel, Martina Häuser, Dominik Herzog, Christian Hönger, Simone Hübscher, Marius Hug, Pascal Hunkeler, Tibor Joanelly, Dimitri Kaden, Roger Kästle, Sergio Klemmer, Andreas Kohne, Rafael Kräutler, Zvi Kutner, David Leuthold, Robert Lüder, Michele Mambourg, Thomas Melliger, Urs Meister, Maria Mohl Rodríguez, Peter Moor, Susanne Müller, Claudia Nussbaumer, Mauro Pausa, Thes Rauch, Sascha Roesler, Martin Seanner, Thomas Schwendener, Cordula Seger, Tobias Siegrist, Patrik Seiler, Roman Singer, Susanne Stacher, Katharina Stehrenberger, Mark van Kleef, Christoph Wieser, Barbara Wissemann y Raphael Zuber.

Ayudantes desde 1997: Thomas Allemann, Hanna Åkerström, Christof Anzorge, Stefan Bischof, Tamara Bonzi, Bettina Baumberger, Michael Bösch, Martin Bucher, Andreas Buschmann, Julia Buse, Corina Cadisch, Ursula Caprez, Bori Csicsely, Johannes Dachselt, Ueli Degan, Christoph Heinrich Delters, Angela Deubler, Martin-Ken Dubach, Christiane Felber, Adrienne Fonzy, Simon Frommenwiler, Silvan Furger, Jean Lucien Gay, Jörg Grabfelder, Pedja Hadžimanovic, Valerie Heider, Ulrike Hom, Nadja Hutter, Harris Iladis, Steffen Jørgensen, Ariane Komeda, Philipp Lehmann, Matthias Lehner, Mikael Ljunggren, Carmella Maissen, David Matthey, Sebastian Müller, Lisa Nestler, Anastasia Paschou, Ana Prikt, Jonas Ringli, Gian Salts, Janet Schacko, Florian Schätz, Sara Schibler, Julian Schramek, Cindy Schwenke, Eckart Schwerdtfeger, Christa Vogt, Claudia Voelt, Karen Wassung, Thomas Wirz y Helen Wyss.

Redacción, concepto y diseño: Andrea Deplazes (catedrático), Christoph Elsener, Sascha Roesler, Cordula Seger y Tobias Siegrist.

Redacción del texto de las imágenes: Julia Buse y Janet Schacko.

Diseño de la cubierta: Muriel Comby.

Imagen de la cubierta: Ruckstuhl AG Teppichfabrik, St. Urbanstrasse, 21, CH-4901 Langenthal (Suiza). www.ruckstuhl.com

Fotocomposición: Paragona Realizació Editorial, sl, Barcelona.

Versión castellana: Lola Benítez-Heinrich.

Revisión de la traducción: José Manuel García Rolg.

Esta traducción al castellano ha contado con la ayuda de la ETH de Zürich.

1ª edición, 2ª tirada, 2015

Cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública o transformación de esta obra sólo puede ser realizada con la autorización de sus titulares, salvo excepción prevista por la ley. Diríjase a CEDRO (Centro Español de Derechos Reprográficos, www.cedro.org) si necesita fotocopiar o escanear algún fragmento de esta obra. La Editorial no se pronuncia ni expresa ni implícitamente respecto a la exactitud de la información contenida en este libro, razón por la cual no puede asumir ningún tipo de responsabilidad en caso de error u omisión.

© de la traducción: Lola Benítez-Heinrich

© del prólogo: José Manuel García Rolg

© de los textos, los autores

© 2005, 2008 Birkhäuser Verlag AG (Verlag für Architektur), Basilea, Suiza

y para esta edición:

© Editorial Gustavo Gili, Barcelona, 2010

Printed in Spain

ISBN: 978-84-252-2351-8

Depósito legal: B.11.765-2010

Impresión: Gráficas 92, SA, Rubí (Barcelona)

Cómo utilizar este manual

	Prólogo a la edición castellana	8
	Prólogo	10
Introducción	Construcción maciza y construcción ligera	13

MATERIALES CONSTRUCTIVOS – MÓDULOS

	Materia	
Introducción	Sobre el significado de lo material	19
Propiedades de los materiales	Sobre la percepción del espacio arquitectónico	20
	Duración media de los elementos materiales	21
	Obra de fábrica	
Introducción	El <i>pathos</i> de la obra de fábrica	22
Propiedades de los materiales	El material	31
Sistemas	Conceptos	32
	Proyecto y puesta en obra	33
	Aparejos	35
Los sistemas en la arquitectura	Anclaje y armado en muros de fábrica de dos hojas de ladrillo	39
	Acerca de la artesanía de la construcción del muro	40
	Sistemas constructivos	47
	Prefabricación	50
	Hormigón	
Introducción	Sobre la metafísica del hormigón	57
Propiedades de los materiales	El material	61
	Proceso	64
	Diez reglas para la elaboración del hormigón	67
	Superficies vistas de hormigón	68
Sistemas	Apoyo del forjado de hormigón visto con aislamiento térmico interior	70
	Anclaje de un revestimiento exterior pesado (hormigón)	71
	Anclaje de un revestimiento exterior pesado (piedra natural)	72
Los sistemas en la arquitectura	Predimensionado de forjados de hormigón armado	73
	Elementos estructurales lineales	74
	Sistemas estructurales de elementos lineales	75
	Elementos portantes superficiales	76
	Sistemas estructurales planos	77
	Madera	
Introducción	Madera: indiferente, sintética, abstracta.	78
Propiedades de los materiales	El material	83
	Productos elaborados a partir de la madera: compendio	85
	Productos elaborados a partir de la madera: tableros laminados	86
	Productos elaborados a partir de la madera: tableros prensados	88
	Productos elaborados a partir de la madera: tableros de fibras	89
	Principales sistemas prefabricados: compendio	90
	Sistemas constructivos de tableros: desarrollo actual	95
Sistemas	Sistemas constructivos de madera: compendio	97
	Sistemas constructivos de armazón: principio constructivo	100
	Predimensionado de vigas de madera	104
Ejemplos	Corte de un tronco en la cultura tradicional japonesa	105
	de construcción con madera	105
	Los hilos de la red	107
	Acero	
Introducción	¿Para qué construir con acero?	114
Propiedades de los materiales	Perfiles. Formas y aplicaciones	122

	Protección contra incendios	124
	Posibilidades de aplicación de los sistemas constructivos de acero	125
Sistemas	Uniones: una selección	126
	Estructuras. Entramados con vigas en voladizo	128
	Estructuras. Entramados con pilares continuos	130
	Estructuras. Esqueleto dispuesto en dos direcciones	132
	Predimensionado de vigas de acero	134
Los sistemas en la arquitectura	Pliegues y dobladuras	135
	Esqueletos de acero	136
	Cerchas y fachadas	137
	Entramados espaciales	138
	Rombos y diagonales	139
	Construcciones fungiformes	140

Aislamiento

Introducción	El material "invisible"	141
Propiedades de los materiales	Aislamiento térmico transparente	145
	Materiales aislantes térmicos y sus posibilidades	146
Sistemas	Sistemas de aislamiento térmico: compendio	148

Vidrio o plástico

Introducción	Vidrio, cristalino, amorfo	149
	El plástico	153
Propiedades de los materiales	Vidrio, el material constructivo diáfano	154
	El plástico, en el umbral de la arquitectura	162

ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS

Cimentación – zócalo

Introducción	Construir bajo tierra	173
Procesos	Preparación de la obra: arquitecto técnico	181
	Preparación de la obra: excavación	182
	Cimentación	183
Sistemas	Diagramas de zócalos: capa portante interior	184
	Diagramas de zócalos: capa portante exterior	185
Los sistemas en la arquitectura	El origen del zócalo	186
Problemas físicoconstructivos	Muros exteriores por debajo del terreno: repercusión sobre la envolvente	189

Fachada

Introducción	Acerca de la pared	190
Los sistemas en la arquitectura	La construcción de la fachada	195

Huecos

Introducción	A favor y en contra de la ventana apaisada: la controversia entre Auguste Perret y Le Corbusier	204
Sistemas	Interdependencia entre ventana e intradós	214
	Posición de la ventana, formas de fijación al intradós	215
	La ventana como elemento constructivo: perfilera	216
	La ventana como elemento constructivo: el vidrio	217
	Ventana. Sección horizontal 1:1	218
	Ventana. Sección vertical 1:1	220
Los sistemas en la arquitectura	El hueco como abertura	222
	El hueco horizontal continuo	223
	El hueco como junta	224
	El hueco como pared transparente	225
Introducción	Acerca de la puerta	226
Sistemas	Puertas. Modos de apertura	227
	Puertas. Rebaje o encaje de la puerta	228

Problemas físicoconstructivos	Puertas. Herrajes	229
	Muro. Hueco: repercusión en la envolvente del edificio	230
	Protección solar y contra el deslumbramiento	231
	Techos	
Introducción	La duplicación del cielo	235
	Cubierta	
Introducción	La cubierta	241
Sistemas	Cubierta inclinada: función de las capas	244
	Cubierta plana: función de las capas	245
	Cubierta plana: cubierta caliente, sistemas convencionales	246
	Cubierta plana: cubierta caliente, sistemas especiales	247
	Cubierta plana: cubierta invertida	248
	Cubierta plana: cubierta fría	249
Los sistemas en la arquitectura	Cubierta inclinada	250
	Cubierta plana	251
	La cubierta como estructura plegada	252
	Cubiertas en bóveda de cañón y laminares	253
Problemas físicoconstructivos	Criterios e interdependencias	254
	Cubierta plana – cubierta inclinada: repercusión en la envolvente del edificio	255
	Escaleras, ascensores	
Introducción	Reflexiones	256
Sistemas	Extracto del libro <i>Arte de proyectar en arquitectura</i> de Ernst Neufert	261
	Geometría de las zonas de paso	263
	Barandillas y antepechos: extracto de la norma suiza SIA 358	264
	Ascensores	265
Los sistemas en la arquitectura	La escalera como sistema constructivo de vigas sencillas ensambladas	267
	La escalera como forma orgánica monolítica	268
	La escalera como retícula espacial	269
	La escalera como sistema constructivo macizo de madera	270
	ESTRUCTURAS	
Introducción	Intento de establecer una sistemática para el desarrollo espacial horizontal y vertical	273
Conceptos	Estructura espacial vertical en la construcción maciza: conceptos relativos a la sección	284
	Estructura espacial vertical en la construcción maciza: conceptos relativos a la planta	285
	Estructura espacial abovedada en la construcción maciza: sistemas constructivos con empujes verticales: arcos y bóvedas de cañón	286
	Estructura vertical abovedada en la construcción maciza: sistemas constructivos con empujes verticales: cúpulas	287
Ejemplos	Sobre la masa pesada y la apariencia de pesadez	288
	Ksar Ferich: un conjunto de almacenes fortificados en el sur de Túnez	291
	Arquitectura plástica: la torre medieval habitable	296
Procesos	Fases del proceso de planeamiento	304
	El proceso constructivo	305
Sistemas	Sistemas constructivos de células espaciales	306
	Sistemas constructivos de placas	307
	Sistemas constructivos de armazón o esqueleto	308
	Sistemas constructivos de losas y pilares	309
	Sistemas constructivos de naves	310
Los sistemas en la arquitectura	Prefabricación: construir sistemáticamente, sistemas constructivos	311
	Tipologías constructivas	

	Física aplicada a la construcción, energía	
Introducción	Perdurabilidad: principios básicos de la arquitectura	315
Conceptos	Sobre el problema de la transmisión del calor y la difusión de vapor	320
	Conceptos de aislamiento: esquema de capas	321
	Conceptos de aislamiento: sistemas complementarios.	
	Capa portante interior	322
	Conceptos de aislamiento: sistemas complementarios.	
	Capa portante exterior	323
	Siete reglas para la construcción de un edificio de bajo consumo energético	324
Ejemplo	<i>Low tech – high tectonic</i>	325

EDIFICIOS

Obras seleccionadas

Introducción	Cuestiones de estructura. Sobre la relación entre estructura espacial, sistema constructivo e infraestructura	329
Ejemplos	Burkard Meyer Architekten: edificio de viviendas en Baden	337
	Bearth & Deplazes: galería de arte contemporáneo, Marktoberdorf	347
	Peter Märkli: vivienda unifamiliar en Grabs	356
	Valerio Olgiati: escuela en Paspels	366
	Miller + Maranta: escuela Volta, Basilea	375
	Giuliani Hönger: facultades Sihlhof, Zürich	384
	Peter Märkli: escuela en Birch, Zürich	395
	Burkard Meyer Architekten: centro de formación profesional, Baden	408
	Bearth + Deplazes: edificio de seminarios para profesores, Chur	416
	Marcel Meili, Markus Peter: escuela de formación profesional de carpintería, Biel	425
	Bearth + Deplazes: casa Willmann, Sevegin	436
	Christian Kerez: escuela Leutschenbach, Zürich	441

CATÁLOGO DE ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS

Representación de planos

Construcción: elaboración de los planos en la edificación	453
Representación de planos.	
Ejemplo de construcción con un entramado de madera	459
Símbolos: leyenda de los planos de elementos constructivos	461

Cimentación – zócalo

Zócalo de un muro de fábrica de una hoja	462
Zócalo de un muro de fábrica de dos hojas, con revoco	463
Zócalo de un muro de fábrica visto	464
Zócalo de un muro de hormigón visto con aislamiento interior	465
Zócalo con aislamiento exterior, revoco	466
Zócalo con revestimiento exterior ligero	467
Zócalo con revestimiento exterior pesado	468
Zócalo para un entramado de madera	469
Sistema constructivo de armazón con paneles de madera maciza: zócalo-cubierta	470

Muro – Forjado

Muro de fábrica de una hoja, con revoco	472
Muro de fábrica de dos hojas, con revoco	473
Muro de fábrica visto	474
Muro de hormigón visto, hojas con aislamiento interior	475
Muro con aislamiento exterior, con revoco	476
Muro con revestimiento exterior, ligero	477
Muro con revestimiento exterior, pesado	478
Fachada no portante	479

Fachada de entramado de madera	480
Fachada con paneles de madera maciza	481

Huecos

Ventanas	Hueco en un muro de fábrica de una hoja	482
	Hueco en un muro de fábrica de dos hojas, con revoco	484
	Hueco en un muro de fábrica vista	486
	Hueco en un muro de hormigón visto con aislamiento interior	488
	Hueco en un muro con revestimiento exterior ligero	490
	Hueco en un muro con revestimiento exterior pesado	492
	Hueco en un muro con aislamiento exterior, con revoco	494
	Hueco en una pared exterior no portante	496
	Hueco en un entramado de madera de elementos ligeros	498
	Hueco en un entramado de madera con paneles macizos	500
Puertas	Puerta abatible exterior de madera	502
	Puerta abatible exterior de madera y vidrio	503
	Puerta corredera exterior de vidrio y metal	504
	Puerta abatible interior de madera	505
	Puerta corredera interior de madera	506

Forjados

Forjado prefabricado de elementos cerámicos	507
Forjado de bovedillas cerámicas	508
Forjado de losa de hormigón	509
Forjado de losa nervada de hormigón	510
Forjado de losa reticulada (casetones) de hormigón	511
Forjado de placas aligeradas de hormigón	512
Forjado mixto de hormigón y perfiles de chapa	513
Forjado de madera maciza	514
Forjado de vigas de madera	515
Forjado de vigas cajón	516
Forjado de acero	517

Cubierta – bajo cubierta

Cubierta inclinada caliente: fibrocemento y revestimiento exterior ligero	518
Cubierta inclinada caliente a un agua: fibrocemento y muro de fábrica vista	519
Cubierta inclinada fría: teja cerámica y muro con aparejo de fábrica	520
Cubierta inclinada fría: chapa metálica y muro de fábrica de una hoja	521
Cubierta plana caliente: tela asfáltica y muro de fábrica de dos hojas con revoco	522
Cubierta plana caliente: tela asfáltica y muro de hormigón con aislamiento interior	523
Cubierta plana caliente: plástico y muro con revestimiento exterior pesado	524
Cubierta plana caliente, cubierta compacta: bituminoso y fachada no portante	525
Cubierta plana invertida: tela asfáltica y aislamiento exterior con revoco	526
Cubierta plana fría con cámara de aire ventilada sobre un sistema constructivo ligero: tela asfáltica y entramado de piezas ligeras	527
Cubierta plana caliente: transitable y no transitable	528
Cubierta plana fría	530
Cubierta plana invertida: ajardinada	532

APÉNDICE

Bibliografía seleccionada	537
Fuentes de las fotografías e ilustraciones	539
Índice de términos	549

Prólogo a la edición castellana

José Manuel García Roig

A diferencia de la mayor parte de los manuales al uso que, desde una perspectiva puramente técnica, proporcionan una herramienta más o menos útil con el fin de acometer la resolución de los problemas constructivos inherentes al proyecto, *Construir la arquitectura. Del material en bruto al edificio* se plantea además como una profunda reflexión acerca del propio proceso creativo de la arquitectura.

Partiendo de la idea de que proyectar y construir forman una unidad, como el mismo profesor Andrea Deplazes especifica en su prólogo, el libro se estructura a partir de esa doble vertiente: por un lado, la conceptual y compositiva y, por otro, la realización material de las ideas que dan origen al proyecto. En este manual ambas se alternan e interrelacionan mutuamente. En ello reside el valor esencial de esta obra, y la original y extraordinaria dimensión que alcanza como instrumento propedéutico y didáctico para la enseñanza de la arquitectura.

En el proceso de construcción material del objeto arquitectónico se procede por niveles y estratificaciones, como queda bien reflejado en este manual. En efecto, ésta es la estructura que persigue el libro, procediendo de lo más sencillo a lo más complejo; es decir, de la reflexión sobre los elementos individuales que constituyen el cuerpo material de la edificación a los elementos compuestos, o partes formadas por la articulación de los primeros y, más tarde, a su integración en estructuras o sistemas más amplios que configuran la obra de arquitectura en su conjunto.

Independientemente de la minuciosa y pormenorizada descripción de los materiales y elementos con que se construye cualquier arquitectura (véase el capítulo denominado "Catálogo de elementos constructivos", con una serie de dibujos a escala 1:20 que muestran el completo acabado de las capas envolventes de edificios actuales), desde mi punto de vista, el interés excepcional de esta obra recae en los ensayos de introducción a cada capítulo y apartados de los mismos, así como en los ejemplos históricos que se adoptan como referencia.

Conviene detenerse más atentamente en algunos de estos ensayos para recabar la atención sobre algunos conceptos y teorías hoy lamentablemente bastante marginados, o simplemente despreciados o abandonados en la enseñanza de las materias de teoría, análisis, historia o proyectos, que se imparten en nuestras escuelas de arquitectura, y que deberían someterse a una reconsideración. Respecto a este propósito, los textos incluidos en este manual suponen una contribución decisiva.

Así, por ejemplo, la teoría de Gottfried Semper—contenida básicamente en su obra *Der Stil in den technischen und tektonischen Künsten oder praktische Ästhetik*—define el arte textil como el primero de los cuatro procedimientos técnicos originales del que derivan, a su vez, los cuatro elementos esenciales de la arquitectura, constituye uno de los argumentos que aparece y reaparece como un constante *Leitmotiv* en muchos de los ensayos citados. Según Semper, cualquiera de las cuatro cate-

gorías de materiales debe su naturaleza a un procedimiento técnico determinado: arte textil, arte cerámico, tectónica (carpintería) o estereotomía (cantería, albañilería).

En el ensayo "El *pathos* de la obra de fábrica" de Ákos Moravánszky, el autor afirma con justeza que ninguna investigación teórica ha formulado nuevos conceptos sobre la doble identidad de la obra de fábrica, ni inspirado nuevas ideas al respecto. En este ensayo, las referencias aportadas comprenden un rica panoplia de importantes obras de numerosos autores, entre los cuales encontramos, aparte de los más conocidos, como Louis H. Sullivan, Frank Lloyd Wright, Mies van der Rohe, Alvar Aalto, Louis I. Kahn o Eero Saarinen, otros que lo son en menor medida, pero no por ello menos interesantes, como Paul Schultze-Naumburg, Walter Curt Behrendt, Theodor Fischer, Fritz Schumacher, Dominikus Böhm, Rudolf Schwarz, Fritz Höger o Hugo Häring.

En el ensayo "Acerca de la pared" de Cordula Seger, la autora se apoya de nuevo en la teoría de Semper para establecer una diferenciación conceptual entre muro y pared. Mientras que el muro posee autonomía constructiva, afirma la autora, la pared guarda una relación de dependencia respecto a otras partes de la construcción. Pero resulta que, además, un muro puede convertirse en pared cuando se reviste o cuando, gracias a la disposición de los elementos que la componen, adquiere una apariencia textil. El ensayo proporciona un adecuada reflexión al respecto, analizando desde el planteamiento que lleva a cabo Karl Friedrich Schinkel en su Iglesia del Werder en Berlín (donde el aspecto conscientemente simbólico de la pared es particularmente evidente, pues las nervaduras góticas de su interior no son elementos portantes, sino sólo una parte del revestimiento de la pared o, mejor dicho, de la escenografía de la pared), hasta el de Robert Venturi y John Rauch en el Gordon Wu Hall, el nuevo edificio comunitario para el Butler College en Princeton University de Nueva Jersey (donde, en la entrada, con el frente del portal decorado en mármol y granito gris, los motivos recuerdan al protorrenacimiento), pasando por los ejemplos de Eugène-Emmanuel Viollet-le-Duc, Auguste Perret, Walter Gropius, del Jugendstil o del neoplasticismo.

En el apartado dedicado a "La construcción de la fachada" se incluye un conocido y magnífico artículo de Bruno Reichlin, "A favor y en contra de la ventana apaisada. La controversia entre Auguste Perret y Le Corbusier", publicado anteriormente en la revista *Daidalos*. El texto se refiere a una entrevista sostenida con Auguste Perret con motivo del Salón de Otoño de 1923, y aparecida en la revista *Paris Journal*, que dio origen a una de las muchas y más famosas querellas que se han producido entre arquitectos a lo largo de la historia. En esta confrontación, la crítica de Perret se dirige a la forma de los huecos en las superficies del muro. Pero, por encima de argumentos puramente técnicos y estéticos, la discusión denota, como explica Bruno Reichlin, dos concepciones contrarias de la vivienda, dos culturas distintas en el más

amplio sentido antropológico. Una controversia que puede equipararse a la que se produjo asimismo en la década de 1920 entre los defensores de la cubierta plana y los de la cubierta inclinada, y que la revista *Das neue Frankfurt* (uno de los órganos más significativos de transmisión de las ideas de la corriente denominada Neues Bauen, dentro del movimiento moderno) se encargó de difundir.

La cubierta tiene que ver en cualquier caso, como analiza Francesco Collotti en otro de los artículos incluidos en el libro ("La cubierta"), con las formas míticas primitivas que, tras sucesivas metamorfosis, transformaciones y modificaciones, se reconocen siempre en los elementos de la arquitectura: a lo largo de los siglos, el hastial fue, en efecto, el único elemento de la fachada que permaneció como memoria de la cubierta. Algo que resulta explícito (en pleno debate entre cubierta plana *versus* cubierta inclinada), sobre todo en las esenciales, sencillas y modestas casas de Heinrich Tessenow, un arquitecto a contracorriente de las modas y cuya obra permanece inscrita por derecho propio en esa "tradición de lo moderno" de que han hablado los filósofos alemanes. Si, como afirma Francesco Collotti, el tejado no puede reducirse ya a un eslogan, pues debemos leer todas las formas de ser de la arquitectura moderna, no sólo las vanguardistas (y al mismo tiempo ser conscientes de que hoy no podemos admitir que se entienda el movimiento moderno como el principio y el fin de la arquitectura, ya que ésta puede remitirse de nuevo a la memoria, reflexionar otra vez sobre la experiencia desarrollada a lo largo de todos los tiempos y aprender continuamente de ella), cobran entonces cada vez más vigencia las palabras de Tessenow en el prólogo a la segunda edición de *Der Wohnhausbau* (1909): "En la construcción de nuestra casa, actualmente, cuando se trata de pensar en sus posibles y diversas formas, y en sus elementos constructivos, nada se echa tan en falta, por lo general, como una cierta predisposición hacia la sencillez, la sobriedad, la certeza y otros valores de esa índole".

Uno de los ejemplos más atractivos de esa permanente continuidad que ha de establecerse siempre entre tradición y modernidad, por lo que a elementos, partes y sistemas de arquitectura se refiere, lo ofrece este manual en las páginas dedicadas al análisis y descripción de una casa colectiva como lugar de retiro, construida en 1980 por el arquitecto japonés Shin Takasuga con traviesas de ferrocarril ya usadas, en la pequeña isla de Miyake. En ella se puede apreciar que su contemporaneidad se encuentra ligada, sobre diversos planos, a la propia herencia cultural. Sin embargo, lo innovador no fue el uso de las traviesas, sino el empleo universal de un elemento constructivo único y singular, desde las paredes hasta el entramado del tejado y los muebles empotrados, pasando por los suelos y la estructura portante. Esta contribución de Urs Meister, "Los hilos de la red", viene precedida de un curioso texto en el que se describe detalladamente el corte de un tronco en la cultura tradicional japonesa de construcción con madera, tal y como se realiza en los talleres del gran san-

tuario de Ise, gracias a la costumbre, como se sabe, de reconstruir los santuarios sintoístas cada veinte años. Allí, todo el proceso, desde la explotación forestal hasta la construcción, pasando por la tala y corte de la madera, descansa todavía en las manos de un gremio artesanal.

El libro ofrece un sinfín de ejemplos que ilustran los diferentes apartados en que se divide el capítulo "Materiales constructivos - Módulos", no sólo de la arquitectura histórica, también de la más actual y contemporánea, referidos particularmente a la aplicación que encuentran en esas obras los materiales considerados artificiales, como el hierro, el vidrio o el plástico. Entre ellos son de destacar las obras de Herzog & de Meuron (su depósito para locomotoras en Basilea, el Epicenter Store Prada en Tokio o la Allianz-Arena en Múnich), de Norman Foster (el Sainsbury Center for Visual Arts en Norwich, el aeropuerto de Stansted en Londres, la Facultad de Derecho de Cambridge o el edificio administrativo Willis Faber & Dumas en Ipswich) o de Toyo Ito (la mediateca de Sendai).

Por último, destaquemos la importancia que asume en el libro el capítulo dedicado al estudio y análisis en todas sus vertientes (estructura espacial, sistema constructivo, infraestructura), de doce obras muy recientes, seleccionadas entre los mejores ejemplos de la arquitectura centroeuropea, en su mayoría suiza (no olvidemos que el proyecto de elaborar este manual parte de la cátedra de Arquitectura y Construcción de la ETH de Zúrich. En todo caso, lo que sorprende de los ejemplos seleccionados (más allá de su intrínseca calidad arquitectónica, de su propio valor plástico y formal, expresados en el tratamiento adecuado de los materiales, de sus texturas y características específicas), es el gran rigor constructivo y el perfecto acabado con que están realizados y, sobre todo, la especial atención puesta en la aplicación de los principios de la física de la construcción en aspectos como la impermeabilización, el aislamiento acústico y térmico, la protección solar, la calefacción o la ventilación.

En fin, digamos, para concluir, que si *Construir la arquitectura* se postula como uno de los estudios más sistemáticos y exhaustivos que nunca se hayan llevado a cabo en el campo de la enseñanza enfocada al proyecto de arquitectura, es porque el conocimiento de la historia y de la construcción (del desarrollo de determinadas formas constructivas y de su evolución a lo largo de la historia), se consideran aquí fundamentos básicos, sin los que aquél no puede abordarse con un mínimo grado de coherencia. En este sentido, resulta por lo tanto una obra necesaria, a la vez que un libro de consulta imprescindible, pues, como acertadamente afirma el propio Andrea Deplazes, "A diferencia de otras obras, que tienen únicamente una orientación técnica, se centra en aquellos aspectos de la construcción que generan un significado arquitectónico. Los ensayos que se refieren a la historia de la cultura, introducidos como aportaciones diversas en esta publicación, recuerdan precisamente la relación fluida que existe entre el *topos*, el tipo y la tectónica".

Prólogo

Andrea Deplazes, Christoph Elsener

Construir la arquitectura alude a la actitud arquitectónica que subraya la capacidad de los arquitectos para poder tender un puente entre el proyecto y la realización de una obra: una coherencia temática y de contenido que, en el curso del proceso del proyecto, discurre alternativamente entre la clarificación y el punto crítico del objetivo perseguido, y en una progresiva transformación que, concretada físicamente, se refleja en la obra construida.

Cuando una obra literaria se traduce a otra lengua, el uso correcto de la gramática o la sintaxis es un requisito técnico indispensable (*una conditio sine qua non*). Se trata de interpretar coherentemente el sentido y la atmósfera del texto original, lo que en determinadas circunstancias puede influir retroactivamente en la gramática y la sintaxis. Algo parecido sucede con la arquitectura: no es desde luego una lengua compuesta de fonemas, palabras o textos, pero conoce sin lugar a dudas un vocabulario específico de los materiales (módulos), una gramática constructiva (elementos) y una sintaxis estructural (estructuras, sistemas constructivos). Éstos constituyen sus presupuestos principales, algo así como la mecánica de la arquitectura. A ellos también pertenecen los fundamentos técnicos que, totalmente independientes de un proyecto u obra concreta, establecen un método basado en principios constructivos y un saber hacer que pueden aprenderse. Aunque estos instrumentos son en sí mismos concluyentes, hasta que no se vinculan conceptualmente

a un proyecto permanecen fragmentarios, inconexos y, por tanto, carentes de sentido.

Sólo en relación con un concepto se desarrolla un proceso de proyecto vital, donde los fragmentos originariamente aislados de la técnica y de la construcción se disponen y ordenan en un volumen arquitectónico unitario. Las partes y el todo se completan, se condicionan y se influyen alternativamente. Es el paso de la obra construida a la arquitectura, de la construcción a la tectónica.

Factores que influyen en la forma arquitectónica

Todo lo material posee una forma, independientemente de que exista o no la intención de hacerla reconocible. Ante un artefacto, uno se plantea la pregunta de cómo ha encontrado su forma. Cuestión que puede formularse en dos sentidos diferentes: con el primero de los interrogantes, ¿qué influencias exteriores actúan en el desarrollo de una forma?, se alude a una gran cantidad de factores geográficos, culturales y de mentalidad histórica, por ejemplo, que se incrustan en ella más allá de que exista un propósito formal; con el segundo, ¿qué criterios determinan la misma?, se alude a la intención, a una elección presidida conscientemente por criterios formales. La forma es finalmente el resultado de un complejo juego de conjunto. Esta conjunción de factores garantiza pues una solución en cierta medida ya determinada. Pero esto no significa llegar a un resultado formal forzado; en el marco de lo evidente siempre hay distintas posibilidades de elección.

Kenneth Frampton determina tres grandes y fundamentales factores de influencia: "objetivamente parece que lo construido surgiese siempre de la interacción de tres vectores convergentes; el *topos*, el tipo y la tectónica". El concepto de tectónica, que abarca desde el proceso de construcción de la materia hasta el edificio acabado, ya es de por sí muy amplio. Éste es el ámbito al que se dedica en primera línea el presente libro. Los ensayos que se refieren a la historia de la cultura, introducidos como aportaciones diversas en esta publicación, recuerdan precisamente la relación fluida que existe entre el *topos*, el tipo y la tectónica.

Estructura del libro

La articulación de los capítulos en "Materiales de construcción - Módulos", "Elementos constructivos" y "Estructuras" se corresponde con el proceso de generación de la arquitectura, que abarca desde la obtención de un material en bruto específico hasta la obra acabada, pasando por la unión de las diferentes partes individuales del edificio. Con ello se formula asimismo uno de los objetivos fundamentales de esta publicación: mostrar hasta qué punto la expresión arquitectónica depende de su concepción constructiva. De acuerdo con este deseo, y a diferencia de otras obras que tienen únicamente una orientación técnica, nuestro punto de mira especial se centra en aquellos aspectos de la construcción que generan un significado arquitectónico. Por ello, las condicio-

TIPOLOGÍA

TECTÓNICA

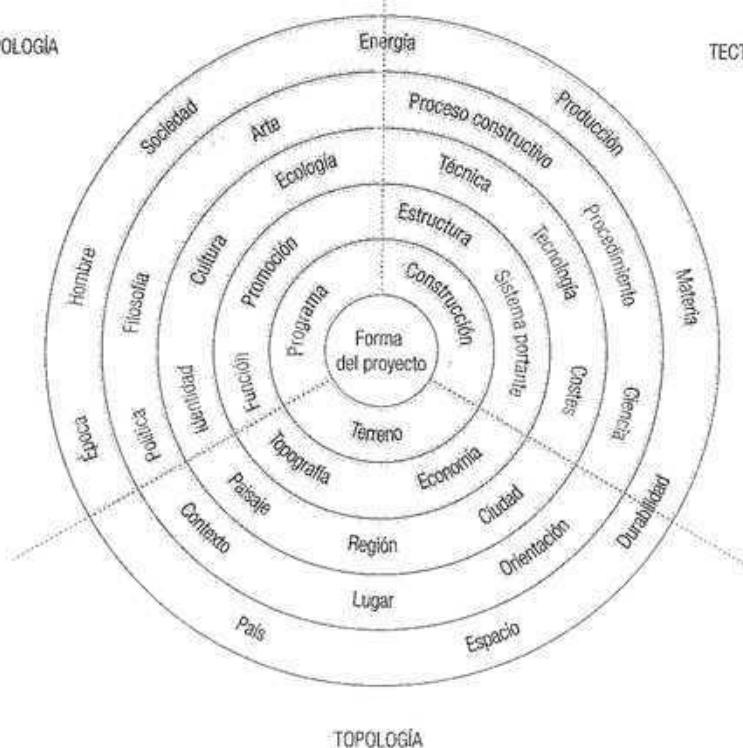


Fig. 1: Procesos de configuración o desarrollo formal

nies previas que plantean los materiales en bruto y los elementos constructivos se tratan constantemente por lo que se refiere a su influencia en la definición de la forma arquitectónica. Este planteamiento queda plasmado en una estructura por capítulos, en los que se encuentran escuetos dibujos de detalle junto a reflexiones ensayísticas, conceptos básicos del construir junto a descripciones concretas de los procesos constructivos, reflexiones teóricas junto a otras de orientación práctica. Como fundamento de esta visión panorámica, el enfoque global del proceso constructivo aquí expuesto se supedita a una articulación temática, lo que permite una rápida localización. Junto al ensayo de introducción se exponen, en cada capítulo específico, puntos centrales de temas a los que se vuelve recurrentemente, lo que facilita una orientación dentro del libro y permite comparar materiales y elementos constructivos.

Bajo el concepto 'cualidades de los materiales' se exponen el modo de fabricación, la oferta y composición de los materiales actuales más importantes (ladrillo, hormigón, madera, acero, vidrio y materiales aislantes). La diferenciación entre 'concepto', 'proceso' y 'sistema' alude a la sintonía entre idea conceptual, proceso constructivo y estructura del edificio, que influye decisivamente en el surgimiento de una solución constructiva. El término 'concepto' se circunscribe a los procesos de análisis e interpretación, cuya eficacia ha quedado probada en el desarrollo de sistemas constructivos. El término 'proceso' describe tanto las medidas que preceden al comienzo de una obra como los pasos necesarios para el montaje de elementos concretos en la misma. Como 'sistemas' se señalan las diversas posibilidades de ensamblar módulos y elementos para configurar una unidad constructiva coherente, lógica desde el punto de vista estático. Los sistemas constructivos aquí descritos encuentran un vínculo, aún más estrecho, en el apartado "Sistemas en la arquitectura", con las cuestiones que se refieren a la expresión arquitectónica. Los artículos sobre obras individuales o determinadas formas constructivas, reunidos bajo el título "Ejemplos", constituyen un material de observación complementario que muestra cómo una idea constructiva se convierte finalmente en arquitectura. En el apartado "Problemas de la física aplicada a la construcción", se expone la relación entre la construcción y el comportamiento energético de la capa envolvente de un edificio.

Una serie de dibujos de elementos constructivos a escala 1:20 muestra el complejo acabado de las capas envolventes de los edificios actuales. Tanto antes como ahora, zócalo, transiciones entre pared y techos, huecos (ventanas y puertas), así como la parte correspondiente a la cubierta, forman el núcleo del construir arquitectónico. Las soluciones aquí presentadas están vinculadas a una determinada idea arquitectónica y, en consecuencia, no pueden generalizarse.

Para autodidactas

Cada tema tiene una extensión diferente, lo cual no debe valorarse sino como expresión de un sistema de trabajo dedicado a la enseñanza. El manual tampoco sustituye al contenido de las lecciones impartidas en las clases. Esta publicación no tiene pretensiones de ser exhaustiva. Se trata más bien de una recopilación de distintos temas fundamentales, elaborada en la cátedra de Arquitectura y Construcción para los estudiantes de la escuela de arquitectura de Zúrich (ETHZ). Una parte de los artículos ha sido gentilmente puesta a nuestra disposición por autores externos a ella, algunos menos se han tomado de normas y obras estándar. El tratamiento adecuado de los mismos es cuestión del usuario, no de los autores de esta publicación. Nos eximimos pues, en toda su extensión, de cualquier tipo de responsabilidad.

Lo mejor que una escuela de arquitectura puede lograr es el fomento del sentido autodidacta del estudiante. Esto implica la profundización personal en fundamentos básicos y la actitud crítica, así como también la investigación intensiva, la formulación de hipótesis y la elaboración de síntesis. Muchos de los temas del curso básico son tesis que, no por estar impresas en este manual, pueden considerarse correctas. Se trata más bien de aceptar el manual como una recopilación provisional de cuestiones arquitectónicas y tecnológicas conocidas, pero planteadas en la actualidad; es decir, de entender este libro como una plataforma para poder reflexionar sobre el complejo oficio del arquitecto.

La construcción del proyecto de arquitectura como cadena de adiciones de lo pequeño a lo grande



Fig. 2: Tierra (materiales constructivos)
Mezcla de barro y arena

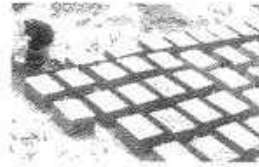


Fig. 3: Ladrillos (módulos)
Producción, secado al aire, Pakistán



Fig. 4: Muro (elementos constructivos)
Restas arqueológicas de viviendas, Líbano

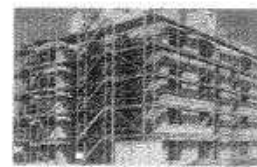


Fig. 5: Obra en bruto (estructuras)
Edificio de obra de fábrica en construcción



Fig. 6: Obra acabada (construida)
Conjunto de viviendas terminado, Ámsterdam

1. Materiales en bruto

Según Gottfried Semper, los materiales en bruto, que como materiales de construcción potenciales se encuentran disponibles desde el primer escalón de su tratamiento, pueden clasificarse, por su naturaleza, en las siguientes cuatro categorías:

1. Flexibles, tenaces, resistentes a la rotura, de resistencia total y absoluta.
2. Blandos, plásticos, capaces de endurecerse, que se aplican con facilidad y la forma dada se conserva en un estado inalterable una vez endurecidos.
3. De forma alargada, elásticos, de resistencia relativa a los esfuerzos que actúan verticalmente en toda su longitud.
4. Firmes, compactos, resistentes a la compresión y al pandeo, adecuados para ser elaborados y ensamblar sistemas consistentes.

Según Semper, cualquiera de estas cuatro categorías de materiales debe su naturaleza a un procedimiento técnico determinado: arte textil, arte cerámico, tectónica (carpintería) o estereotomía (cantería, albañilería).

La idea subyacente es la de que existe "un determinado material adecuado para cada técnica, un material originario que proporciona los medios más adecuados para la creación de las formas que le son inherentes en su ámbito primigenio".

El material de partida permanece sin embargo carente de significado arquitectónico mientras no se reflexiona sobre él, y el potencial de su percepción queda oculto.

Ya la "elección" (de piedras sin labrar, por ejemplo), como acumulación de módulos, pero también la preparación de los trabajos previos a la construcción, constituyen el resultado de un trabajo totalmente planificado y, por ello, forman parte del primer nivel en la producción de la obra (preparativos).

2. Módulos

Las "piezas constructivas" constituyen los componentes básicos de menor tamaño dispuestos para formar parte de la construcción. Son el resultado de un proceso de producción más o menos laborioso:

- de piedras informes se obtienen piedras labradas (bloques, placas, sillares, cabezales)
- de tierras, arenas y guijarros (por ejemplo, barro, arcilla) se obtienen piezas de tierra cocida y con forma (ladrillos, baldosas cerámicas secadas al aire o en hornos) y materiales más elaborados (cemento, hormigón)
- de módulos lineales, con formas estables, o elásticos de fibras orgánicas (como troncos de árboles, varillas, ramas), se obtienen todo tipo de maderas cortadas a capricho (rollizos o barras de madera de sección circular, maderas cuadradas, vigas, tableros, listones).

Todos estos módulos muestran una "tectónica interior" immanente, unos principios de ensamblaje inherentes a los mismos, que implican el segundo nivel o escalón: apilamiento, ensamblaje, entretejido, conformación plástica (modelado), fraguado, etc.

3. Elementos

Elementos constructivos (muros y forjados, paredes, bóvedas y cáscaras, techos y cubiertas), obtenidos a partir de módulos, constituyen, por así decir, el semifabricado del segundo escalón de producción de la obra.

Tanto en la puesta en obra como en el continuo acoplamiento de los distintos elementos, se ponen de manifiesto problemas de estabilidad que pueden resolverse adoptando las siguientes medidas:

- reconfiguración horizontal de la superficie en el caso de plegaduras, ondulaciones, dobleces en los bordes o nervios
- escalonamiento vertical en caso de una altura creciente
- conformación de bastidores por medio de riostras (con riostras diagonales, puntales como construcciones auxiliares, riostras en los ángulos del bastidor).

4. Estructuras

El tercer escalón de producción de la obra forma un sistema constructivo, o estructura de elementos, cuyos componentes secundarios pueden describirse del siguiente modo:

A. Estructura portante

Supone una condición previa de toda estructura constructiva. Aquí se consideran solamente los elementos imprescindibles para el soporte de la obra (sostener, estabilizar).

B. Estructura constructiva

Implica la interacción de todos los elementos necesarios para la obra (sostener, separar con el fin de configurar espacialmente). A veces denominada también "obra en bruto".

C. Estructura espacial

Contiene la idea de un sistema espacial más o menos complejo. De la relación entre estructura portante, estructura de la obra y estructura espacial se deriva un "modelo tectónico". Tectónica significa en este contexto la parte física visible de ese "vínculo superior", un sistema constructivo inherente al proyecto arquitectónico, que tiene como finalidad la configuración espacial.

D. Infraestructura

Todas las instalaciones fijas necesarias para el abastecimiento y evacuación de un edificio. Con frecuencia las infraestructuras mantienen una relación conflictiva con la estructura constructiva.

E. Estructura de comunicación

Espacios de circulación y recorridos horizontales y verticales. A ellos pertenecen también escaleras y rampas, así como los accesos de un edificio.

5. La obra construida

La obra se genera mediante: su estructura y un proceso

Obra construida – espacio – estructura portante

- tectónica
- construcción en bruto
- acabado
- infraestructuras

Plan

- concepción (idea)
- proyecto
- interpretación (significado)
- instrucciones iniciales
- intercambio de información
- cronología de la acción

Producción

- cronología de los estadios de producción
- logística
- decurso operativo
- principios de conjunción

Bibliografía

- Neumeier, Fritz, y Cepl, Jasper, *Nachdenken über Architektur. Quellenlexikon zur Architekturtheorie*, Prestel, München, 2002.
- Semper, Gottfried, *Der Stil in den technischen und tektonischen Künsten oder praktische Ästhetik* (tomo I-II), Verlag für Kunst und Wissenschaft, Frankfurt, 1860-1863.

Construcción maciza y construcción ligera

Christoph Wieser, Andrea Deplazes

En el marco de una conferencia sobre el tema de la "Morfología de lo arquitectónico" en la ETH de Zúrich, el crítico de arquitectura Kenneth Frampton, citando a los dos teóricos esenciales de la arquitectura, Eugène-Emmanuel Viollet-le-Duc y Gottfried Semper, distinguió la evolución de las formas arquitectónicas a partir de la *earthwork* (trabajos de preparación del terreno) y la *roofwork* (trabajos de techado) o, de acuerdo con los conceptos de la teoría de la arquitectura, de la estereotomía (construcción maciza) y la tectónica (construcción ligera). Mientras a la *earthwork* pertenecerían todas las técnicas constructivas basadas en la construcción de muros macizos (construcción con arcilla, barro apisonado y adobe, obra de fábrica de ladrillo y de piedra, etc., y sus formas estereotómicas como el muro, el arco, la bóveda y la cúpula), la ligera *roofwork* comprendería todas las estructuras de barras y formas similares, u obra compuesta por elementos trenzados, tendidos para cubrir un espacio y formar techos (elementos, pues, de cubrición), y que al constituir el tejado limitan verticalmente el espacio. A este género constructivo pertenecería la construcción de madera, con sus uniones solapadas y ensambladas, así como, desde inicios del siglo XIX, la construcción industrial en acero. Los principios empleados en la formación de estructuras en la construcción ligera no eran nuevos, sino que se dedujeron de la construcción tradicional y anónima con madera: cúpulas esféricas formadas por barras lineales curvas y rectas, estratificación de barras verticales, bastidores de dos y tres dimensiones (entramado tradicional, entramado de piezas ligeras), vigas horizontales para la construcción de forjados, así como de cubiertas (armazones de cubierta con cabrios, armaduras sobre puntales), que pertenecen al trabajo artesanal cotidiano del carpintero. Se encontraban allí donde los recursos de madera eran propicios para su empleo o cuando era exigible cubrir luces medianas con un material ligero. En contrapartida, debe asumirse que la madera, a diferencia de la piedra o el ladrillo, es un material orgánico y por ello perecedero (es decir, susceptible de ser atacado por hongos, de pudrirse o quemarse). Por estos motivos, la construcción con madera nunca ha competido seriamente con la maciza o estereotómica, o ha llegado a desbancarla.

Sólo con la implantación de la tecnología industrial de la construcción en acero se pusieron en tela de juicio los hasta entonces indiscutibles fundamentos tectónicos de la arquitectura occidental. Mientras en el caso de la construcción maciza el peso de la masa del material encuentra su expresión arquitectónica en lo arcaico y, a veces, en lo que tiene de monumental la estereotomía, en las construcciones ligeras, sin embargo, la casi total disolución de la masa y la masividad (la así denominada sublimación) dibuja en el espacio una retícula abstracta y cartesiana: el esqueleto o armazón perfectamente concebible de un volumen fantasma.¹

Revolución cultural y constructiva

Aún en 1964, Sigfried Giedion sostiene que la cuestión sobre el origen de la arquitectura resulta "muy complicada", tal y como escribe en su libro *El presente eterno*. Por ello, y a pesar del sugerente título, no quiere entrar en detalles, sino que se limita a una exposición de la evolución principal, apoyada en investigaciones posteriores: discurre, resumidamente, desde la cabaña, más sencilla, circular u ovalada, hasta las moradas rectangulares.² Según Giedion "la casa prismática de planta rectangular y paredes verticales [...] es el producto final de intentos muy diversos", observación en la que no deja de percibirse un matiz valorativo.³ El abandono de las construcciones circulares a lo largo de la evolución de la historia de la cultura tuvo que deberse fundamentalmente a motivos pragmáticos: las casas rectangulares pueden subdividirse y son susceptibles de ampliaciones con mayor facilidad, lo que quiere decir que, desde el punto de vista económico, también pueden agruparse más fácilmente para formar asentamientos. La implantación de la casa rectangular tiene una relación directa con el origen del sedentarismo, ya que la posibilidad de conformar un asentamiento compacto juega un papel secundario en los pueblos nómadas. En el principio de la evolución, construir de forma circular o rectangular no era sólo una cuestión de satisfacción de puras necesidades prácticas, sino precisamente expresión de una idea espiritual. Según Christian Norberg-Schulz, en las culturas primitivas no es posible diferenciar "entre lo práctico y lo religioso (mágico)".⁴ Formas y elementos arquitectónicos poseen en este estadio un significado tanto práctico como simbólico (un concepto que aún pervive en los tipis y yurtas de los pueblos nómadas norteamericanos y asiáticos, respectivamente). Para sus moradores, estas viviendas transportables con un espacio único simbolizan el cosmos en toda su totalidad, mientras que la distribución interior responde a reglas antiquísimas que indican la ubicación concreta de cada objeto y habitante.

Arquetipos de la construcción

En este lugar no se coloca en primer plano el desarrollo de la morada humana, sino la caracterización de los dos sistemas constructivos arquetípicos, es decir, la construcción maciza y la ligera.⁵ También aquí juega un papel decisivo el paso del nomadismo al sedentarismo, pues si bien se presume que las primeras moradas fueron construcciones ligeras efímeras, la casa patio en Mesopotamia, surgida en torno al 2500 a. C., constituye un primer tipo que abre el camino para la construcción de viviendas producidas en serie. Este desarrollo histórico está reflejado conceptualmente: sólo puede comenzar a hablarse de arquitectura desde el sedentarismo.⁶ De la expresión *tecton* (para el carpintero, considerado el representante de la construcción ligera), se derivó más tarde el concepto de *arquitecton*, de maestro constructor.⁷ A pesar de ello, no debe considerarse la construcción ligera como un

mero escalón previo de la maciza y que hubiera perdido su legitimidad en el curso del desarrollo histórico. No en vano los sistemas constructivos dependen de las fuentes naturales disponibles y del significado que se otorga a la perdurabilidad de un edificio. En consecuencia, tanto la construcción maciza como la ligera encarnan, de modos distintos, pero ambas en un mismo plano de importancia, los dos sistemas constructivos arquetípicos.

Construcción ligera

Las primeras construcciones ligeras son variantes de cubiertas livianas, por lo general desprovistas de paredes de apoyo, construidas con un armazón de ramas, troncos o huesos, con una cubierta de protección compuesta de hojas, pieles de animales o esteras trenzadas. Según Hans Soeder, dentro de estas construcciones pueden diferenciarse tres tipos: "construcciones circulares con cúpula (como en las tribus cazadoras de África), casas de planta circular y volumen cónico, o tiendas cónicas de las zonas árticas y antárticas, y (en regiones cálidas o de climas templados) construcciones rectangulares colocadas inclinadamente como abrigo contra el viento".⁸ Además de las condiciones climáticas, los primeros refugios estaban contruidos con materiales animales u orgánicos disponibles (aunque lamentablemente esta hipótesis no puede corroborarse por ningún yacimiento). Con el tiempo, empezaron a emplearse también materiales inorgánicos, lo que supuso un primer avance para lograr una mejora de las condiciones de vida, pues son de mayor duración y resisten mejor las inclemencias del tiempo, pero implican también un estadio del desarrollo cultural más elevado. Una de estas mejoras fue, por ejemplo, el recubrimiento con barro del entramado.

El concepto de construcción ligera, o 'filigrana', hace referencia directa a la fisonomía de este procedimiento constructivo: desde el siglo XVII, la palabra 'filigrana' designa un trenzado de metales nobles soldados. Desde el punto de vista etimológico, la palabra se compone de *filo* (hilo) y *grana* (grano), que hace referencia a la rugosidad de la superficie de los metales. La palabra compuesta significa "una estructura superficial tejida con hilos".⁹ En consecuencia, una construcción ligera, o filigrana, está formada por una estructura articulada de elementos ligeros, un entretejido de elementos lineales, con forma de barra o tronco, que se ensamblan para configurar un entramado plano o tridimensional. De todo ello surge una retícula espacial, rellena con elementos constructivos que cumplen una función de división y soporte (paredes, muros). El armazón portante no crea desde luego un espacio arquitectónico, y éste sólo surge en un siguiente paso, cuando el entretejido espacial cierra o, según Gottfried Semper, reviste. La relación entre el interior y el exterior de un edificio tiene lugar a través de elementos secundarios y no de la estructura en sí. Las aberturas adaptadas al sistema son por ello huecos estructurales, cuyo tamaño está supeditado a la división por partes del entramado.

Resulta también interesante la referencia a Semper porque, en su obra *Der Stil*, define el arte textil como el "arte original", el primero de los cuatro "procedimientos técnicos originales" del que derivaron los cuatro elementos esenciales de la arquitectura. Con ello Semper describió el principio tectónico de la construcción ligera —tejer, anudar y trenzar— como las técnicas artesanales primigenias del hombre.¹⁰

Construcción maciza

Una característica principal de la construcción maciza es, como su propio nombre indica, la pesadez y compacidad que, frente a la construcción ligera, indica que se trata de un sistema muy diferente. Su elemento primario es el muro macizo tridimensional que surge por la estratificación de piedras o materiales modulares previamente fabricados, o bien por el vertido de un material en un encofrado, que se endurece al secarse. El principio de ensamblaje de la construcción maciza podría inscribirse pues dentro de las técnicas del vertido y del apilamiento. Esto último se hace patente a partir del significado del concepto teórico equivalente al de construcción maciza, el de estereotomía: el "corte de la piedra", el arte de cortar las piedras de modo tan exacto que, en el caso ideal, el simple apilamiento de dichas piedras talladas, unido a la acción de la gravedad, sea suficiente para asegurar la estabilidad del edificio sin necesidad del uso adicional de elementos como el mortero u otros de características similares. De ahí se desprende que las construcciones macizas sólo trabajan a compresión y no, como las ligeras, a tracción. El principio del simple apilamiento, solicitado únicamente a tracción, se muestra de forma ejemplar en las construcciones de piedra del pueblo de Bories (Gordes, Francia), con sus falsas cúpulas.¹¹ En la construcción maciza, el espacio surge inmediatamente gracias a la erección de los muros: la estructura espacial y la portante constituyen una unidad. Por ello, la obra en bruto, en lo que afecta a su definición espacial, se corresponde ya en gran medida con la obra acabada, pues los elementos secundarios son prácticamente innecesarios. Los huecos se conciben como aberturas en el muro con sus dimensiones limitadas, ya que reducen la capacidad portante del mismo. Este tipo de construcción parte de una célula espacial única y crea conglomerados espaciales mediante adiciones exteriores (crecimiento aditivo) o mediante divisiones interiores. Por lo general, no existe jerarquía estructural, ya que, en el caso más sencillo, todos los muros son de carga y separan el espacio. Asimismo, todos los elementos revisten el mismo valor.

Construcción mixta

Con este par de conceptos, construcción maciza (estereotomía) y construcción ligera (tectónica), quedan especificados los dos sistemas constructivos arquetípicos. Cualquier modo de edificar se deriva de ellos, aunque sus puntos de partida sean aún muy confusos. El campo de

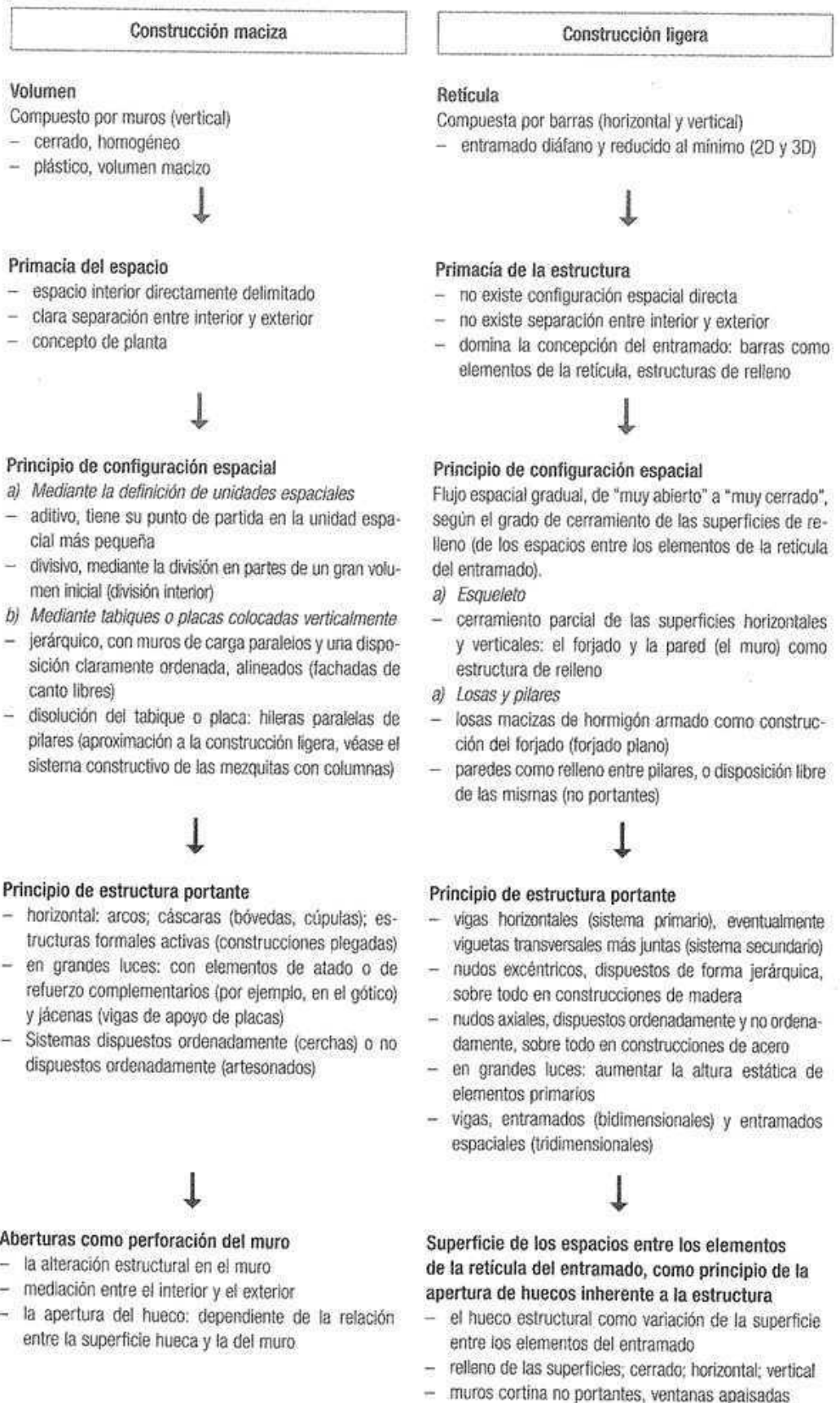
los modos de construcción en la arquitectura es hoy más inabarcable que nunca; todo es posible, todo está disponible. Parece que ya no existen límites, al menos desde el punto de vista técnico. El a menudo nuevo y sorprendente uso de materiales de alta tecnología y de componentes de sistemas complejos, conduce a una disolución, cada vez mayor, de los límites originales entre ambos sistemas constructivos arquetípicos. Hace ya tiempo que ni la construcción maciza ni la ligera son capaces de dar respuesta a las nuevas exigencias o posibilidades que plantea el mundo contemporáneo: predominan los sistemas mixtos.

No obstante, la diferenciación entre construcción maciza y ligera como sistemas constructivos puros resulta interesante para aclarar el comportamiento de ambos. Esta distinción nos facilita las herramientas de análisis que permiten la comparación entre sistemas contemporáneos, comprensibles a partir de su evolución histórica. De este modo, se agudiza la visión de lo específico y, a su vez, se llega a conocer sus límites.

Notas

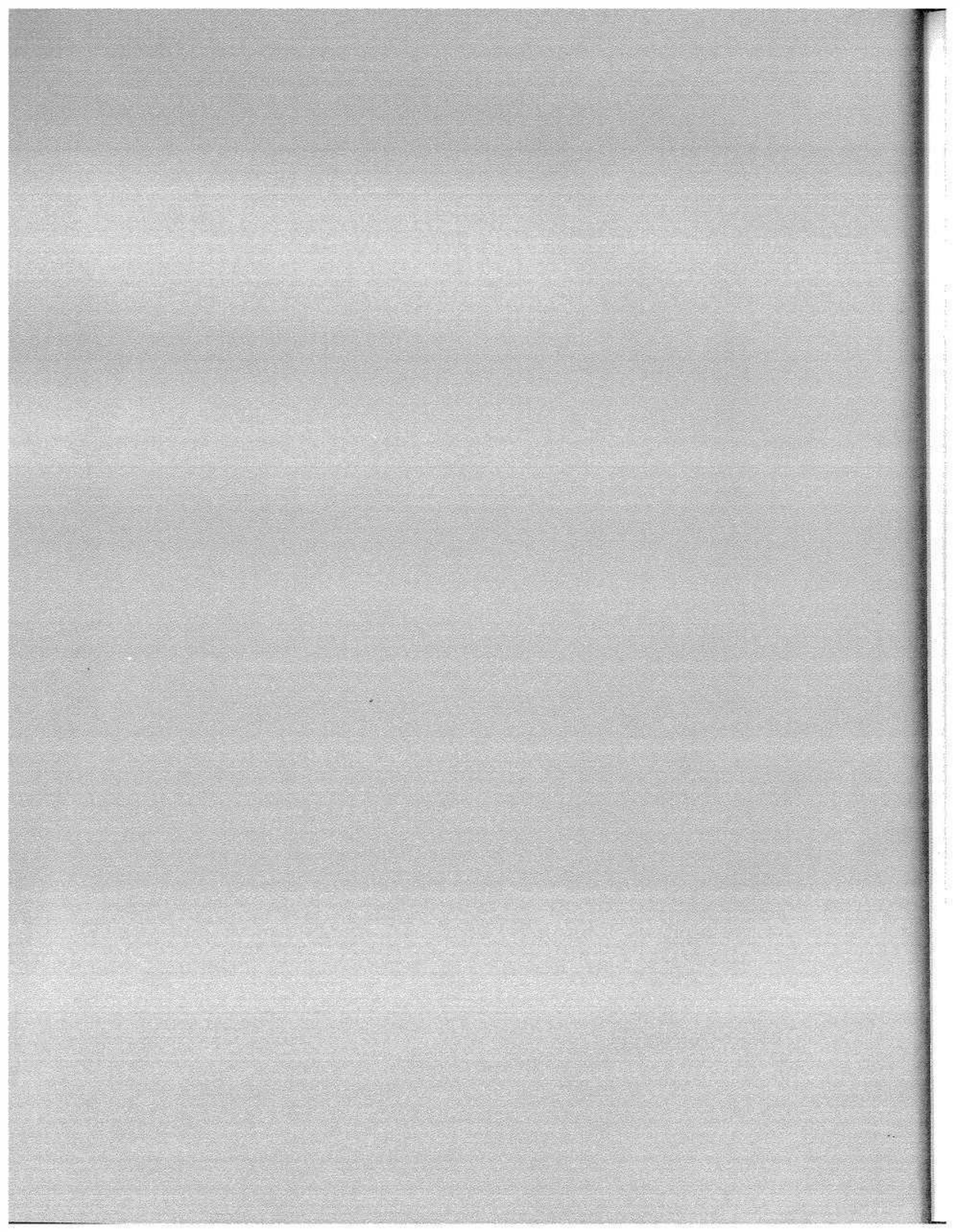
- ¹ Se hace referencia en este caso a los edificios para las exposiciones universales del siglo *xx*, como el Crystal Palace de Londres o la torre Eiffel de París. Sobre esta última, véase también Barthes, Roland, *La tour Eiffel* [1964] (versión castellana: *La torre Eiffel: textos sobre la imagen*, Paidós, Barcelona, 2001).
- ² Giedion, Sigfried, *Evolve Gegenwart. Der Beginn der Architektur*, DuMont Schauberg, Zürich, 1964, pág. 131 (versión castellana: *El presente eterno: una aportación al tema de la constancia y el cambio*, Alianza Editorial, Madrid, 1965).
- ³ *Ibid.*
- ⁴ Norberg-Schulz, Christian, *Intention in architecture*, Universitets forlaget, Oslo, 1966 (versión castellana: *Intenciones en arquitectura*, Editorial Gustavo Gili, Barcelona, 2008).
- ⁵ El concepto de sistema constructivo ligero es el que designa con mayor precisión el principio tectónico constructivo a él asociado. Otro concepto empleado frecuentemente como sinónimo es el sistema constructivo de armazón o esqueleto. Este, que puede asociarse a estructuras botánicas o animales, parece hacer referencia a una concepción orgánica de la arquitectura y, como tal, no tiene nada que ver con lo constructivo. Del mismo modo, el concepto de sistema constructivo ligero es restrictivo, no sólo se reduce demasiado inadecuadamente a construcciones de poco peso, sino que también, indirectamente, da prioridad a determinados materiales y excluye a otros.
- ⁶ Dröge, Markus, y Hakubek, Raimund, "Der rechte Winkel. Das Einsetzen des rechteckigen Bauprinzipals", en Brandt, Andreas, *Elementare Bauten. Zur Theorie des Archetypus, Urformen weltweiten, elementaren Bauens in einer Zusammenschau*, Technische Universität Darmstadt, Darmstadt, 1997, págs. 499-508 (501).
- ⁷ Frampton, Kenneth, *Studies in tectonic culture: the poetics of construction in nineteenth and twentieth century architecture*, The MIT Press, Cambridge (Mass.), 1995 (versión castellana: *Estudios sobre cultura tectónica: poéticas de la construcción en la arquitectura de los siglos *xix* y *xx**, Akal, Madrid, 1999).
- ⁸ Soeder, Hans, *Urformen der abendländischen Baukunst in Italien und Alpenraum*, Dumont, Colonia, 1964, pág. 19.
- ⁹ Kluge, Friedrich, *Etymologisches Wörterbuch der deutschen Sprache*, Verlag Walter de Gruyter, Berlin 1995²⁰, pág. 265.
- ¹⁰ Sempër, Gottfried, *Der Stil in den technischen und tektonischen Künsten oder praktische Ästhetik* (tomo I: *Die textile Kunst*), Verlag für Kunst und Wissenschaft, Frankfurt, 1860, pág. 13.
- ¹¹ Blaser, Werner, *Elementare Bauformen*, Beton-Verlag, Düsseldorf, 1962, págs. 31-43.

Sobre la relación entre estructura y espacio
Construcción maciza y construcción ligera



MATERIALES CONSTRUCTIVOS – MÓDULOS

	Materia	Obra de fábrica	Hormigón	Madera	Acero	Aislamiento	Vidrio o plástico
Introducción	Sobre el significado de la materia	El papel de la obra de fábrica	Sobre la manufactura del hormigón	Madera: inerte, sintética, estructural	¿Para qué construir con acero?	El material "invisible"	Vidrio, cristalino, anidado. El plástico
Propiedades de los materiales	Sobre la percepción del espacio arquitectónico. Duración media de los elementos masivos	El material	El material. Proceso. Una regla para la edificación del hormigón. Superficies vivas de hormigón	El material. Productos elaborados a partir de la madera. Tableros en laminas. Tableros prensados. Tableros de fibras. Principales sistemas prefabricados. Sistemas constructivos de tablero, desmonte, acústico	Perfiles, formas y aplicaciones. Protección contra incendios. Posibilidades de aplicación de los sistemas constructivos de acero	Aislamiento térmico, transparente. Materiales aislantes térmicos y sus posibilidades	Vidrio, el material constructivo duradero. El plástico, en el ámbito de la arquitectura
Sistemas		Conceptos. Proyecto y puesta en obra. Aparejo. Anclaje y armado en muros de fábrica de dos hojas de ladrillo	Apropiado del forjado de hormigón visto con aislamiento térmico interior. Anclaje de un revestimiento exterior pesado (hormigón). Anclaje de un revestimiento exterior pesado (piedra natural). Prefabricación de forjados de hormigón armado.	Sistemas constructivos de madera: compendio. Sistemas constructivos de madera: principio constructivo. Prefabricación de vigas de madera.	Uniones (una selección). Estructuras. Entramados con vigas en voladizo. Entramados con pilares continuos. Esqueleto de acero en dos direcciones. Prefabricación de vigas de acero.	Sistemas de aislamiento térmico: compendio	
Los sistemas en la arquitectura		Análisis de la arquitectura de la construcción del muro. Sistemas constructivos. Prefabricación.	Elementos estructurales lineales. Sistemas estructurales de elementos lineales. Elementos portantes superficiales. Sistemas estructurales planos.		Pieguas y dobladuras. Esqueleto de acero. Cerejas y fachadas. Entramados espaciales. Rombos y diagonales. Construcciones tipo domo.		
Ejemplos				Curso de un hogar en la cultura tradicional japonesa de construcción con madera. Los alios de la red.			



Sobre el significado de lo material

Andrea Deplazes

Para mí, proyectar y construir es lo mismo. Me gusta la idea de que la forma sea el resultado de la construcción y del material, algo concreto. En efecto, considero que limitarse a esta fórmula sería una reducción mecanicista, pues la configuración de la forma comporta, voluntariamente o no, una información en sí misma, una intención sobre sus componentes materiales y constructivos. Incluso la ausencia de un propósito formal proporciona información (como ha quedado suficientemente demostrado con la construcción funcional). La separación académica entre proyectar y construir constituye, por tanto, una estrategia didáctica para el planteamiento de puntos temáticos esenciales que encuentra su explicación gráfica en la metáfora de un alfarero que trabaja en su torno: éste modela con ambas manos una vasija, aplicando sobre la masa informe de barro el esfuerzo de una mano desde el exterior y el de la otra desde el interior del hueco del recipiente al que da forma. Surge, pues, un contenedor espacial. En el mejor de los casos, ambos esfuerzos actúan, por así decirlo, complementariamente, o, al menos, se condicionan mutuamente, de modo que la didáctica se convierte en método de trabajo y, a partir de ahí, decididamente en el proceso del proyecto. Éste se nutre de ambos sentidos: desde fuera, sobre el clásico trayecto que conduce del proyecto urbano al arquitectónico; desde dentro, sobre el proyecto, sobre la concepción espacial y constructiva, la tectónica; ambos llevan de lo abstracto a lo concreto.

Entre ambos se ubica la materia arquitectónica: como límite y transición entre el interior y el exterior, aunando en sí todas las cualidades arquitectónicas, culturales y atmosféricas que irradian sobre el espacio. Esta es la paradoja en la arquitectura: aunque el "espacio" es su primera y más elevada meta, se ocupa consiguientemente del "no espacio", de la materia que delimita el espacio y que lo define tanto en el sentido de fuera a dentro, como en el contrario. A ella se refiere su memoria, su fuerza espacial y su carácter. Martin Heidegger opina al respecto: "El límite no es el lugar donde termina el espacio, sino, como reconocieron los griegos, el lugar a partir del cual empieza a cobrar su propia existencia". Desde este punto de vista, los arquitectos son metafísicos que no "podrían existir sin los físicos (técnicos, ingenieros, constructores) o, aún más, personas bicéfalas, como el dios Jano": para él, espacio (antimateria) y materia están unidos indisolublemente como partes constituyentes de una misma presencia, con influencias mutuas de modo permanente.

Tan sólo es posible pensar en concebir espacios o complejos espaciales y proyectarlos, o reconstruirlos, si se conocen y se dominan al máximo las condiciones de su concreción, de su realización.

El arquitecto es, en consecuencia, un "diletante profesional", una especie de alquimista preocupado por la elaboración de una totalidad compleja, una síntesis, a partir de la valoración específica y del examen de los condicionantes previos más diversos y de las exigencias de urgencia desigual con urgencias desiguales.

El carácter del espacio arquitectónico depende, además, de "cómo" están hechas las cosas; es decir, se determina por su realización técnica y las propiedades estructurales de los materiales de construcción empleados. Por ello, resulta concluyente la siguiente afirmación de Manfred Sack: "Una y otra vez se hace presente la sensualidad de lo material, de la materia: cómo se la siente al tacto, a la vista; si es mate o brillante, cómo huele; si es dura, blanda, elástica, fría o caliente, lisa o rugosa; cuáles son sus colores, qué estructuras exhibe en su superficie".

Por una parte, Sack afirma que, en primer término, el espacio arquitectónico se percibe física o sensorialmente. Cuando se lo atraviesa y se le presta atención se valoran sus dimensiones al escuchar el resonar de los pasos, que se confirma después por la duración del caminar, cuando el sonido del eco transmite un sentimiento sobre las cualidades táctiles de los límites espaciales, que se desvela al palpar las superficies de las paredes y quizás también por el olor de la estancia, que procede de cosas diversas. De ello sólo somos conscientes cuando, más tarde, creemos abarcarlo todo con un único golpe de vista. Este "sentido aparente" es claramente algo así como una memoria óptica de experiencias físicas sensoriales anteriores, que tienen que ver con las cualidades de las superficies. También me gusta la idea de "estructuras que se muestran en su superficie". La superficie cobija bajo sí un secreto escondido. Es decir, la superficie depende de una estructura oculta que la precede y la crea, y de la que, en cierto modo, es su expresión plana. En la arquitectura no existen ni la línea ni la superficie, que son abstracciones matemáticas. La arquitectura es siempre tridimensional, incluso las delgadísimas capas de pintura, en cuanto material plástico, son tridimensionales. Como ejemplo, es plausible la diferenciación que puede establecerse entre la pintura como material y como tono cromático, pues en este último caso puede utilizarse sobre todo para producir un efecto en superficies bidimensionales. Esta idea me ayuda a entender la construcción no sólo como una cuestión técnica o tecnológica, sino como *techné*, como impulso creativo que surge a partir de la expresión de un deseo humano primario, de una condición primigenia artística o creativa que posee el hombre, una intención inherente a todo artefacto. "Comprender" el concepto construcción significa penetrarlo intelectualmente, una vez que se ha abarcado materialmente con todos los sentidos.

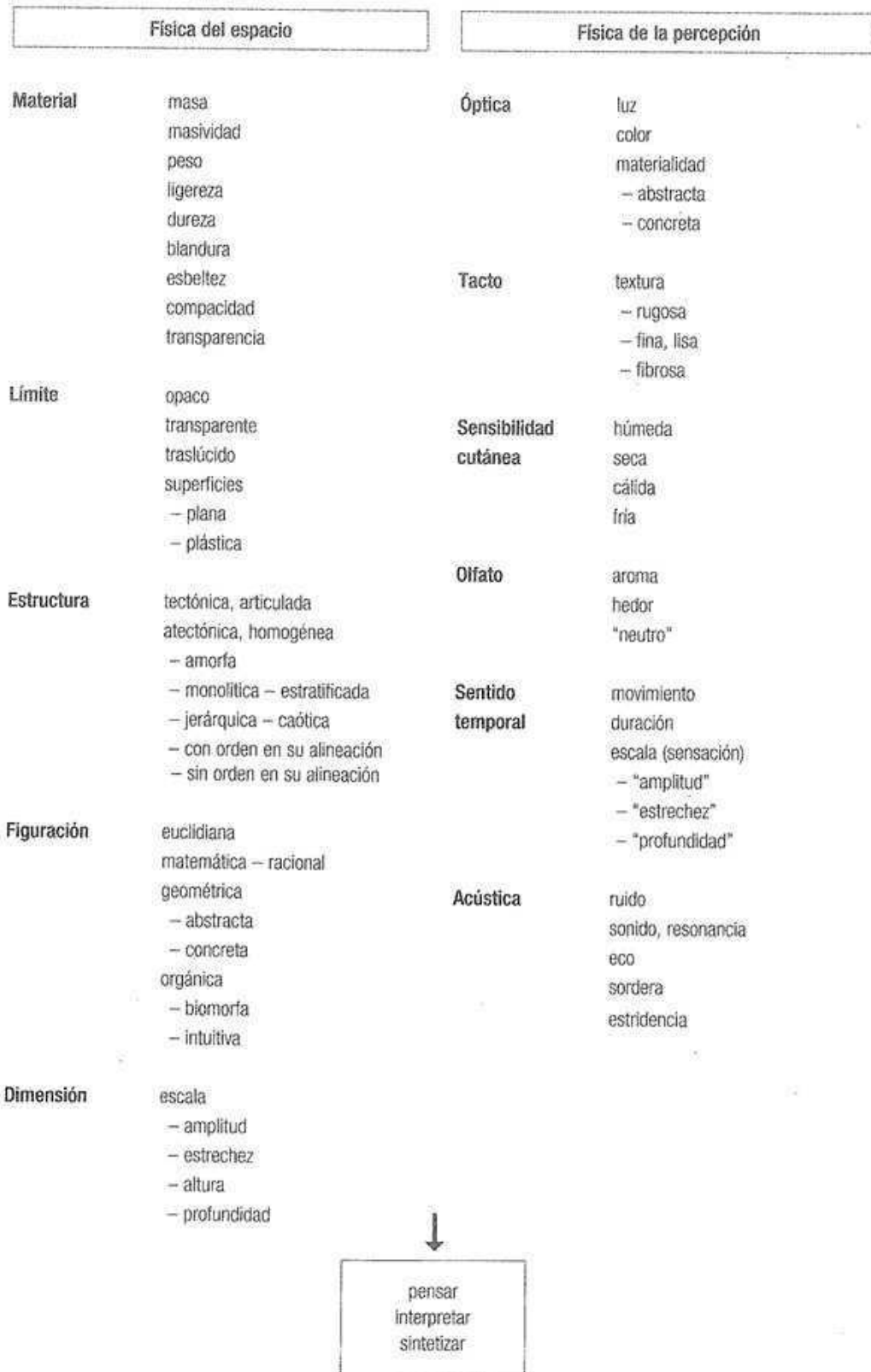
Extracto de la conferencia inaugural pronunciada en la ETH de Zúrich, 15 de enero de 1999.

Sobre la percepción del espacio arquitectónico

Tectónica

Forma

Espacio



Duración media de los elementos materiales

Elementos	Años		Años
1. Pavimentos		6. Instalaciones sanitarias	
1.1 Pavimentos textiles		Bañeras, platos de ducha de fundición o de acero	35
De categoría 1, de calidad media, colocado	10	Bañeras, platos de ducha esmaltados	20
De categoría 2, de calidad más resistente, colocado	12	Bañeras, platos de ducha acrílicos	25
Moqueta de fibra natural, colocada	10	Platos de ducha cerámicos	35
		Lavabos, inodoros sin cisterna	
1.2 Pavimentos cerámicos		Bidé	35
Baldosas de arcilla	30	Closomat (ducha-WC)	20
Baldosas cerámicas	30	Armarios de baño, plástico	10
Clinker, sin esmaltar	50	Armarios de baño, aluminio	10
Placas de piedra artificial	40	Grifería en cocina, baño, ducha o aseo	20
Placas de piedra natural, pizarra	30	Lavadora o secadora en un piso alquilado	15
Placas de piedra natural, granito	40	Calentador de agua en un piso alquilado	15
		7. Calefacción, chimeneas, instalaciones de recuperación de calor	
1.3 Otros pavimentos		Válvulas con termostato para radiadores	20
Novilon	20	Válvulas normales para radiadores	20
Pavimentos plásticos (in situ, PVC)	20	Contadores electrónicos de agua y de calefacción	15
Linóleo	20	Contadores mecánicos de evaporación	20
Corcho	15	Contadores electrónicos de evaporación	20
Parqué	40	Agregados para la recuperación de aire caliente/calor	20
		Ventilador para extractor de humos	
2. Trabajos de enlucido, pintura y empapelado		Chimenea	25
Pinturas plásticas	10	8. Protección solar	
Pinturas mates y dispersoras, barita, blanqueadas	8	Estores de tela	12
Maderas (puertas, ventanas), pintadas con pinturas al aceite o de resinas sintéticas	20	Persianas de lamas de plástico	15
Radiadores, paredes radiantes, pintadas con pinturas de resinas sintéticas	20	Persianas de lamas de aluminio	25
Papeles pintados de gran resistencia y calidad	15	Persianas enrollables de plástico	20
		Persianas enrollables de madera	25
3. Materiales de madera y de plástico		Persianas enrollables de metal	30
Revestimientos de madera tratada	20	Correas para estores y persianas	8
Revestimientos de madera natural	30	9. Cerraduras	
Rodapiés de plástico	15	Sistemas automáticos de cierre para puertas	20
Rodapiés de madera de haya o de roble	25	Cerraduras para puertas de pisos	30
		Cerraduras para puertas de habitaciones	30
4. Baldosas cerámicas y de gres cerámico		10. Reducción de la vida media en usos industriales y comerciales	
Baldosas cerámicas en cuartos húmedos	30	Industrias, fábricas	25 %
Baldosas de gres cerámico en cuartos húmedos	40	Tiendas	25 %
		Restaurantes	50 %
5. Instalaciones en cocinas		Oficinas	20 %
Cocinas eléctricas convencionales	12		
Vitrocerámica	15		
Cocina con horno	20		
Microondas	15		
Frigorífico	10		
Congelador	15		
Lavavajillas	15		
Campana extractora, ventilador	15		

Fuente

SVKG+SEK/SVIT, "Schatzterhandbuch, Bewertung von Immobilien",
Asociación Cantonal Suiza de Expertos en Valoraciones Inmobiliarias, 2007.

El *pathos* de la obra de fábrica

Akos Moravánszky

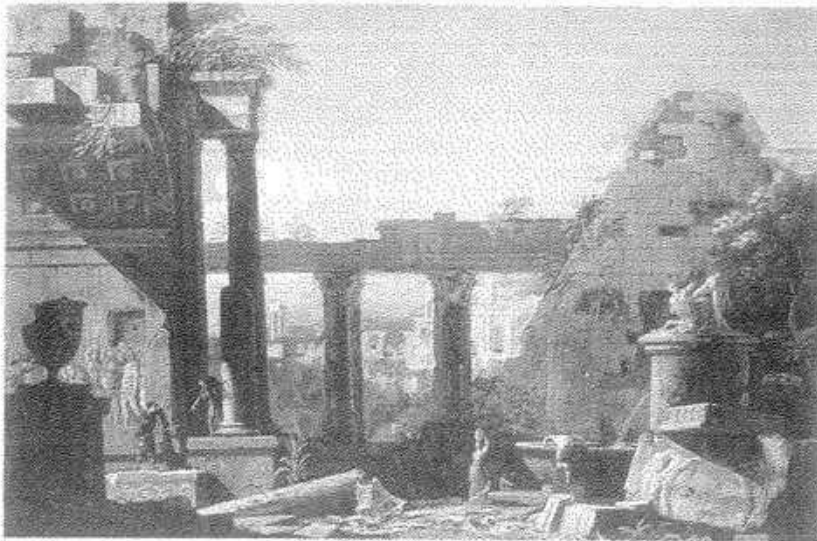


Fig. 1: La conjunción entre naturaleza y obra humana en la imagen de una obra de fábrica en ruinas
Mario Picci. Capriccio con ruinas antiguas, pirámide y figuras

Estratificaciones

El *pathos* ha acompañado la coyuntura de todo lo patético, así como sus sombras, a pesar del recelo que suscita ser un concepto profundo. Términos como región, identidad y espacio, que anteriormente se utilizaban profusamente, tuvieron un auge excesivo, probablemente para establecer puntos de referencia en una situación carente de interés, o sencillamente para llamar la atención. ¿Y qué otra cosa es más patética en la arquitectura que la obra de fábrica? De una obra de fábrica pensamos siempre en su carácter con unas cualidades específicas, como el material, el color, la solidez o la permanencia, que la vinculan a un lugar. Pared, muro u obra de fábrica son términos intercambiables, pero lo que suscita numerosas resonancias éticas y estéticas, y le otorga legitimidad, es, sobre todo, lo que está construido con obra de fábrica. Por obra de fábrica entendemos únicamente la formada por la unión de piezas de piedra natural, ladrillo o mampostería "que muestra su superficie vista y expresa su carácter por el modo en que sus elementos están ensamblados".¹

La conjunción entre naturaleza y obra humana en los cuadros donde la obra de fábrica se muestra en ruinas, tal como se representó en el género artístico del *capriccio* en el tardorrenacimiento, debía hacer patente la inutilidad de los empeños constructivos y la fuerza mortal del paso del tiempo. La naturaleza aguarda el fin de la historia para vengarse por haber sido violada, "como si la obra artística hubiera sido un atropello del espíritu".²

En todo caso, la relación entre la obra de fábrica y la naturaleza puede considerarse también desde un punto de vista menos melancólico. En el libro *Von der Bebauung der Erde*, publicado en 1949, Rudolf Schwarz describió la estructura material de la Tierra como una obra de fábrica

que se construye por capas horizontales, con depósitos de luz y agua acumulados estrato a estrato "con sutiles membranas del material de que está hecho el mundo".³

A un observador imparcial, la obra de fábrica en sí, comparada con las complejas formas de la industria *high-tech*, debe parecerle un producto banal. En todo caso, percibimos claramente el *pathos* si lo convertimos, por ejemplo, en alegoría de la construcción terrestre, de la creación (o de la intimidad), contra la modernización. Los papeles pintados que representan un muro de ladrillo visto en bodegas y locales similares, muestran el significado sentimental que se espera de una obra de fábrica.

Existen al menos dos discursos sobre la obra de fábrica: uno conduce a su consideración como superficie cargada de significado y límite espacial; el otro, a la de su masa como producto de un trabajo artesanal. A pesar de que existen continuas interferencias entre ambos discursos, en este artículo observaré estos dos aspectos separadamente.

De lo ligero: la pared, el arte

Después de los dos tomos de la obra de Gottfried Semper, *Der Stil in den technischen und tektonischen Künsten oder praktische Ästhetik*, ninguna investigación teórica ha formulado nuevos conceptos sobre la doble identidad de la obra de fábrica, ni inspirado nuevas ideas al respecto. El sistema de Semper se fundamenta en tipos básicos de formas producidas por el hombre con materiales textiles, con barro cocido, con la construcción en madera (tectónica) y con la construcción en piedra (estereotomía). Los cuatro elementos originales de la arquitectura —la pared, el hogar, el techo (o cubierta) y el pavimento (o base del edificio)— se corresponden con los cuatro tipos de la producción humana. Es importante la dimensión ontológica de esta división: esos cuatro elementos no están formalmente definidos, sino que son más bien aspectos de la existencia humana. Es notable la flexibilidad que permite la división claramente rígida de las técnicas arquitectónicas en relación con la definición de sus componentes. Incluso una representación esquemática haría saltar por los aires el marco de esta contribución; aquí, resulta importante la idea de que la obra de fábrica puede ser producto de dos técnicas originales, los materiales textiles y la estereotomía. La tectónica, "el arte de ensamblar elementos como barras para configurar un armazón rígido" (cuyo ejemplo es el entramado de la cubierta), no tiene nada que ver con la obra de fábrica.

Las observaciones de Semper estuvieron influidas por los fragmentos de muro provenientes de las excavaciones de Nínive, la capital asiria, que contempló en su visita al Museo del Louvre en 1849. La pared como límite espacial constituye el elemento primario, el muro, como elemento que soporta las cargas de la construcción, es secundario. Las piedras que configuran superficies de restos de muros asirios fueron unidas horizontalmente sobre el suelo, después se pintaron, se esmaltaron al fuego y, sólo más



Fig. 2: La pared como límite espacial es el elemento primario; el muro como elemento estructural de la construcción es secundario
Ninive: excavación de las murallas entre 1899 y 1917

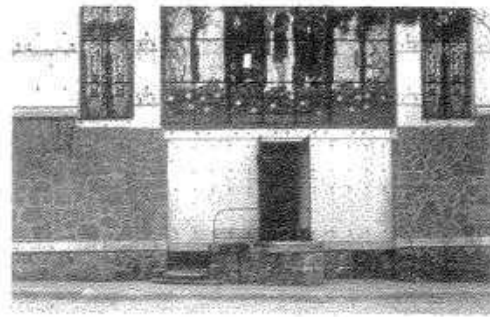


Fig. 4: Obra de fábrica estereotómica y revestida de mármol
Otto Wagner: iglesia de San Leopoldo "am Steinhof", Viena, Austria, 1907

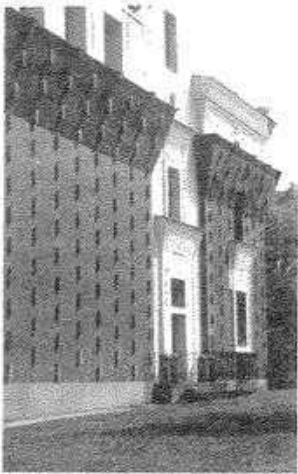


Fig. 3: Fachada ligera revocada sobre un pesado muro de fábrica
Jozef Plečnik: iglesia del Sagrado Corazón, Praga, República Checa, 1939

tarde, se colocaron: "se ve que el muro de ladrillo, una forma de construcción antiquísima, no fue en todo caso desarrollado constructivamente entre los asirios. Su decoración no se deriva de la construcción misma, sino de otros materiales", escribe Semper en su manuscrito titulado *Vergleichender Baulehre*.⁵ Esta teoría, visiblemente revolucionaria, propicia (e inspira) aún hoy motivos y soluciones arquitectónicas. Para Semper, el nudo es el "símbolo técnico más antiguo y [...] la expresión de las ideas cosmogónicas más tempranas",⁶ el motivo básico pues de la *techné* humana, pasando de ser una necesidad constructiva (el enlace entre dos elementos) a una imagen estética, perceptible por los sentidos.

La alfombra oriental revela su sentido estético por la repetición rítmica de nudos; toda su superficie está trabajada uniformemente. El arte es siempre un trabajo de trenzado: un pintor, bien sea un paisajista del siglo XIX o de un *action painter* de la década de 1950 como Jackson Pollock, siempre trabaja el lienzo en todo su conjunto, como una unidad, en lugar de proceder a repartir detalles cromáticos sobre una superficie blanca. Sólo por medio de esta caligrafía, la obra de fábrica resulta legible. "Toda esa trama entrelazada como un tapiz de juntas y ensamblables proporciona [...] a las superficies en general no sólo tono y vida, sino que también imprime en ellas una escala sutilmente expresiva y la pone, por ello, de modo directo 'en relación con la capacidad de representación del hombre'", escribe Fritz Schumacher en 1920.⁷

Por supuesto, la teoría de Semper sobre el origen textil de la pared hunde sus raíces en el historicismo y fue malentendida y criticada posteriormente por muchos seguidores de la teoría de la sinceridad de los materiales moderna. A pesar de ello, ha influido continuamente la estética de la obra de fábrica, también en la década de 1920. Naturalmente, no siempre puede hablarse de una influencia directa. En todo caso, el pensamiento de Semper tiene una influencia enorme en la arquitectura vienesa, y arquitectos como Boris Podrecca están aún hoy comprometidos con esta tradición. Fue sobre todo en el círculo de Otto Wagner donde las tesis de Semper se expresaron de modo innovador desde los inicios. Las fachadas de la iglesia de San Leopoldo en el sanatorio vienes "am

Steinhof" (1905-1907) o de la Caja Postal de Ahorros siguen la diferenciación que estableció Semper entre una parte inferior, entendida desde un punto de vista estereotómico, y una superior como superficie textil.

El discípulo esloveno de Otto Wagner, Jozef Plečnik, reinterpretó estos temas en sus obras de Viena, Praga y Liubliana, poniendo en juego su conocimiento de las formas constructivas arcaicas y combinándolo con una magistral capacidad para crear distorsiones figurativas, hallazgos y libres invenciones formales, dentro de un perfecto equilibrio compositivo. Su fachada de la iglesia del Sagrado Corazón en Praga (1932-1939) está articulada claramente por dos zonas, una inferior, revestida de clinker, y otra superior con revoco blanco; del revesti-



Fig. 5: Entrelazado de piedra natural y ladrillo
Jozef Plečnik: biblioteca universitaria, Liubliana, Eslovenia, 1941

miento de ladrillo oscuro sobresalen bloques de granito. La fachada de la biblioteca universitaria de Liubliana (1936-1941) es un entretejido de ladrillo y piedra. En ella, la combinación de piedra y ladrillo simboliza probablemente la doble conjunción de la cultura constructiva germana y la mediterránea en Eslovenia.

Louis Henry Sullivan comparó el efecto producido por las fachadas construidas con piezas cerámicas toscamente granuladas con los sutiles brillos de los tapices de Anatolia: "una textura que ofrece innumerables toques de luces y sombras y un aspecto similar al musgo".⁴

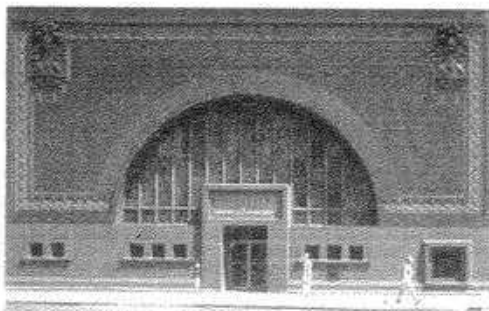


Fig. 6: Ornamentación con fábrica de ladrillo
Louis H. Sullivan: National Farmers' Bank, Owatonna (Minnesota), Estados Unidos, 1908

Ya el propio nombre de "bloque textil" muestra que este elemento constructivo creado por Frank Lloyd Wright a base de bloques prefabricados de hormigón ligero, tiene como objetivo conseguir muros con un revestimiento que produzca la impresión de estar entretejido. En un texto de 1932, Wright se califica a sí mismo como "tejedor" frente a los arquitectos escultores, habla de las fachadas de una obra suya californiana, La Miniatura o la casa Storer (1923), en los siguientes términos: "Los bloques comenzaron por alcanzar la luz del sol y se deslizaron entre los eucaliptos y por encima de ellos. El 'tejedor' soñó con su efecto. Se transformaron en visiones de una nueva arquitectura para una nueva vida [...]. La normalización era objetivamente el alma de la máquina y, aquí, el arquitecto la utilizaba como principio y 'calcetaba' con ella. Sí, teja con ganchillo un muro, susceptible de alcanzar una belleza arquitectónica de gran variedad [...]. ¡Palladio!, ¡Bra-

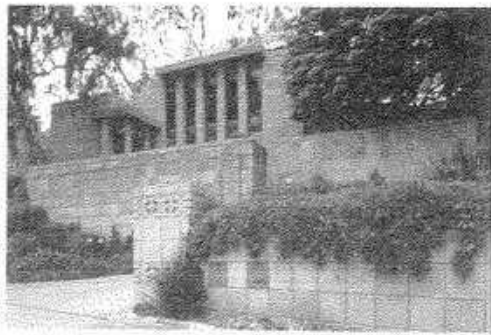


Fig. 7: Segunda casa de Wright realizada con "bloque textil" en Los Angeles
Frank Lloyd Wright: casa Storer (La Miniatura), Hollywood (California), Estados Unidos, 1923

mantel, ¡Sansovino! Todos son escultores. Pero aquí yo fui el 'tejedor'".⁵

La obra de fábrica de la antigüedad y de Bizancio, o de la arquitectura sacra de los Balcanes, muestra muchos ejemplos de cómo la superficie del muro se convierte en un tejido que puede enriquecerse con una articulación constructiva de órdenes de pilastras o columnas, generalmente con pequeñas piedras o piezas de cerámica esmaltada insertadas en las juntas de mortero. Estos edificios renuncian a una fachada estructurada con huecos y decoración aplicada en favor del efecto homogéneo del muro concebido como un tapiz. A mediados de la década de 1950, el arquitecto griego Dimitris Pikionis reconfiguró el entorno de una pequeña iglesia bizantina, situada en la colina de Philopappos en los alrededores de la Acrópolis de Atenas, diseñando un camino pavimentado, una puerta de acceso y otros pequeños edificios. Como antes lo hiciera Wright, Pikionis trabajó aquí como un tejedor: entretejió el paisaje, estableciendo una continuidad narrativa entre lo existente y lo nuevo. Carlo Scarpa trabajó de manera semejante, con fragmentos históricos de muros y nuevas capas en la reconstrucción del Castelvecchio de Verona. También Dominikus Böhm, Rudolf Schwarz o Heinz Bienefeld utilizaron revestimientos decorativos de muros, a menudo con capas transversales, cilíndricas y arquitebates, para mos-



Fig. 8: Fusión entre el entorno y la obra construida
Dimitris Pikionis: configuración del entorno y restauración de la iglesia de San Dimitris Lumbardaris, colina de Philopappos, Atenas, Grecia, 1957

trar la independencia de la cáscara exterior con respecto al muro de base. La fachada de la iglesia de San Marcos en Björkshagen (1956-1960), de Sigurd Lewerentz, indica de nuevo una estrategia distinta: las juntas horizontales tienen el mismo grosor que el ladrillo, de ahí que éste dé la impresión de estar "distendido", de ser un material completamente distinto al empleado, por ejemplo, en el edificio Monadnock de Chicago; un arcaico rascacielos que, en la época de la construcción de sistemas de entramados, se realizó con ladrillo por expreso deseo del constructor. En él, se consiguió expresar visualmente el enorme esfuerzo a que se ve sometido el material.

La piel textil concordó con la idea del "tinglado decorado" propagada por el arquitecto estadounidense Robert Venturi. Su estudio, un fértil taller del posmodernismo, ha

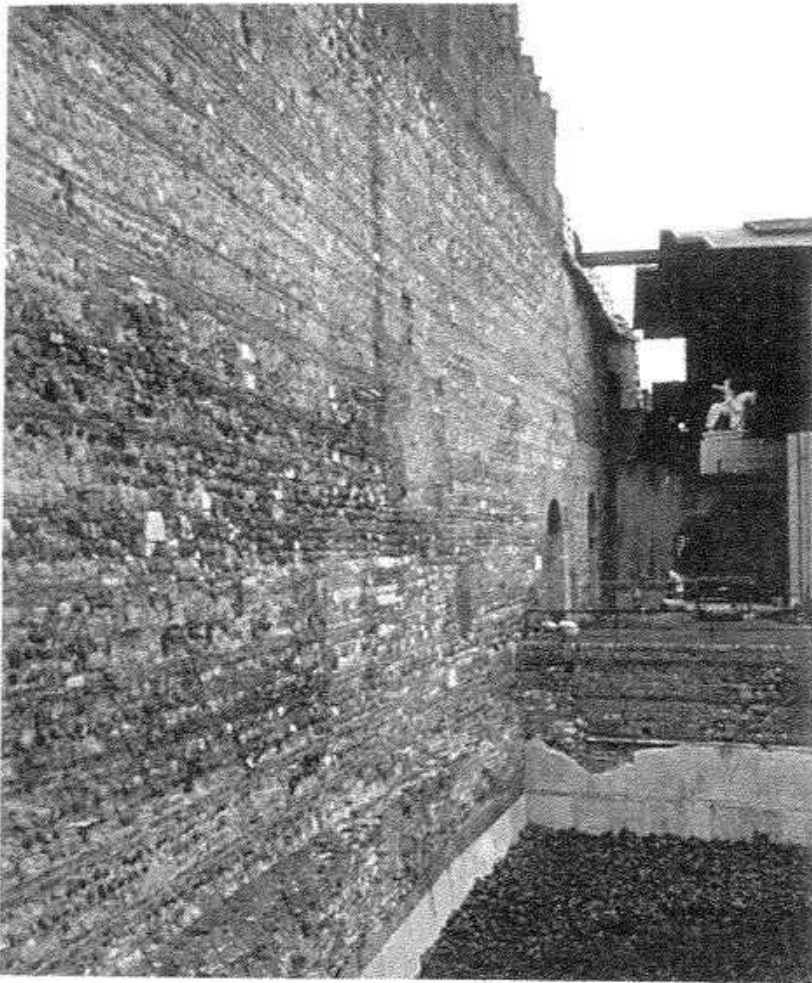


Fig. 9: Fragmentos de muro antiguo y capas nuevas
Carlo Scarpa: rehabilitación del Castelvecchio,
Verona, Italia, 1958-1974

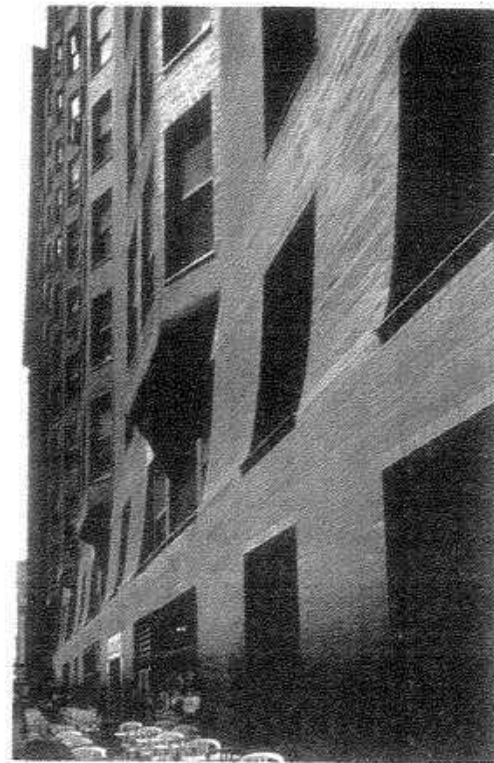


Fig. 11: La fachada autoportante de ladrillo con mayor altura del mundo
Burnham & Root, edificio Monadnock, Chicago (Illinois), Estados Unidos, 1884-1891
Ampliación: Holabird & Roche, 1893

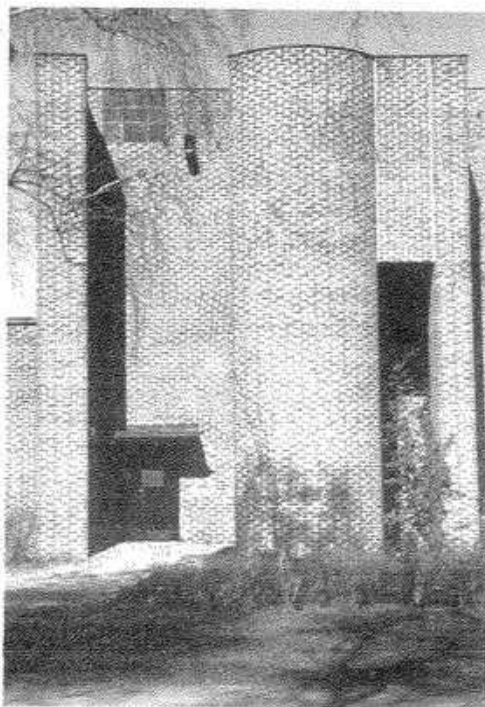


Fig. 10: El grosor de las juntas alcanza la misma altura que la del ladrillo
Sigurd Lewerentz: iglesia de San Marcos en
Björkhagen, Estocolmo, Suecia, 1956-1960

sustituido la configuración ornamental de la masa construida por una separación racional entre los volúmenes del edificio y los elementos cargados de significado (en correspondencia con la cultura norteamericana de las vallas publicitarias). Las fachadas de muchos de los edificios del estudio son tablas de gran tamaño recubiertas de motivos florales de carácter irónico y naïf. También las fachadas decorativas de ladrillo del estudio de arquitectura de Cesar Pelli en Texas subrayan que la piel exterior es una cáscara, como ocurre con casi todas las obras de fábrica construidas tras la crisis del petróleo, pues una nueva normativa sobre el aislamiento térmico de las obras de fábrica macizas provocó que ya no fueran rentables.

El muro de fábrica como envoltura se convierte en emblema de la sociedad de consumo en las obras del grupo SITE, creado en torno a James Wines: su carácter de capa decorativa falsa, pegada, separada de su base, se convierte en el tema de varios de sus proyectos de grandes almacenes. Quizá era necesario un trabajo preliminar de esta índole para acabar con la idea moralizante del revestimiento como engaño, del muro de fábrica como máscara. En la arquitectura actual, la sinceridad material de la obra de fábrica a menudo se ha entendido como un mito (en el sentido que utiliza SITE, sólo que con un carácter menos propagandístico).

En el centro de administración y dirección de servicios en Winterthur (1999), Burkard Meyer Architekten se plantean sí, a pesar de la tecnología industrial, un sistema de

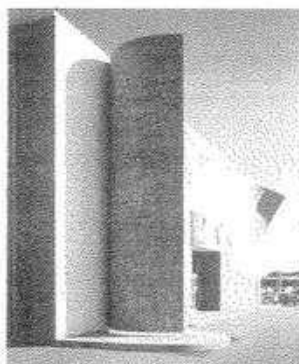


Fig. 12: Muro de fábrica de ladrillo como una piel desprendida.
SITE: Peeling (edificio comercial de la cadena Best), Richmond (Virginia), Estados Unidos, 1972

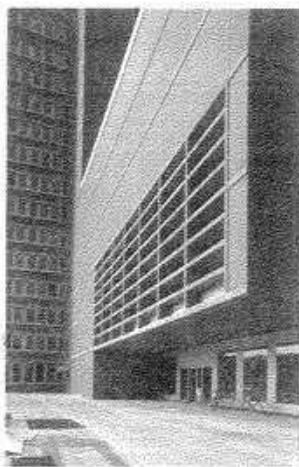


Fig. 13: Paneles prefabricados de ladrillo
Burkard Meyer Architekten: centro de administración y dirección de servicios, Winterthur, Suiza, 1999



Fig. 14: Muro de piedra colosal
Giovanni Battista Piranesi: muro de cimentación del teatro Marcello en Roma

fachadas con paneles prefabricados de ladrillo necesita aún el *pathos* de lo artesanal, o (quizás, tras una mirada más atenta, debido a la inusual precisión y a las juntas entre los paneles), se acerca más al moderno ideal de un material como el ladrillo, emancipado de la manufactura (en el sentido al que se refiere Ernst Neufert). La estructura portante del edificio de viviendas en Baden (2000), obra también de Burkard Meyer Architekten, está construida con fachadas de muros de fábrica, un núcleo de comunicaciones de hormigón y forjados de hormigón in situ. Los cantos de los forjados, señalados exteriormente, permiten la colocación de las placas del muro por capas sucesivas en cada planta, pudiéndose intercalar, a su vez, placas de obra de fábrica ciegas y grandes huecos de ventana de las diferentes plantas.

De lo pesado: el muro, la artesanía

En el sistema de las técnicas primigenias de Gottfried Semper, la estereotomía es un elemento arcaico. Los violentos terraplenes y terrazas no tienen los rasgos antropomórficos y orgánicos de los otros componentes constructivos, sino una cualidad mineral e inorgánica que, a lo sumo, se subdivide rítmicamente. La estereotomía trabaja con materiales, que "a causa de su estado sólido, compacto y homogéneo, ofrecen una fuerte resistencia a la rotura a compresión y a pandeo. Tienen, pues, una resistencia notablemente activa, pueden trabajarse dándoles la forma requerida mediante la disminución de partes de su masa y, en piezas regulares, componer por lo general sistemas constructivos rígidos, en los que la estabilidad constituye el principio más importante de la construcción".¹⁰ La función arcaica de la estereotomía es la representación de la "obra sólida de sillería de la Tierra", una elevación artificial que cumple la función de lugar sagrado sobre el que se puede erigir un altar. El símbolo del muro de fábrica estereotómico, constituye la "más primitiva y sencilla de las construcciones":¹¹ el montículo recubierto de hierba y asentado firmemente en algo. Se trata, pues, de un volumen hueco, de "estructuras celulares". Semper hace hincapié en que la raíz de la palabra construir, *struere*, significaba el relleno de espacios intermedios huecos.¹²

Giovanni Battista Piranesi dedicó los cuatro volúmenes de sus *Antichità romane* al grandioso efecto de los colosales muros de las *Carceri d'invenzione*. Desde entonces, la arquitectura de muros se asocia con la atmósfera subterránea de las prisiones, algo que también tiene que ver con el carácter constructivo de las fortalezas, como se desprende de la etimología de la palabra muro: *mel-/moi* significa fortalecer. Por tanto, la construcción de muros fue originalmente el relleno de las fortalezas. A diferencia del entretejido de las paredes, un duro trabajo físico, apropiado para el hombre y contrapuesto al arte de tejer y trenzar.

En su libro *Das Wesen des neuzeitlichen Backsteinbaues*, Fritz Schumacher habla incluso de dos mundos del ladrillo, de dos modelos de la obra de fábrica: el orien-

tal y el occidental. La principal diferencia radica en que, frente al carácter constructivo de nuestra configuración occidental, el carácter ornamental representa el punto crucial y el logro más brillante de la cultura islámica del ladrillo, aspecto este que no constituye sorpresa alguna si se tiene presente la fantasía de los artistas orientales en la realización de alfombras y tapices.¹³

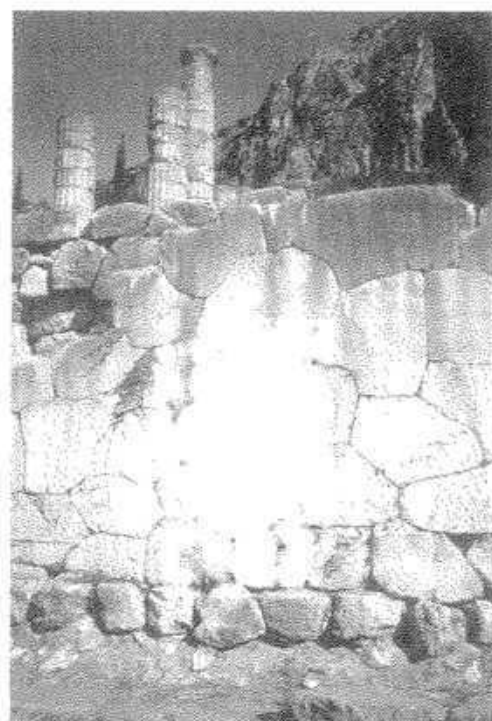


Fig. 15: Muro ciclópeo
Santuario de Apolo, Delfos

En consecuencia, en la obra de fábrica "estructural", pesada, también la junta, el elemento "débil" del muro, se interpreta de manera distinta. En del concepto de Gottfried Semper, la trama que configuran las juntas constituye la imagen de la sucesión rítmica de los nudos o entrelazado del tapiz. Sin embargo, en su libro *Von der Baukunst der Erde*, Rudolf Schwarz, asocia las juntas al proceso cósmico de la construcción terrestre: "La construcción terrestre está dispuesta en láminas horizontales, sostenida y deshilachada verticalmente. Su articulación contiene lo estratificado por medio de la construcción sucesiva de capas. La junta es el lugar carente de espacio, donde una capa se coloca sobre la otra, un tercer elemento".¹⁴

El *pathos* de la obra de fábrica como una consecuencia del noble trabajo artesanal, al servicio de una ideología nacionalsocialista, recorre cada línea del libro *Mauerwerk*, publicado por Werner Lindner y Friedrich Tamms: "Hemos aprendido a controlar las fuerzas de la naturaleza, pero hemos perdido el temor a honrarlas, afirman los autores, para poder formular claramente sus metas: el desarrollo del trabajo artesanal de los albañiles

muestra el camino que deberá recorrer toda la cultura".¹⁵ Ya no se trata de una exigencia estética, sino de un ineludible credo político. "Sólo con una disposición de ánimo semejante, que se despierte y arraigue en el sencillo artesano, éste se colmará con la auténtica alegría creativa; entonces, la obra y el que la realiza constituirán de nuevo una unidad: ¡y es necesario!".¹⁶ Lindner y Tamms empiezan su relato con los muros de contención de las terrazas de los viñedos del valle del Rin, para mostrar los comienzos de una "fuerza creativa que ha llegado a su más elevada perfección", y que luego, en el siglo XIX, se resquebraja. "La exigencia de recobrar los fundamentos esenciales de toda buena configuración" hace entonces necesario establecer una distinción entre buenos y malos ejemplos de muros de fábrica, siguiendo los acreditados modelos mostrados por Paul Schultze-Naumburg, representante de la corriente *Heimatschutz*, en su libro *Kulturarbeiten*.¹⁷

Podemos retrotraer esta argumentación a la idea de la sinceridad del material. John Ruskin aunó en sus diversos escritos la exigencia de moralidad y de expresión estética. En la arquitectura estadounidense de finales de siglo XIX surgieron imponentes obras de fábrica de ladrillo y granito como primer resultado de la búsqueda de un estilo constructivo nacional que trataba de expresarse en las propiedades que se sentían como netamente estadounidenses, así, el carácter de lo original, el vigor primitivo o la fusión con la naturaleza. Los primeros ejemplos influyentes dentro de esta tendencia son los edificios de Henry Hobson Richardson en Estados Unidos, como la casa del guarda Ames, en North Easton (1880-1881), y los juzgados de Allegheny County, en Pittsburg (1883-1888).

La idea moderna de la sinceridad del material, que debe determinar el carácter de una obra de fábrica, ha despojado cada vez más a la estética del revestimiento de sus señas de identidad semperianas. Nunca se ha planteado la cuestión de por qué los revestimientos de clinker se consideran sinceros y por qué una capa de revoco es un engaño. Pero entonces se percibió un problema: con la producción maquinista de piezas en masa desaparecen esas irregularidades de la obra de fábrica que siempre se apreciaron como un signo distintivo de la nobleza del trabajo artesanal. Los arquitectos observaron (como antes lo había hecho John Ruskin), el "anhelo por la exactitud como fuente de lo inconveniente", como origen de la monotonía y del aburrimiento de la arquitectura del cambio de siglo. Legitimidad del material y nobleza ya no eran más que tópicos destinados a ocultar un sentimiento nostálgico.

El "cansancio por el ladrillo" se entendió en el cambio de siglo como consecuencia de la perfección técnica, del anhelo de pureza. Muchos arquitectos preconizaron a posteriori la elaboración artesanal de la superficie del muro. La ventaja de este método, en opinión de Walter Curt Behrendt, es que así se conserva lo "primigenio, lo

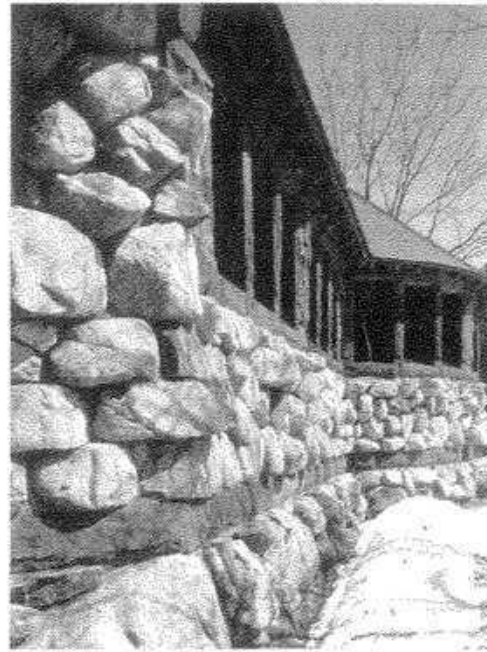


Fig. 17: Búsqueda de la vinculación con la naturaleza como expresión de un estilo nacional estadounidense
Henry Hobson Richardson: casa del guarda Ames, North Easton (Massachusetts), Estados Unidos, 1881

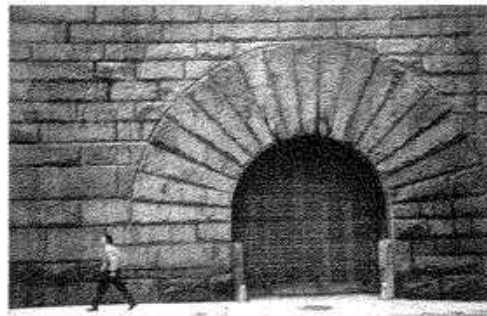


Fig. 18: La fuerza de un muro almohadillado como expresión del poder del Estado
Henry Hobson Richardson: juzgados y prisión del condado de Allegheny, Pittsburgh (Pensilvania), Estados Unidos, 1888

artesanal", asegurando una cierta frescura de la obra terminada. En efecto, según Walter Curt Behrendt, la obra de fábrica gana en capacidad de expresión artística si, además, se trabaja su superficie. La producción de relieves de ladrillo en obra —con escultores encaramados en los andamios que cincelan ornamentos sobre la superficie de las fachadas—, significa que el proceso constructivo no debe racionalizarse, industrializarse, sino permanecer como algo estrictamente individual y creativo. En este sentido, las fachadas de ladrillo del Ledigenheim de Theodor Fischer, en Múnich (1925-1927), adquirieron una impronta personal con el empleo de representaciones figurativas.

Fritz Schumacher, sin embargo, contó con la solución a partir del mismo material. Para él, el ladrillo era un individuo, un educador que (a diferencia del revoco, que

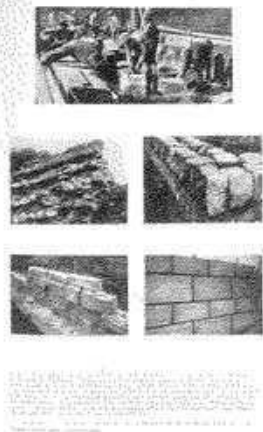


Fig. 16: Página del libro *Mauerwerk* (1937)
Comparación entre distintos muros de fábrica:
en el libro de Werner Lindner y Friedrich Tamms



Fig. 19: Muro de ladrillo labrado una vez concluido
Theodor Fischer. Ledigshain, Múnich, Alemania, 1927

"complace todos los instintos lascivos de la incapacidad y la arrogancia") no permite dar forma a caprichos arbitrarios: "No es tan fácil someterlo a cualquier pequeña y caprichosa voluptuosidad, a su serio semblante le repugna la prostitución, y por eso existe en él una barrera natural contra el exceso de fantasías inadmisibles y caducas".¹⁸

Los edificios de Schumacher se estudian hoy fundamentalmente desde la perspectiva de los movimientos reformistas en el cambio de siglo, y por ello se reproducen sobre todo sus tempranas fachadas decorativas de ladrillo. Las escuelas que construyó entre 1928 y 1930 son ejemplos extraordinarios del moderno muro de fábrica (por ejemplo, la escuela en la Wendenstrasse, en Hamburgo-Hammerbrook, construida en 1928-1929). Los muros de piedra o de ladrillo fueron los grandes olvidados del movimiento moderno, pues aunque se reclamaban herederos de la tradición artesanal propia de un país, de una región o de una época determinados, hubieran contaminado las superficies puras del estilo internacional. En este caso no hay que entender la época sólo como si estuviera adscrita a un estilo concreto. Está presente en forma de residuos y contaminaciones que enriquecen las superficies de una obra de fábrica tradicional, pero hubieran destruido el purismo del movimiento moderno clásico.

Y sin embargo, algunos arquitectos del movimiento moderno clásico, como Hugo Häring, Mies van der Rohe o Alvar Aalto, construyeron también edificios con muros de piedra o ladrillo. Los muros de ladrillo de la obra de

Mies van der Rohe, tal como se muestran en las conocidas publicaciones de Werner Blaser, son idóneos para transmitir la idea de la precisión como una cualidad sublime que también se expresa gráficamente. Sin embargo, en la obra de Aalto se trata de otra cuestión: al perseguir la idea de la "estandarización flexible" que, como las células de los seres vivos, hace posible la existencia de una gran variedad de formas, encuentra en el ladrillo un denominador común que aúna tanto los valores de la producción en serie y de la mecanización como los de la calidez y lo popular, símbolos de un "nuevo humanismo".

También arquitectos como Louis I. Kahn y Eero Saarinen buscaron este nuevo humanismo. La biblioteca de la Philips Academy en Exeter, New Hampshire (1965-1972), de Louis I. Kahn surge de un compromiso: originalmente había previsto construirla con muros macizos de obra de fábrica, provistos de huecos abovedados, pero la realizó con un núcleo de hormigón revestido de ladrillo. Los edificios gubernamentales en Dacca (hoy Sher-e-Bangla Nagar, 1973-1976), buscan conscientemente un vínculo con el lenguaje formal piranesiano de la antigua construcción ingenieril.

En una entrevista, Kahn hizo hincapié en el pretendido contraste entre la tosquedad de la arquitectura de los viaductos y la delicadeza de los edificios destinados a las



Fig. 20: Ejemplo de un edificio moderno con muros de fábrica
Fritz Schumacher: escuela en la Wendenstrasse, Hamburgo, Alemania, 1929

instituciones humanas.¹⁹ Esta estética relacionada con una visión social está presente también en muchos de los campus universitarios de posguerra. Eero Saarinen quiso evocar la atmósfera de una ciudad fortificada en el campus de Yale University: los edificios de los *colleges* Ezra Stiles y Morse (1960) están contruidos con paredes de

hormigón in situ en las que grandes fragmentos de piedra natural parecen flotar en la masa del hormigón. Saarinen opinaba que una de las causas por las que la arquitectura moderna no utilizaba ya la obra de fábrica era el anacronismo del trabajo artesanal: "Para construir estos muros, encontramos en todo caso una nueva tecnología [...] Son muros de fábrica sin albañil; es decir, obra de fábrica 'moderna'.²⁰

A diferencia del hormigón o incluso la piedra, el ladrillo no es en principio un material apropiado para cubrir espacios interiores. El pequeño tamaño de las piezas hace necesario o bien la utilización de bóvedas de ladrillo o bien un refuerzo complementario del mismo con elementos de armado de hierro o de hormigón. De acuerdo con su convicción de que los elementos frágiles fomentan la consecución de grandes logros, Fritz Schumacher opinaba que "a partir de una determinada fase del desarrollo estético, el ladrillo está situado probablemente en la cota más elevada de todas las posibilidades que propor-

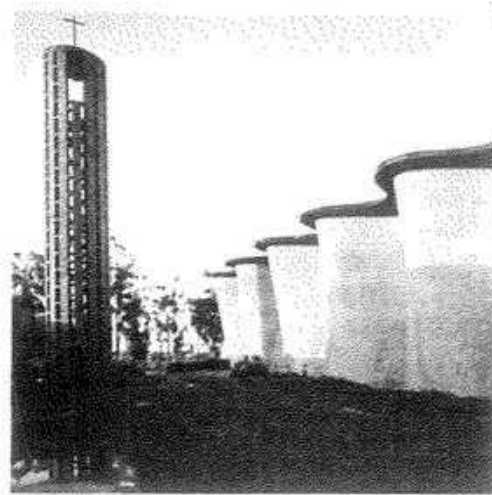


Fig. 24: Superficies cónicas y de doble curvatura como cáscaras de ladrillo exentas
Eladio Dieste: iglesia en Atlántida, Uruguay, 1960

temente expresivos, como los edificios de Gaudí. Con ello se volvió contra el pensamiento dominante de los grandes despachos, donde la racionalización y la eficiencia no significaban más que rutina, burocracia y un uso inflexible de soluciones predecibles. En opinión de Dieste, no es la eficiencia sino la acumulación de capital lo que determina la forma de pensar de tales despachos, de ahí que emprenda otro camino: colocar delgadas capas de revestimiento utilizando un material arcaico con inteligencia constructiva, en lugar de utilizar "chapados" provenientes de las investigaciones más recientes con nuevos materiales.

La resistencia a la inhibición de la obra de fábrica

Por razones históricas, uno puede estar de acuerdo con el uso puramente decorativo del muro de fábrica. Para un artista como Per Kirkeby, que construye muros como obras de arte, esto resulta mucho más difícil (la obra debe existir en sí misma, pero también producir el efecto de que es un fragmento aislado convincente). En su doble vertiente de pureza estructural y contaminación artesanal, el muro de fábrica abre nuevas perspectivas históricas. Per Kirkeby encuentra su identidad justo en esa dualidad: "el ladrillo y sus reglas, el aparejo y todo lo que pertenece a esta artesanía milenaria, formaron en conjunto una estructura pura, de acuerdo con lo que se denominaba un concepto. Por otro lado, el ladrillo estaba repleto de referencias a la gran arquitectura histórica, con sus ruinas y fragmentos, la niebla y la luz de la luna. Y, para mí, también estaba asociado a experiencias infantiles, a la sombra de restos de muros góticos".²²

Un intento temprano de unir la idea de estandarización con una intensa presencia del material fue la Baker House, una residencia de estudiantes que Alvar Aalto construyó en el campus del Massachusetts Institute of Technology (MIT) en 1946-1949. Como ya se ha mencionado, Aalto consideraba que la normalización está pre-



Fig. 21: Mayor apertura posible...
Louis I. Kahn: biblioteca de la Philips Academy, Exeter (New Hampshire), Estados Unidos, 1972



Fig. 22: ...frente a la introversión de una fortaleza
Louis I. Kahn: centro gubernamental en Sher-e-Bangla Nagar, Bangladesh, 1976

cióna el arte de configurar la envoltura de un edificio".²¹ Sin lugar a dudas, las cotas más elevadas en la configuración basada en un cerramiento de obra de fábrica las alcanza la obra del arquitecto uruguayo Eladio Dieste, seguidor del pensamiento constructivo de Antoni Gaudí. Dieste utilizó superficies cónicas y de doble curvatura como cáscaras de ladrillo exentas en la iglesia de Atlántida (1960). Desarrolló un vocabulario de formas estructurales para muros de fábrica que son racionales y fuer-

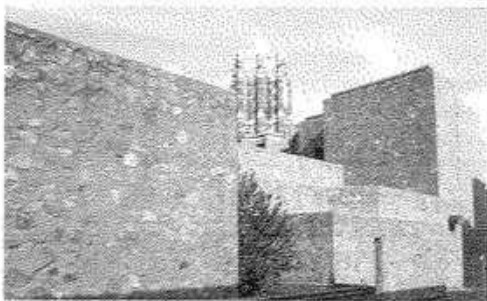


Fig. 23: Obra de fábrica con hormigón in situ
Eero Saarinen: collages Ezra y Morse, Yale University, New Haven (Connecticut), Estados Unidos, 1960



Fig. 25: Forma orgánica realizada con el uso repetido de la misma célula mínima.

Alvar Aalto: residencia de estudiantes Baker House, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge (Massachusetts), Estados Unidos, 1954

Notas

- ¹ Lindner, Werner y Tamms, Friedrich, *Mauerwerk*, Metzner Verlag, Berlin, 1937, pág. 8.
- ² Simmel, Georg, "Die Ruine", en *Philosophische Kultur*, Alfred Kröner Verlag, Leipzig, 1913, pág. 128.
- ³ Schwarz, Rudolf, *Von der Bebauung der Erde* [1949], Anton Pustet, Salzburg, 2006, págs. 22-23.
- ⁴ Semper, Gottfried, *Der Stil in den technischen und tektonischen Künsten oder praktische Ästhetik* (tomo II), Verlag für Kunst und Wissenschaft, Frankfurt, 1863, pág. 209.
- ⁵ Semper, Gottfried, *Vergleichender Baulehre, en Hermann, Wolfgang, Gottfried Semper: Theoretischer Nachlass an der ETH Zürich. Katalog und Kommentare*, Birkhäuser, Basel/Boston, 1981, pág. 199, nota.
- ⁶ Semper, Gottfried, *Der Stil in den technischen und tektonischen Künsten oder praktische Ästhetik* (tomo II), Verlag für Kunst und Wissenschaft, Frankfurt, 1863, pág. 190.
- ⁷ Schumacher, Fritz, *Das Wesen des neuzeltlichen Backsteinhauses*, Calwey, Munich, 1920, pág. 19.
- ⁸ Sullivan, Louis Henry, "Artistic brick", en Twombly, Robert C. (ed.), *Louis Sullivan: The public papers*, University of Chicago Press, Chicago, 1988, pág. 202.
- ⁹ Wright, Frank Lloyd, "La miniatura", en *Writings and buildings*, Horizon Press, Nueva York, 1960.
- ¹⁰ Semper, Gottfried, op. cit. (tomo II), págs. 351.
- ¹¹ *Ibid.*, pág. 378.
- ¹² *Ibid.*, pág. 381, nota.
- ¹³ Schumacher, Fritz, op. cit., pág. 116.
- ¹⁴ Schwarz, Rudolf, op. cit., pág. 24.
- ¹⁵ Lindner, Werner y Tamms, Friedrich, op. cit., pág. 8.
- ¹⁶ *Ibid.*
- ¹⁷ Schultze-Naumburg, Paul, *Kulturarbeit*, Calwey, Munich, 1928.
- ¹⁸ Schumacher, Fritz, op. cit., pág. 46.
- ¹⁹ Louis I. Kahn: "El contraste de la tenacidad de la arquitectura de viaductos y la tenue delicadeza de los edificios de las instituciones del hombre", en Peter, John, *The oral history of modern architecture*, Abrams, Nueva York, 1994, págs. 220.
- ²⁰ Saarinen, Aline B. (ed.), *Eero Saarinen on his work*, Yale University Press, New Haven, 1962, pág. 84.
- ²¹ Schumacher, Fritz, op. cit., pág. 105.
- ²² Kirkby, Per, "Backsteinskulpturen", en *Kristallgloss: ausgewählte Essays aus "Naturhistorie" und "Umweltfragen"*, Sackmann/ Springer, Berna/Berlin, 1990, págs. 180.
- ²³ Aalto, Alvar, "Die Entwicklung von Konstruktion und Material", en Hoesli, Bruno (ed.), *Alvar Aalto synopsis: Painting, architecture, sculpture*, Birkhäuser, Basilea, 19802, pág. 29.
- ²⁴ Giedion, Sigfried, *Time, space, and architecture. The growth of a new tradition*, Harvard University Press, Cambridge (Mass.), 1949 (versión castellana: *Espacio, tiempo y arquitectura: origen y desarrollo de una nueva tradición*, Reverte, Barcelona, 2009).

sente en la naturaleza, "en las células, sus unidades básicas más pequeñas. Esto origina millones de uniones elásticas en las que resulta imposible encontrar formalismo alguno. De aquí se deriva también la enorme riqueza y la infinita variedad de formas orgánicas que crecen a partir de ellas. El mismo camino debe seguir también la estandarización arquitectónica".²³

Pero, ¿cómo podría tener un ladrillo la misma "alma elástica" que una ameba? La decisión de Aalto de usar piezas cocidas deformadas es más una representación metafórica del problema que su solución. Con ello alude a las formas arcaicas de la arquitectura de ladrillo, a los muros macizos que se construyeron con terrones amorfos, secados al aire. En palabras de Aalto, los ladrillos de la residencia de estudiantes Baker House, los "más miserables del mundo", son elementos del proceso alquímico donde lo vulgar y carente de valor juega un papel esencial dentro de la armonía ambicionada. Aalto no toma partido ni por lo arcaico ni por lo más nuevo; la arquitectura aúna ambas cosas, sin ser ninguna de las dos. Por fortuna, su obra no constituyó una protesta aislada: Sigfried Giedion reaccionó frente a ello con la introducción del concepto de "irracionalismo", en su historia sobre el movimiento moderno, *Espacio, tiempo y arquitectura*.²⁴ La materialidad de la fachada ejerce una resistencia a la inhibición frente a la amenaza de reducir la arquitectura a la retícula espacial total propuesta por Ernst Neufert. Esta resistencia del material le permite a Aalto concebir su idea de normalización como oposición a la disponibilidad sin reservas de una arquitectura concebida al servicio de meras exigencias tecnicistas.

A primera vista, el efecto rotundo que provoca el material de la fachada de la Baker House hace que parezca estar más cerca de los esfuerzos actuales por escenificar la materialidad. Por otro lado, percibimos que el aura de lo sacro, que a menudo es resultado de tentativas de depuración semánticas, no envuelve a la residencia de estudiantes de Aalto. El "ladrillo más miserable del mundo" se mezcla en la composición del muro con demasiada tierra local, de modo que todo sueño de volver a un estado puro se queda en una mera ilusión.

Otra alternativa que puede suponerse seriamente la constituye hoy la revisión de la situación que surgió con la introducción de las nuevas normativas de aislamiento térmico tras la crisis del petróleo. La utilización de obra de fábrica con muros dotados de una gran inercia térmica, combinada con los correspondientes sistemas de calefacción, precisamente por las propiedades específicas que posee, puede dar un nuevo sentido a la misma. La galería de arte contemporáneo en Marktoberdorf, en Baviera, obra de Beath & Deplazes (2001), se compone de salas y espacios en torno a ellas (como el sistema de torres del homenaje medievales y fortificaciones de la ciudad). En el borde de los volúmenes se disponen escaleras y espacios intermedios, con lo que se alcanza la pretendida separación que planteó Louis I. Kahn entre "espacios servidores y espacios servidos".

El *pathos* del muro de fábrica no debe llevar forzosa-mente a una restitución de cualidades metafóricas, como la artesanía, el regionalismo o (en respuesta a la creciente mediatización de la arquitectura) la pesadez o la gravedad. Las cuestiones verdaderamente importantes que hay que plantear deberían dirigirse más bien a los aspectos relacionados con la producción y el uso desde el punto de vista racional, no romántico. Si el pensamiento no se detiene ante las cómodas convenciones, el muro de fábrica será la respuesta adecuada a las cuestiones de la representación metafórica.

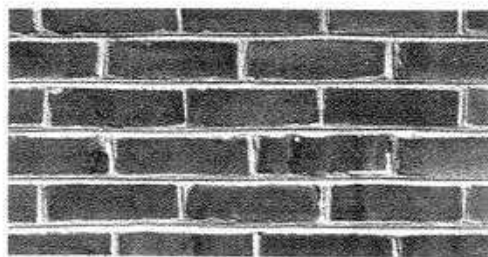


Fig. 26: Presencia material acentuada por el uso de ladrillos deformados, "defectuosos". Alvar Aalto: residencia de estudiantes Baker House, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge (Massachusetts), Estados Unidos, 1954

El material

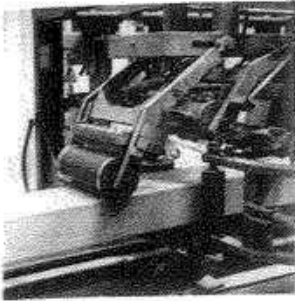


Fig. 27: Fabricación de ladrillos.
Prensa de extrusión

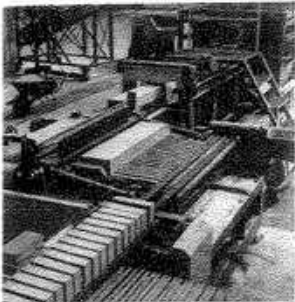


Fig. 28: Fabricación de ladrillos.
Cortadora automática

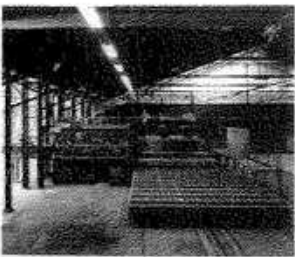


Fig. 29: Fabricación de ladrillos.
Ladrillos crudos sobre plataformas móviles antes de los procesos de secado y cocción

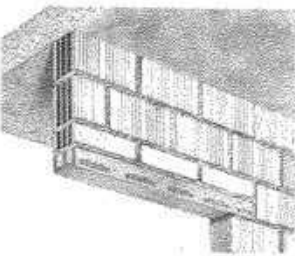


Fig. 30: Dintel de la firma Stahlton.
Pieza cerámica plana y pretensada para la formación de dinteles, con enladrillado superpuesto de compensación hasta alcanzar la altura de la obra de fábrica

Las piezas

Piezas principales con las que se construyen muros de fábrica:

- piedras naturales,
- ladrillos,
- bloques silicocalcáreos,
- bloques de hormigón,
- bloques con propiedades especiales.

Piedra natural

Las piedras naturales presentan las más variadas consistencias y cualidades. Su resistencia a la intemperie y la estabilidad cromática no sólo dependen del tipo de piedra y de su procedencia, sino también del lugar que ocupaba el bloque en la cantera.

Ladrillo

Por ladrillo se entienden todas las piezas elaboradas con barro cocido (ladrillos, para dejar vistos o no, clinker). La materia en bruto para su fabricación son las arcillas naturales. Sus propiedades varían en función del contenido de minerales, cal y óxido de hierro, que determinan también el color y la estructura del producto acabado.

Tras su extracción, la arcilla se machaca y se deposita mezclada con barro. Con el añadido de agua y vapor se produce una masa plástica que puede extruirse y mediante un proceso de prensado adquirir la sección adecuada (con la masa y sus huecos correspondientes). Una vez cortada en piezas, se seca y finalmente se cuece a temperaturas cercanas a los 1.000 °C. Esta temperatura es ligeramente inferior al punto de fusión de los componentes esenciales y provoca la sinterización de los granos y, con ello, su compactación. Según la mezcla de los barros empleados, el color de los ladrillos puede variar desde el amarillo (a causa de la proporción de cal presente en el limo) al rojo oscuro (dependiendo de la proporción de óxido de hierro).

La temperatura de cocción y las dimensiones de los huecos tienen una influencia decisiva en las propiedades del ladrillo. A mayor temperatura de cocción se produce una mayor sinterización y, con ello, una disminución de la porosidad. La reducción de la presencia de aire en la pieza provoca una disminución de su capacidad de almacenamiento de calor y eleva su estabilidad frente a la humedad y las heladas, así como su resistencia a los esfuerzos de compresión.

Ladrillo visto

Los ladrillos vistos son piezas fabricadas especialmente para los muros de obra de fábrica vista. El color y el acabado de su superficie varía según los tipos de productos de cada fabricante.

La superficie del ladrillo visto puede ser lisa, granulada o rugosa. Estos tipos de ladrillos pueden presentar tres caras vistas (una de las longitudinales y dos de canto), o cuatro caras vistas (dos longitudinales y dos de canto).

La cara vista hace que la pieza de ladrillo sea resistente a las heladas y por ello apta para variaciones climáticas extremas. Los ladrillos normales son sólo apropiados para su uso en revestimientos exteriores.

Bloques silicocalcáreos

Se fabrican con arena de cuarzo y cal, y se endurecen con vapor a presión. Se distinguen de las piezas cocidas por su extraordinaria exactitud, por ello resultan muy apropiados para las obras de fábrica vista. Aunque normalmente son de color gris, pueden fabricarse completas gamas de colores. En las obras de fábrica vistas construidas con este material hay que prestar especial atención a la calidad de los cantos.

Bloques de hormigón

Los bloques de hormigón se componen de cemento y un agregado de arena, y muestran una resistencia más elevada. Son significativamente mucho más resistentes a las aguas agresivas que los bloques silicocalcáreos, y se emplean sobre todo en construcciones profundas (por ejemplo, en cajeados de cables).

Bloques con propiedades especiales

Junto a los bloques habituales, existen otros con propiedades especiales, que pueden obtenerse por su proceso de fabricación y/o conformación. Entre ellos pueden citarse:

- bloques térmicamente aislantes,
- bloques acústicamente aislantes,
- bloques de elevada resistencia,
- bloques para obra de fábrica vista.

Elementos constructivos

La obra de fábrica puede completarse con una serie de productos, imprescindibles para mejorar su comportamiento estructural o sus propiedades aislantes. Dentro de estos elementos se encuentran, por ejemplo, las piezas huecas o compactas para dinteles, que trabajan como cargaderos en los huecos del muro, los zócalos termoaislantes y los paneles aislantes acústicos, entre otros.

Conceptos



Fig. 31: Trabazón libre

Explicación de conceptos

Extraído de AA VV, *Wasmuths Lexikon der Baukunst*, Wasmuth, Berlín, 1931.

Adobes son piezas de barro fabricadas artificialmente y cortadas convenientemente que después se secan al aire. Por lo general, su forma es prismática, con dimensiones variables según la época y el lugar.

Ladrillo de barro cocido es la denominación de las piezas constructivas de barro o arcilla, endurecidas mediante un proceso de cocción, y que adoptan diferentes formas y dimensiones. Los ladrillos utilizados en la construcción de muros, secados al aire y luego cocidos, se forman de barro, arcilla y masa de distintos colores, añadiendo arena, fragmentos de cuarzo, polvo de arcilla seca o cocida.

Ladrillo clínker es aquel que se ha cocido a la temperatura necesaria para alcanzar su sinterización. Presenta una superficie ligeramente vitrificada. Se coloca en muros de fábrica vistos, en los que las piezas sólo se han cocido por una de las caras y uno de los cantos, según su cualidad específica de quedar vistos.

Tende es la junta horizontal entre dos hiladas de ladrillo de un muro de fábrica, en contraposición a la vertical, que se denomina *llaga*. En arcos y bóvedas, las juntas discurren entre sus diferentes capas curvas.

Llaga es la junta entre dos piezas dispuestas en una misma hilada. Su grosor habitual es de 1 cm. En arcos y bóvedas se denominan así las juntas entre los elementos que componen una misma capa; están dispuestas en un plano perpendicular al eje.

Aparejo a soga es la trabazón de las piezas de ladrillo cuando éstas están colocadas con el canto longitudinal paralelo a la alineación del muro.

Aparejo a tizón es la trabazón de las piezas de ladrillo cuando éstas están colocadas con el canto de menor dimensión paralelo a la alineación del muro.

Hilada es el término con el que se designa a un estrato de una altura aproximadamente constante del mismo material, como, por ejemplo, las capas de los muros. En función de la disposición de los ladrillos, su aparejo recibe distintos nombres; *plano* si la pieza descansa sobre su cara más ancha, *a sardinel horizontal* si el ladrillo descansa de canto sobre su lado más largo, y *a sardinel vertical* si lo hace de canto sobre su lado más corto. **Aparejo trabado** es aquél en que las hiladas discurren con inclinación respecto a la alineación del muro. Asimismo, los aparejos planos se denominan a tizón, a soga, etc.

Hilada de borde es la sucesión de piezas de ladrillo dispuestas de canto en el hastial para la formación del tejado.

Solape es la parte de la pieza en una hilada que sobresale de la situada en la hilada inferior.

Aparejo es, por lo general y en un sentido técnico, la firme unión mecánica de materiales y elementos construc-

tivos dentro de un conjunto. En muros de fábrica de piedra y ladrillo, el aparejo o trabazón es la unión horizontal de las piezas naturales o artificiales. Para conseguir una correcta trabazón, es condición necesaria que la longitud de la pieza sea el doble de su anchura más la llaga.

Muro de fábrica es toda obra construida como cercado o límite de un espacio, y puede estar formado por piezas naturales o artificiales.

Muro, palabra derivada del latín *murus*, define originalmente a la pared de piedra construida a la manera romana, mientras que pared (*Wand* en alemán, que deriva del gótico *wandus*, de *Rute*, vara y *Windung*, giro o torsión), significaba el trenzado o entretejido germano. Se entienden en general como muros, los volúmenes constructivos compuestos de piedra natural, de masa apisonada o vertida, o de placas, unidos entre sí, con o sin un elemento aglomerante. Los muros trabados sin mortero, con musgo, fieltro, plomo u otros materiales semejantes, se denominan muros secos.

Según la altura a la que se encuentra y la función que ejerce, se diferencia entre muro de cimentación, de zócalo, de planta, de montante o jamba, o de antepecho. Tales expresiones hablan por sí mismas, así como su distinción entre muros de cerramiento o exteriores, muros interiores, de separación, divisorios o intermedios. Cuando los muros admiten cargas de vigas y de otros elementos estructurales semejantes, se denominan muros de carga; si se ven sometidos a esfuerzos laterales, se denominan muros de contención o contrafuertes.

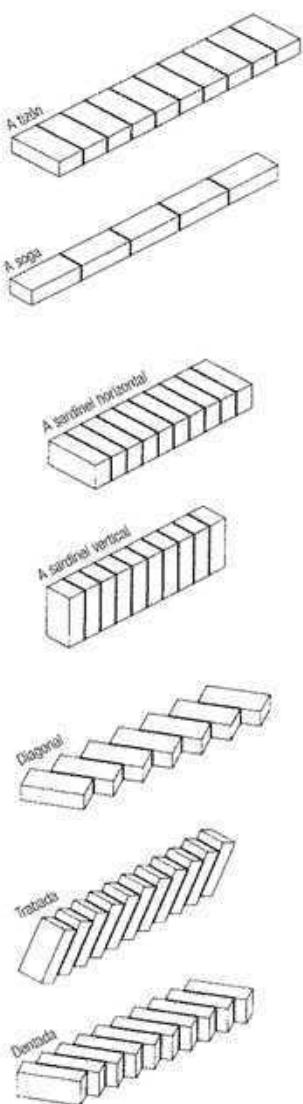


Fig. 32: Diversos tipos de hiladas

Bibliografía

- Wasmuths VV AA, *Wasmuths Lexikon der Baukunst*, Wasmuth, Berlín, 1931.
- Pfeiffer, Günter; Ramcke, Rolf, et al., *Mauwerk-Atlas*, Birkhäuser, Basilea, 2001.
- Schumacher, Fritz, *Das Wesen des neuzeitlichen Backsteinbaues*, Callwey, München, 1985.
- Fleischinger, A. F., y Becker, W. A., *Die Mauer-Verblände* [1859], Th. Schäfer, Hannover, 1993.
- Debo, Ludwig, *Lehrbuch der Mauerwerks-Konstruktionen*, Gebrüder Jänecke, Hannover, 1901.
- Rönner, Heinz, *Wand + Mauer*, Birkhäuser, Basilea, 1991.
- Plumridge, A., y Meulenkamp, W., *Ziegel in der Architektur*, DVA, Stuttgart, 1996.

Proyecto y puesta en obra

El muro de fábrica

El muro de fábrica se compone de piezas unidas por juntas de mortero que constituyen un elemento constructivo unitario, y presenta determinadas cualidades que se tratarán en este artículo.

Tipos de aparejo

Obra de fábrica de una única pieza

Es aquella en la que el grosor del muro se forma con una única pieza: bien con su anchura, bien con su longitud. La diferente disposición de las piezas da lugar a los siguientes conceptos básicos:

- Obra de fábrica de una pieza a soga: las piezas están colocadas con su canto longitudinal paralelo a la alineación del muro.
- Obra de fábrica de una pieza a tizón: las piezas están colocadas con su canto de menor dimensión paralelo a la alineación del muro.
- Obra de fábrica de una pieza a sardinel: las piezas descansan de canto sobre su lado más largo, colocado en perpendicular a la alineación del muro (normalmente se disponen así en su coronación).

Obra de fábrica de aparejo

El grosor de estos muros se forma por la combinación de varias piezas. La alternancia de hiladas a soga y a tizón permite la realización de múltiples aparejos. La composición de tales aparejos deriva de las dimensiones modulares de las piezas y de las juntas.

Construir muros significa, pues, colocar en obra un material preparado industrialmente, compuesto de módulos relativamente pequeños que se unen mediante un mortero para construir elementos de mayor tamaño. El aparejo o trabazón es lo que caracteriza a los muros de fábrica y determina su resistencia. Las soluciones de aparejo en esquina, en la intersección de dos muros o en su solapamiento, deben ser continuas y compactas. Para ello, la relación entre la longitud y la anchura de las piezas tiene que ser exacta. Por lo general, en su formato normal, su largo es el doble que su ancho.

Con excepción de los muros decorativos no portantes, las piezas de las distintas hiladas se colocan siempre desplazadas unas respecto de las otras. Para llevar a cabo una correcta cubrición de la llaga, el solapamiento debe ser, al menos, de un tercio de la altura de la pieza. Se recomienda que el solape no sea inferior a los siguientes valores:

- Obra de fábrica de una pieza: solape en sentido longitudinal de al menos $1/5$ de la longitud de la pieza (6 cm).
- Obra de fábrica de aparejo: solape en sentido longitudinal de, al menos, 6 cm. Profundidad de atado teórica, en sentido transversal, de como mínimo 4 cm.

Por motivos de estabilidad, los muros de una hoja compuestos de una cara vertical, deben tener un grosor mínimo de 12 cm (de 15 cm en el caso de bloques de

hormigón celular). En todo caso, la capacidad portante de delgadas obras de fábrica de una sola capa está limitada sobre todo por el peligro de pandeo.

Los muros de dos hojas se componen de una capa interior y otra exterior, entre las que se coloca una capa de aislamiento térmico y, a veces, una cámara de aire. La lámina interior portante debería tener de 12 a 15 cm de grosor, la exterior, de protección frente a las inclemencias climatológicas, como mínimo de 12 cm.

Juntas

Se diferencia entre dos tipos de juntas de mortero: tendeles y llagas, que unen y mantienen ligadas, horizontal y verticalmente, cada pieza con las demás. En tanto que está compuesta de piezas y mortero, la obra de fábrica puede considerarse como un elemento constructivo formado por la unión de dos materiales. Las juntas verticales (llagas) asumen una función estática que, en esencia, es

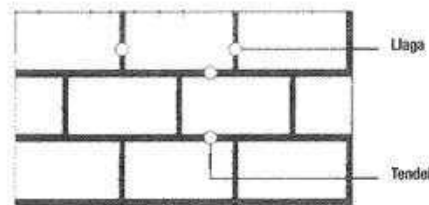


Fig. 34: Tipos de juntas

menos significativa que las horizontales (tendeles), ya que no intervienen en la absorción de esfuerzos a tracción y cizallamiento. El mortero en las juntas, a diferencia de las piezas, tiene la propiedad de que es consistente pero admite dilataciones, lo que origina esfuerzos cortantes entre aquellas y el mortero. Como norma general, las juntas de mortero deben ser lo más delgadas posible, o mínimas. Por otra parte, es necesario que tengan un determinado grosor para compensar las irregularidades de las piezas. El grosor de las juntas longitudinales realizadas con mortero común es de 8 a 12 mm.

Para ejecutar el muro se aplica mortero sobre ambos lados de las juntas (llaga y tendel), en particular del lado de la junta longitudinal (tendel). El mortero sobrante normalmente se elimina, pero si el muro tiene dos hojas, no siempre es posible retirarlo y en caso de existir una cámara de aire intermedia demasiado estrecha, puede ser un estorbo o dificultar la función de ésta. Para mayor seguridad debe contarse con que el mortero sobrante no debe sobrepasar los 2 a 3 cm.

Según el carácter que se quiera dar a la obra, las juntas pueden configurarse de manera muy distinta: enrasadas, rehundidas, etc. Para alcanzar las propiedades deseadas, es muy importante una buena aplicación del mortero en la formación de las juntas, especialmente en obras de fábrica sometidas a fuertes solicitaciones, en muros o barreras acústicas, en las obras situadas en zo-



Fig. 33: Ejemplos para la formación de juntas

- a) rehundida (producida con un tubo de metal o media caña)
- b) enrasada
- c) con inclinación (la parte no vista del ladrillo queda parcialmente expuesta a las inclemencias meteorológicas)
- d) rehundida y enrasada interiormente (la parte no vista del ladrillo queda parcialmente expuesta a las inclemencias meteorológicas)
- e) saliente (el mortero de la junta queda fuertemente expuesto a las inclemencias meteorológicas)

nas sísmicas, o en obras de fábrica vista. Cuando los muros de fábrica no presenten particulares exigencias, existe también la posibilidad de realizarlos con las juntas a plomo, sin llaga, es decir sin mortero en las juntas verticales.

Organización de las dimensiones

Para la racionalización de la planificación y la ejecución de los muros de fábrica vista, cada proyecto debería establecer como una cuestión básica la organización de las dimensiones. Es decir, establecer un sistema de medidas fundamentales de las que puedan derivarse las del conjunto de elementos y partes de la construcción (paredes, puertas, ventanas, etc.), de modo que al realizarlo no sea preciso trocear ninguna pieza del muro. El módulo se convierte así en patrón de medida de la obra, siendo todas las dimensiones de los demás elementos múltiplos de él. Son medidas que deben servir para coordinar el proyecto. De la medida patrón se derivan, descontada la medida de las juntas, las medidas nominales de los elementos constructivos.

Los responsables del proyecto deben especificar si se trata de una sencilla obra de fábrica, que permanece siempre a la vista (como, por ejemplo, en un sótano), de una obra de fábrica ciega antepuesta a las paredes exteriores, o de obra de fábrica vista en una zona interior. En función de ello, cambian las exigencias respecto a la superficie de las piezas, la forma de las juntas y la calidad de la ejecución.

Grosor del muro

En la obra de fábrica de muros compuestos por una sola pieza, el grosor del muro viene determinado por el ancho o la longitud de la pieza; en muros de aparejo, por la pieza utilizada y la clase de unión o aparejo elegido.

Longitud del muro

La longitud del muro puede ser elegida a voluntad. La adaptación de las piezas al muro y su encaje exacto puede conseguirse mediante el corte en trozos o fresado de las mismas. En los trozos de muro de reducidas dimensiones y los pilares es conveniente utilizar una pieza entera como módulo. En obras de fábrica vista, las medidas deben corresponderse con la clase de aparejo elegido.

Para conseguir la longitud requerida, también se fabrican piezas de menores dimensiones que las del módulo base, pero sólo para muros vistos. En obras de fábrica con revoco, por regla general las piezas se despiezan o fresan en la propia obra. Las piezas pueden separarse mediante su corte o fresado para adecuarse a dimensiones de obra menos exactas o irregulares.

Altura del muro

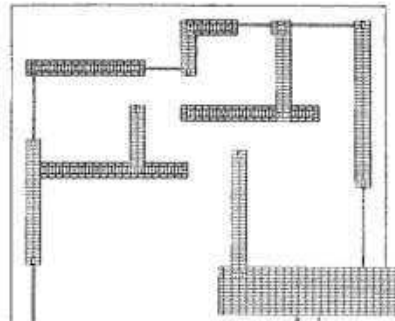
Los ladrillos no pueden cortarse en altura; en consecuencia, la altura del muro y la distribución de hiladas deben determinarse mutuamente. Existen piezas diferentes para

compensar, de modo que, combinando piezas de distinto tamaño, es posible obtener todas las medidas en altura deseadas. Sin embargo, conviene elegir una altura que precise el mínimo número de piezas especiales y, en caso de que su uso sea imprescindible, limitarse sólo a un tipo de ellas. En general, la modificación del grosor normal de los tendeles debería emplearse sólo para compensar irregularidades de nivelación y diferencias en las dimensiones.

Valores aconsejables

Las obras de fábrica de una única pieza ejecutadas como muros portantes deberían tener un grosor superior a 12 cm, y si están construidas con bloques de hormigón ligero, mayor de 15 cm. En el caso de que el muro esté compuesto de dos hojas, el grosor de la capa portante debería oscilar entre los 12 y los 15 cm. La hoja exterior no portante debería ser mayor de 12 cm para que tenga la estabilidad suficiente. La estabilidad de los muros esbeltos está limitada por el riesgo de pandeo; esto significa que los esfuerzos de tracción, en la dirección transversal al muro, no pueden ser absorbidos si éste no se encuentra sometido a una compresión considerable.

Aparejos

**El carácter visible de lo invisible**

El conocimiento de los distintos tipos de aparejos comporta una profunda comprensión tanto del comportamiento como de la cohesión de los muros de fábrica, pero también de la construcción de muchos edificios históricos. A su vez, constituye el fundamento para proyectar y configurar muros de fábrica vistos.

Según el *Wasmuths Lexikon der Baukunst*, aparejo significa "el ensamblaje (unión) adecuado de piezas naturales o artificiales", para lograr un reparto regular de las cargas en el muro y asegurar una unión tridimensional entre las distintas piezas.

En las uniones firmes, que resultan de los encuentros en esquina, cruces y remates de muros, se producen formas especiales de aparejo. Para ellas rigen reglas cuya validez está avalada por siglos de experiencia.

Fig. 35: Planta que muestra el aparejo de los muros
Ludwig Mies van der Rohe, casa de campo de ladrillo (proyecto), 1923

Reglas básicas del aparejo del muro de fábrica*Como ejemplo del aparejo de las piezas*

Tan sólo válida para el aparejo de piezas conformadas artificialmente (es decir, ladrillo cerámico, piezas silico-calcáreas, piezas de hormigón).

1. La condición indispensable para un aparejo correcto es que las hiladas sean exactamente horizontales.
2. Las hiladas a soga y a tizón deben alternarse con regularidad.
3. Debe emplearse del mayor número de llaves posible en el interior del muro.

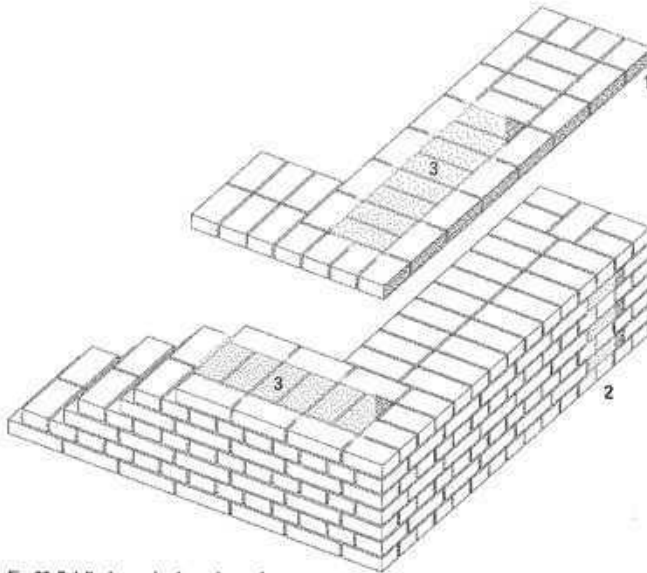
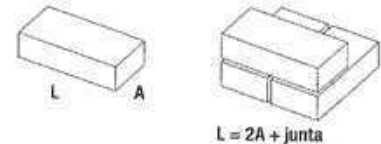


Fig. 36: Detalle de esquina formada por dos muros

4. Para la construcción del aparejo, debe emplearse el mayor número posible de piezas enteras y sólo el número que sea necesario de piezas parciales o fragmentadas (y un solape de tres cuartos de la pieza en esquinas y remates de terminación de muro, para evitar juntas continuas verticales).
5. En la medida de lo posible, las llagas de cada hilada deben prolongarse en línea recta a través de toda la sección del muro.
6. Las llagas de dos hiladas consecutivas deben estar desplazadas en torno a 1/4 y 1/2 de la longitud de la pieza, y nunca deben coincidir.
7. En esquinas, cruces y encuentros de muros, las hiladas a soga deben continuarse y las hiladas a tizón interrumpirse.
8. En una esquina interior deben alternarse hiladas con y sin llaga.



Pueden configurarse numerosas variantes siguiendo las reglas de construcción del muro, siempre y cuando se contemple la lógica siguiente: la longitud de la pieza debe ser dos veces la anchura de la misma más una llaga. (ejemplo: $29 = 14 + 14 + 1$)

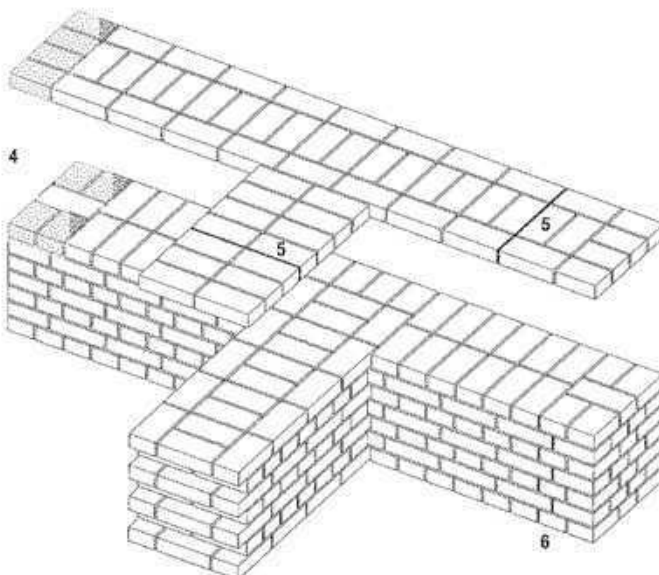


Fig. 37: Detalle del encuentro entre dos muros

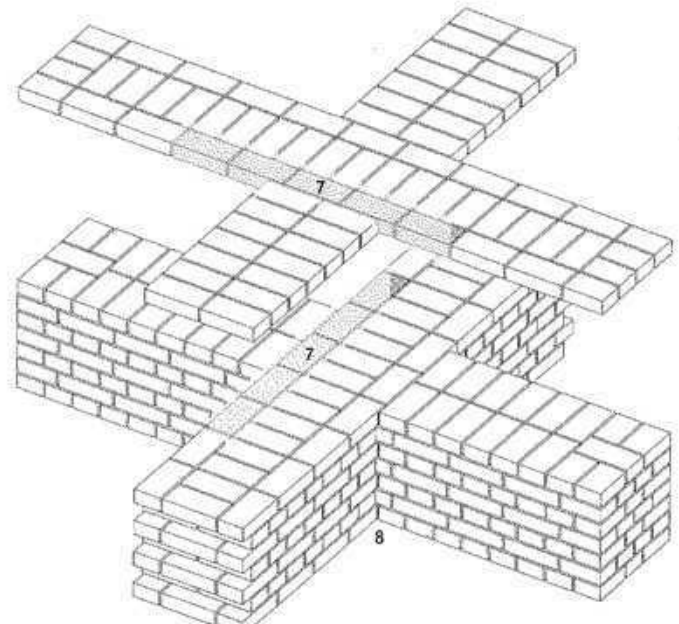


Fig. 38: Detalle del cruce de dos muros

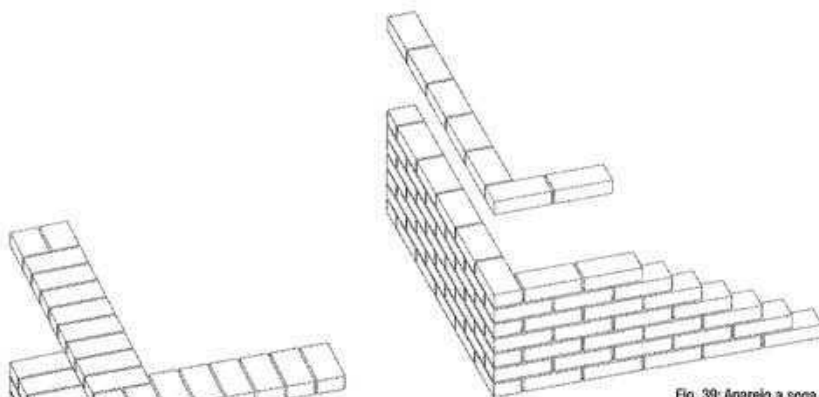


Fig. 39: Aparejo a soga

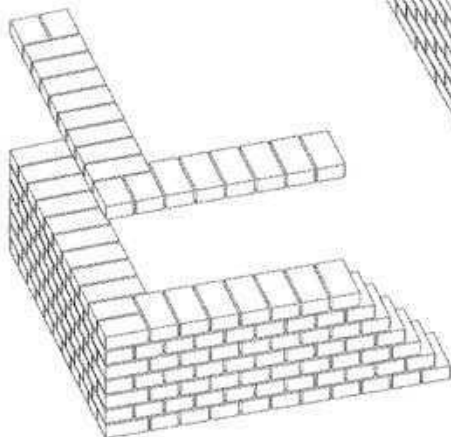


Fig. 40: Aparejo a tizón

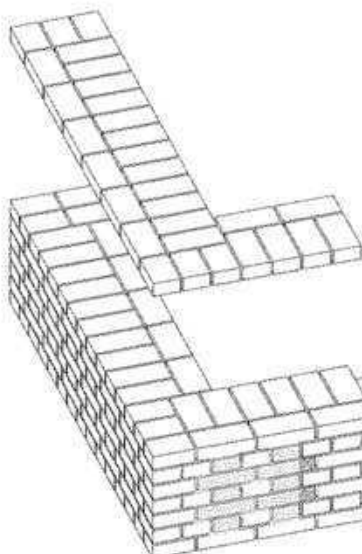


Fig. 41: Aparejo inglés

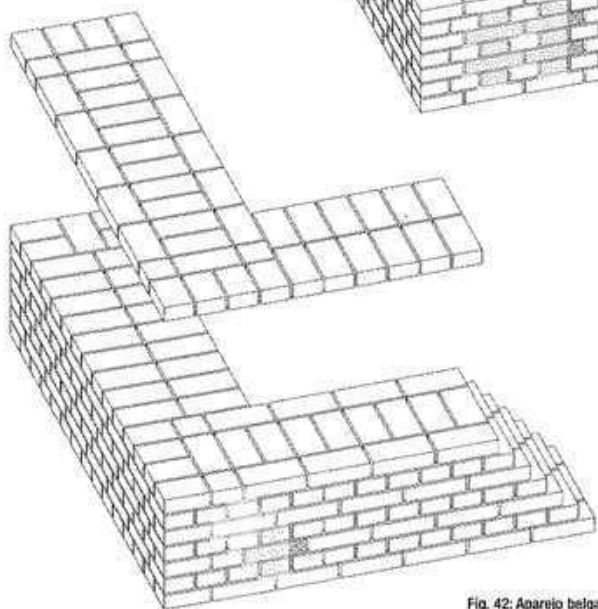


Fig. 42: Aparejo belga

Aparejos principales

Se puede diferenciar entre muros formados por una sola pieza y muros de aparejo: en los primeros, la anchura de cada hilada está limitada a la anchura o longitud de una pieza, mientras que en los segundos se produce una trabazón de dos o más piezas en el sentido de la profundidad del muro.

Muro de una sola pieza

Aparejo a soga

Todas las hiladas se componen exclusivamente de piezas colocadas a soga. Debido al solape entre las piezas, que normalmente es de la mitad de su longitud, se obtiene una unión de gran resistencia a la tracción y a la compresión. El aparejo a soga sólo es apropiado para muros formados por una única pieza. Por ello se usa para tabiques, revestimientos o muros contruidos con piezas aislantes (por ejemplo, Optitherm). La dimensión del solape puede variar, pero nunca ser inferior a $1/4$ de la longitud de la pieza.

Aparejo a tizón

Como en este aparejo todas las hiladas son puras y simples hiladas a tizón, sólo resulta adecuado para muros de una sola pieza de grosor. El solape de cada pieza entre una hilada y la siguiente supone $1/4$ de su longitud. Este tipo de trabazón es muy resistente a compresión, por lo que antiguamente se utilizaba también para cimentaciones. En cambio, como el solape entre las piezas es reducido, pueden aparecer grietas inclinadas en las juntas.



Fig. 43: Aparejo a soga



Fig. 44: Aparejo a tizón

Muro de fábrica de aparejo

Aparejo inglés

Este tipo de aparejo está muy difundido. En él se alternan regularmente las hiladas a soga y a tizón, por lo que las llagas de todas las hiladas correspondientes a cada una de ellas siempre quedan alineadas en la vertical.

Aparejo belga

A diferencia del aparejo inglés, en el belga, la pieza de cada segunda hilada a soga se desplaza aproximadamente la mitad de su longitud respecto a la correspon-



Fig. 45: Aparejo inglés



Fig. 46: Aparejo belga

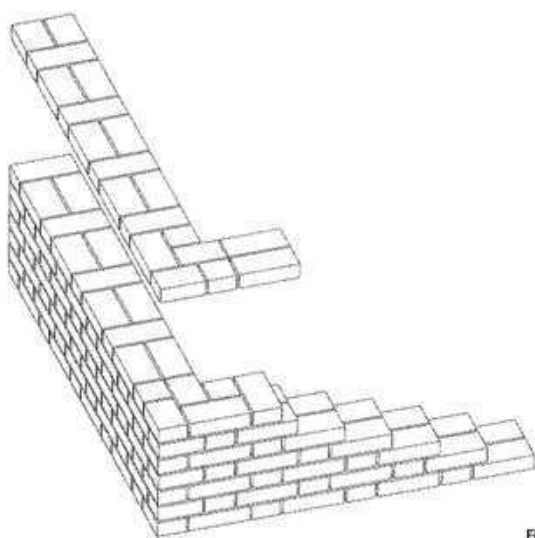


Fig. 47: Aparejo flamenco

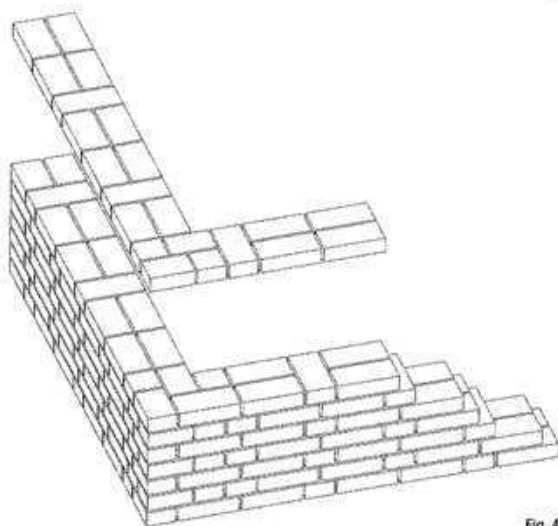


Fig. 48: Aparejo flamenco doble

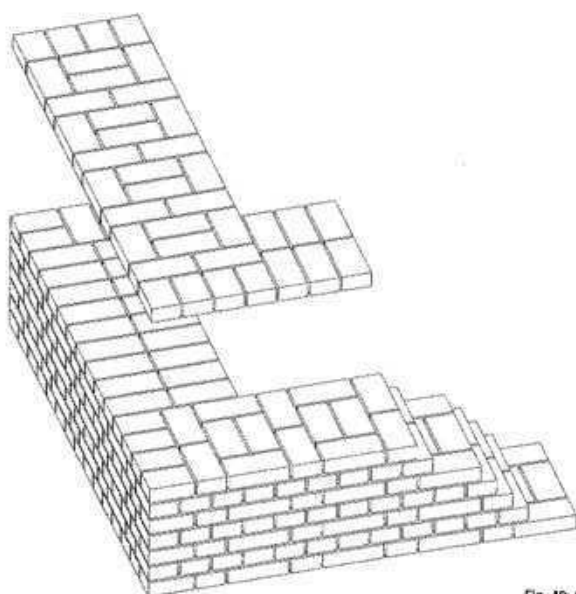


Fig. 49: Aparejo holandés

diente a soga de la hilada anterior, surgiendo por lo tanto diversos entrelazamientos apreciables en el alzado. Las juntas presentan un escalonamiento regular que contribuye a crear una mejor unión entre los ladrillos y, con ello, una mayor resistencia que el aparejo inglés.

Variantes del aparejo inglés

Aparejo flamenco

En el aparejo flamenco, en cada hilada se alternan un ladrillo colocado a soga y otro a tizón. Los ladrillos colocados a tizón quedan siempre centrados entre los colocados a soga en la hilada superior e inferior. En muros con el grosor de una sola pieza pueden suprimirse ladrillos a soga, dando lugar a un aspecto discontinuo. El aparejo flamenco se ha empleado con frecuencia para obra de fábrica ciega, rellena en el interior con piezas distintas en las que se vertía mortero. En cada hilada, el diferente modo de variar las piezas y los resaltes que originan, junto con el relleno del mortero, garantizan una buena unión (el aparejo flamenco también se denomina aparejo gótico).



Fig. 50: Aparejo flamenco



Fig. 51: Aparejo flamenco relleno

Aparejo flamenco doble

(a veces denominado también aparejo gótico)

En este aparejo, cada hilada alterna dos ladrillos consecutivos colocados a soga con uno colocado a tizón, por lo que los colocados a tizón de dos hiladas superpuestas están desplazados aproximadamente la longitud de una pieza.

Variante del aparejo belga

Aparejo holandés

(también denominado aparejo flamenco o polaco)

El aparejo holandés se diferencia del belga porque sobre la hilada de piezas colocadas a tizón, se coloca una hilada en la que se alternan ladrillos colocados a soga y a tizón. Al igual que en el aparejo belga, las sogas están siempre dispuestas siguiendo la misma línea vertical.



Fig. 52: Aparejo flamenco doble



Fig. 53: Aparejo holandés

Anclaje y armado en muros de fábrica de dos hojas de ladrillo

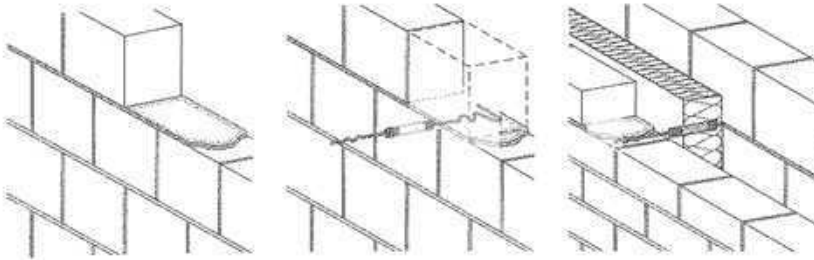


Fig. 54: Proceso de montaje, colocación en las juntas de mortero

- capa de mortero
- colocación del anclaje articulado y de la pieza situada encima
- colocación del aislamiento térmico sobre el anclaje articulado, introducción posterior del mortero en la junta longitudinal de la pared superpuesta

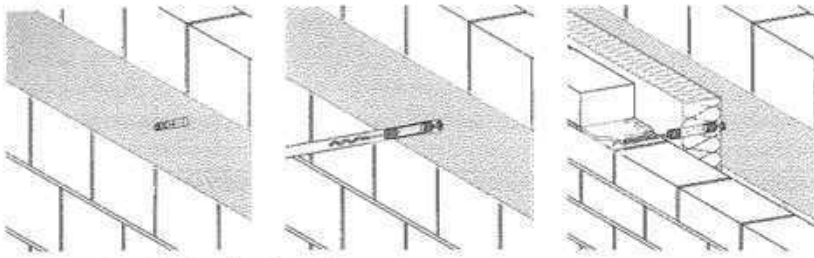


Fig. 55: Proceso de montaje, colocación en el cemento

- taladro del hormigón y colocación de un taco de metal
- atornillado del anclaje articulado
- colocación del aislamiento térmico sobre el anclaje, introducción en la junta longitudinal de la capa exterior

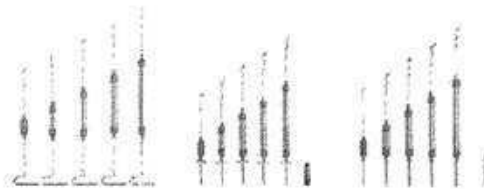
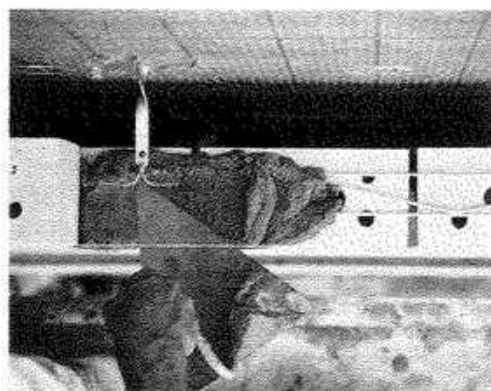


Fig. 56: Clases de anclajes
En juntas, hormigón y muros de fábrica



Armado de junta longitudinal



Anclaje y armado

Los anclajes, de acero inoxidable o de plástico (reforzado con fibras de carbono), tienen que poder transmitir los esfuerzos de tracción y de compresión verticalmente al plano del muro. El comportamiento de cada una de las capas es distinto. La exterior está sometida a movimientos debido a los cambios de temperatura y que, sobre todo, afectan a su superficie. El comportamiento de las paredes y los forjados interiores es distinto, ya que se deforman por la acción de las cargas que causan deslizamientos o contracciones. Los anclajes de la fachada deben poder reaccionar elásticamente a estos distintos movimientos. Por motivos prácticos, los anclajes se alinean en hileras horizontales. Lo normal es colocar dos o tres filas por planta, con una separación de entre 80 y 100 cm. Suele calcularse aproximadamente un anclaje por cada metro cuadrado.

Desde el punto de vista estático, la hilera de anclajes a lo largo del muro configura, por lo tanto, un zuncho horizontal. Es recomendable la colocación de una armadura de atado del tendel o junta horizontal, o en el tendel superior o en el inferior de la hilera de anclajes, o bien en ambos, es decir tanto en el superior como en el inferior.

Armado en muros de fábrica para evitar la formación de grietas

El origen más corriente de la formación de grietas son las deformaciones no previstas e independientes de las cargas estructurales, motivadas por contracciones y/o sollicitaciones debidas a la temperatura. Una disposición conveniente de la armadura puede evitar la aparición de tales grietas o reducirlas en gran medida. El número de piezas de la armadura se determina en función de las sollicitaciones y de la complejidad de la pared exterior, así como en colaboración con los suministradores de las piezas o los calculistas de estructuras.

Además, hay que tener en cuenta que los ángulos de la capa exterior y las fachadas con más de 12 m de longitud deben contar con juntas de dilatación.

Otras medidas

Para evitar la aparición de grietas en un muro de fábrica puede ser necesario adoptar otras medidas en diferentes puntos, como en los bordes del tejado, en dinteles, etc., colocando anclajes corridos y anclajes de ménsulas, por ejemplo.

Fig. 57: Ejecución de la hoja exterior
Vista lateral (a la izquierda) y desde arriba

Acerca de la artesanía de la construcción del muro

Katia Dambacher, Christoph
Elsener, David Leuthold



Fig. 58: Piedras



Fig. 59: Muro

Morfología

"El muro de fábrica es un elemento constructivo compuesto de piezas que, unidas mediante mortero, se comportan como un todo".¹ Hasta ahí una de las definiciones probablemente más breves acerca de la descripción de un objeto que, pese a su estricto planteamiento de partida, ha desarrollado sin embargo una enorme variedad de aplicaciones.

La palabra 'muro' proviene del latín *murus*. Con la expresión muro de fábrica se entiende siempre un volumen constructivo formado por la unión de piezas naturales o artificiales; un muro, pues, compuesto de una o varias capas de piedra o ladrillo, que se ensamblan entre sí y se compactan con un mortero como aglomerante y material de relleno.

Los muros de fábrica pueden construirse con piedras de cantera, de mampostería o cantos rodados; piezas artificiales cocidas o crudas (como ladrillos); piezas mezcladas (como en obra de fábrica ciega) o con masa vertida o apisonada de barro, hormigón u hormigón armado.

Si la obra de fábrica se diferencia por su ejecución, se alude entonces a un muro compacto, lleno, o a uno hueco.²

Aspectos histórico-artísticos

Desde un punto de vista cultural, el muro de fábrica es un valor constante, ya que ni sus funciones ni su significado han cambiado sustancialmente en el curso de su evolución. Entendido como trabajo artesanal en todas las culturas existentes, se trata de un elemento que puede expresarse en multitud de formas distintas, a pesar de que su fundamento constructivo es siempre uno y el mismo. Además, sus características de solidez, carácter macizo y estabilidad están siempre y en todo lugar asociadas a los mismos valores de seguridad, protección, durabilidad y continuidad; es decir, a la tradición, y también, y no por ello en último lugar, a la disciplina y la sencillez. El significado del muro varía según los diferentes tipos de piezas utilizadas y su tratamiento superficial. Así, los edificios de mampostería irradian monumentalidad y firmeza (por ejemplo, las pirámides de Egipto). En el polo opuesto se encuentra el ladrillo, considerado un material barato y menos representativo, que se ha empleado sobre todo en viviendas y edificios de carácter funcional (por ejemplo, en los acueductos romanos o para los edificios industriales del siglo XIX).

El muro de fábrica ha experimentado modificaciones constantes, condicionadas por el desarrollo técnico. A lo largo de la historia de la arquitectura se ha reaccionado con estrategias diferentes a los métodos industrializados de la producción en serie. Contemporáneamente se utilizó clinker en Alemania siguiendo la destacada tradición nórdica de la obra de fábrica vista, mientras que en el movimiento moderno purista, el ladrillo se utilizó en su mayor parte revocado y, por tanto, tuvo poco protagonismo.

La obra de fábrica vista

La obra de fábrica evidencia visiblemente las características materiales, de técnica constructiva y de procedimiento, de su ensamblaje y disposición en estratos o capas. La expresión arquitectónica de un muro visto de ladrillo está determinada por elementos muy diversos: "Los signos visibles de sus hechos invisibles son las superficies de las piezas, los colores surgidos por medio del fuego, el brillo, las salpicaduras de escorias, burbujas, fisuras y estrías. Además, las juntas, su anchura, color, superficie, su relieve, así pues, el aparejo, sus relaciones y límites horizontales, verticales y diagonales".³

Cuando se habla de muro visto macizo se debe considerar por separado la hoja exterior y su núcleo: el núcleo oculto de los muros de varias hojas puede rellenarse con piedras o ladrillos de peor calidad, procurando siempre que la unión con la hoja exterior sea eficaz. En la configuración de la superficie de la hoja vista con sus cualidades estructurales, plásticas, materiales y cromáticas, se ponen de manifiesto las relaciones entre las partes y la unión existente en el volumen del muro.

El módulo

"La pieza del muro [...] es un elemento con el que convivimos en nuestra existencia, como lo son los sencillos utensilios o herramientas".⁴

La forma y medida de cada pieza del muro forma parte de un sistema de dimensiones superior; el elemento más pequeño, con frecuencia señalado como el primer elemento constructivo normalizado, es una parte fundamental de todo el conjunto. La pieza individual determina la regularidad de la "puesta en obra", es decir, del aparejo. A su vez, con el aparejo se consigue el reparto homogéneo de las juntas. Ya la elección de un determinado ladrillo, con sus proporciones fijas de longitud, anchura y altura, determina en cada proyecto tanto un sistema de medidas concreto e indispensable, como una relación subordinada de las partes entre sí. Grosos, longitudes y alturas de muro, así como la posición y la dimensión de los huecos del muro, se definen, en consecuencia, a partir del módulo básico.

El formato

Por lo general, la forma del ladrillo es rectangular, con dimensiones que varían según la época y el lugar. Su proceso de fabricación no ha cambiado prácticamente a lo largo del tiempo. La historia muestra que el ladrillo de barro cocido no ha superado casi nunca los 35 cm de longitud y de anchura, y los 11 cm de altura, ya que un esmerado proceso de cocción sólo puede asegurarse hasta ese tamaño, y la forma rectangular de la pieza no debe deformarse durante el proceso. Para poder llevar a cabo un aparejo del muro complejo (véase el capítulo *Aparejos*), la longitud de la pieza es normalmente el doble que la anchura más una llaga. Sin embargo, actualmente las dimensiones han llegado a ser muy variadas, ya que

muchos muros se realizan con aparejo a soga debido a las normativas de ahorro energético, o lo dictan así sus condiciones estáticas (como ocurre, por ejemplo, en los muros de una sola capa).

A ello se añade que las piezas exigen un manejo fácil para que el albañil pueda cogerlas y colocarlas con una sola mano. Estas reglas han regido con pocas excepciones hasta hoy. Las medidas estándar del ladrillo con cara vista producido de forma mecánica, son de unos $25 \times 12 \times 6,5$ cm. No obstante, las diferentes exigencias de la pieza, así como los procesos de producción y el material en bruto, tan distinto según las regiones, garantizan una oferta diversificada de piezas con formas, dimensiones, coloración, estructuración y propiedades superficiales distintas. Los diferentes formatos, grandes y pequeños, permiten una adaptación sutil e individual a la articulación pretendida o al carácter de un edificio. Junto a las necesidades estéticas existen otras de índole práctica que justifican los diferentes formatos de ladrillo. Precisamente son los modelos de reducidas dimensiones los que permiten una mayor libertad en la configuración relativa de pequeñas superficies de muro. De este modo, puede superarse fácilmente la forma básica establecida para el ladrillo. La elección del ladrillo específico, con su forma y propiedades superficiales, constituye pues una decisión fundamental.

Los colores y las superficies

La coloración del ladrillo depende tanto de la composición química del material en bruto como de la temperatura y el tipo de cocción. Ambas condiciones conducen a un amplio espectro cromático y confieren al ladrillo una vivacidad y una calidad específicas. Expresándolo en palabras de Fritz Schumacher, cada pieza adquiere una gran especificidad gracias al contraste entre su "color incorpóreo y su corporeidad. Pues en los materiales auténticos el color no es sencillamente un tono, sino que posee vida propia. Nosotros sentimos que surge del interior de la materia, no se adhiere a ella como una piel exterior, y esto le confiere una mayor fuerza".⁵

Ninguna pieza es exactamente igual a otra, y aquí reside precisamente la fascinación que ejerce, en la relativa imperfección de su lisura, de sus aristas, de sus ángulos rectos, de sus medidas y colores, que procura aproximarse a una dimensión, forma y calidad estándares. A la modulación objetiva de cada ladrillo se contrapone la composición subjetiva del muro de fábrica.

Una forma clásica de tratar la superficie del ladrillo y ennoblecerla es el esmaltado, que tiene lugar simultáneamente al proceso de cocción, o durante un proceso de cocción efectuado posteriormente sobre la pieza.

El aparejo

La elevación de un muro tiene lugar a partir de un concepto básico inherente al mismo: el aparejo o trabazón. El aparejo es un sistema de reglas con las que se crea

una "configuración, desde luego legible, pero en su mayor parte invisible".⁶ El núcleo de este proceso es justamente "el carácter visible de lo invisible".⁷

El arte del muro de fábrica visto radica en la combinación de las unidades relativamente pequeñas mediante el anclaje en una estructura que es a la vez resistente y maciza, pero también artística, de modo que a lo largo de las capas superpuestas o hiladas no existan juntas verticales ininterrumpidas. Cada pieza debe encajarse entre las colocadas a sus lados y las situadas por encima y por debajo, para proporcionar al muro la máxima estabilidad y consistencia. Esto es también válido, sobre todo, para el núcleo interior del muro, que más tarde, después de su ejecución, permanecerá oculto. Las piezas se entrelazan apoyándose unas en otras.

Según el modo de disposición de las piezas colocadas a tizón y de las colocadas a soga en varias hiladas, surgen diversos modelos de aparejo, cuya repetición constituye un elemento compositivo fundamental del carácter de la superficie. Dependiendo del patrón utilizado para colocar los ladrillos dentro de las hiladas, y de que ésta se repita cada dos, tres o como máximo cuatro hiladas, surgen, por ejemplo, el aparejo de ladrillo colocado a tizón, a soga, el inglés, el belga, el flamenco, el holandés, etc. (véase también el capítulo *Aparejos*).

La resistencia debida al aparejo

El muro de fábrica de ladrillo es un material compuesto, formado de ladrillos y mortero, con una elevada resistencia a la compresión y mínima a la tracción. Su capacidad portante se genera gracias a la trabazón del muro en las tres direcciones. Cuando los bordes superior e inferior del muro se ven sometidos a un esfuerzo de compresión, el aparejo proporciona un reparto uniforme de las cargas

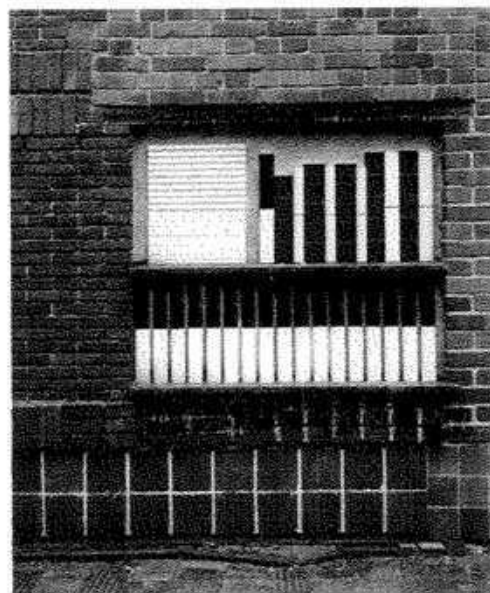


Fig. 60: Diversos formatos, colores y superficies
Alvar Aalto: vivienda experimental, Muuratsalo, Finlandia, 1954

con el fin de mantener la solidaridad de todas sus piezas, en conexión con las juntas de mortero distribuidas regularmente. El mortero no puede soportar esfuerzos de tracción. Por este motivo, la resistencia, y con ello la altura, de los muros de fábrica es limitada. El edificio más alto de ladrillo hasta ahora, el edificio Monadnock en Chicago, tiene 16 plantas y 60 m de altura. Hasta la construcción del mismo, la altura más alta alcanzada en edificios de ladrillo era de diez plantas. Los muros de la planta baja de este "rascacielos arcaico" (véase el artículo "El pathos de la obra de fábrica" de Ákos Moravánszky) tienen un grosor de 2 m.

El ornamento

Los distintos aparejos muestran diferencias características en su expresión. La elección del aparejo se determina según la distancia del observador, tratando de aunar recíprocamente el carácter del material y la calidad de su superficie (pero adoptando una escala de importancia distinta, ya se trate de lejos o de cerca), para la expresión de la obra de fábrica vista.

El ladrillo en sí conforma la escala del tamaño del motivo ornamental, y la muestra puede desarrollarse a partir del mismo módulo. En la casa Wolf, obra de Hildundk, la ornamentación surge como resultado y expresión del proceso de producción y ensamblaje que, por así decir, resulta inherente al principio que rige la construcción del muro.

Por ejemplo, en sus obras, Fritz Schumacher confía exclusivamente en la belleza expresiva del clinker, dentro de una "pared" bien aparejada. Schumacher lleva a cabo una ornamentación plana en sus edificios gracias a la modificación de la posición y la trabazón de las piezas. Una forma de ornamentar puede también desarrollarse con cuidados resaltes de piezas singulares o estratos de las mismas, así como con formas constructivas especiales, por ejemplo, hiladas a sardinel en el remate superior.

Fritz Höger, autor de la famosa Chilehaus de Hamburgo, ve en el ladrillo un material apropiado con el que conseguir un extraordinario juego de luces y sombras, por medio de ornamentos subrayados a gran escala y realizados con piezas singulares que destacan sobre toda la fachada. Así, las superficies de sus muros se configuran con relieves decorativos o incluso están conformadas plásticamente.

La junta

En el muro de fábrica visto se infravalora a menudo la importancia de la junta. En la junta se hace evidente la unión del muro, "su trabazón" como idea propia del muro de fábrica. El mortero y la pieza constituyen los materiales del muro; pero las juntas y el aparejo determinan su carácter. Las juntas se extienden por toda la superficie como un tupido tejido y le confieren la escala. Según la teoría del revestimiento de Gottfried Semper, es

la apariencia del muro de fábrica lo que determina su técnica, y no lo contrario (véase también el texto "El pathos de la obra de fábrica" de Ákos Moravánszky).

No es imaginable un muro de fábrica sin juntas. Juntas y piezas mantienen entre sí una relación fundamental aunque variable, pues ambas se necesitan entre sí. Es posible configurar el entramado de las juntas por sus dimensiones, coloración y forma. La relación entre las juntas y las piezas del muro determina su resistencia y su expresión arquitectónica. La resistencia de un muro de fábrica depende en esencia del grosor de las juntas. La pieza presenta por lo general una mayor capacidad de resistencia a las cargas que el mortero, de modo que las juntas anchas reducen normalmente la estabilidad total de una obra de fábrica.

En función de la mayor o menor acentuación de las juntas, surge la posibilidad de determinar el carácter de la superficie en relación con el tono del color y su viveza. El mismo material cerámico se percibe totalmente distinto dependiendo del color con que se ejecuten las juntas. Además, la condición variable de las superficies de las juntas determina, en contraposición a la superficie vista de las piezas, la apariencia del muro, según como se hayan configurado, si enrasadas, rehundidas o salientes. Las juntas enrasadas, por ejemplo, hacen desaparecer las irregularidades de ladrillos de aristas no del todo regulares, y centran la atención visual en el juego de las juntas. Puede alcanzarse una especial acentuación de las juntas al rehundirlas con respecto a la superficie del muro, de manera que conformen tenues líneas de sombra.

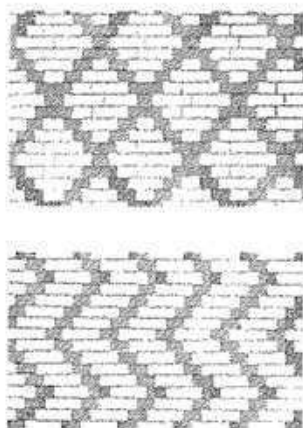


Fig. 61: Motivos ornamentales obtenidos mediante la disposición del aparejo
Según Fritz Schumacher

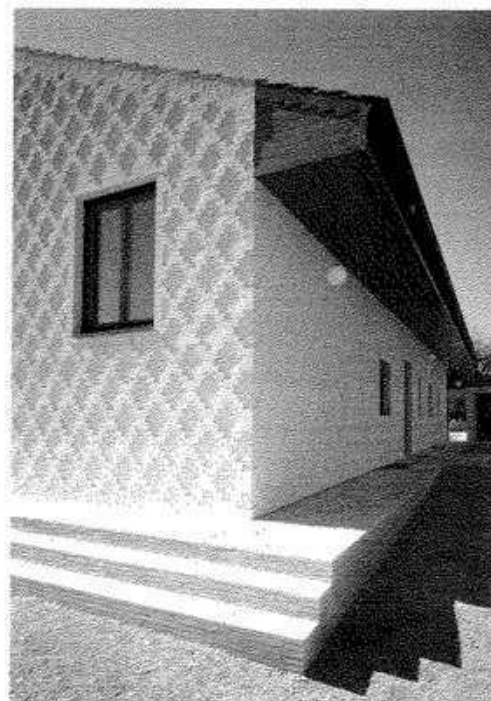


Fig. 62: Ornamentación conseguida por la disposición en relieve de las piezas
Hildundk, casa Wolf, Aggstal, Alemania, 2000



Fig. 63: Fachada expresionista
Fritz Höger: sede del periódico *Hannoverscher Anzeiger*, Hannover, Alemania, 1928.

En resumen, la configuración de las juntas supone un aspecto significativo de la superficie del muro y de su cualidad plástica, y en unos casos puede conferir al aparejo una estructura más consistente o, en otros, un efecto superficial homogéneo.

El hueco

La cáscara maciza y protectora de un muro de ladrillo forma antes que nada un límite firme que separa el espacio interior del exterior. La comunicación entre los dos espacios tiene lugar por los huecos abiertos en la estructura del muro de fábrica, que dependen del módulo individual tanto en su forma como en sus dimensiones y situación. Así, se insertan en el todo, estrictamente modulado y geométrico, que constituye el muro. Cada hueco debe adaptarse a la escala prescrita por el muro y exige un cuidadoso estudio de la sección del dintel, el trasdós y el antepecho: el hueco como perforación de un entretejo tiene, dicho de otra manera, que "coserse". Entre muro y hueco se establece un vínculo indisoluble. El primero constata su consistencia y corporeidad mediante la disposición de los vacíos que se expresa en su composición. A su vez, las dimensiones de los huecos, su altura y profundidad, pero también su anchura, están siempre supeditadas a la modulación del aparejo del muro. Por otra parte, el hueco supone una perturbación del muro, lo que resulta más evidente cuanto mayor es su anchura. Aunque el hueco carece de masa, está sometido a la fuerza de la gravedad, por lo que su anchura debe salvarse con un elemento estructural adecuado (una viga o cargadero).

Los huecos en muros para ventanas, puertas o grandes vacíos se cubren con las denominadas estructuras de dintel o con arcos.

Es posible salvar huecos de hasta 1,5 m de anchura sin la ayuda de elementos constructivos complementarios. En primer lugar, en el caso de solicitaciones internas, las piezas más pequeñas pueden disponerse a la manera de estribos o contrafuertes inclinados, con lo que surge un dintel recto pero ligeramente inclinado que, como principio, se trata de un arco extremadamente plano.

Las vigas armadas o pretensadas de material cerámico u hormigón son muy eficaces. Con vigas cerámicas pueden cubrirse huecos con un mínimo gasto y del mismo material del que se compone el resto del muro.

Los arcos, en cambio, constituyen el típico procedimiento constructivo para salvar grandes luces o aberturas en las construcciones macizas y de muros. La masa y el peso del material se combinan con el principio físico de la gravedad para producir, sobre un plano y en todo su conjunto, resistencia y estabilidad: el arco es un elemento constructivo que absorbe esfuerzos a compresión pura. En un plano microscópico, la estabilidad se produce, como ya se ha dicho, mediante el ensamblaje y resistencia al rozamiento entre el ladrillo y el mortero ("efecto de adherencia").

Las grandes luces se salvan con vigas de acero o de hormigón. En las casas de ladrillo que Mies van der Rohe proyectó en la década de 1920, se hace uso de vigas de acero revestidas con ladrillos que, en cierto modo, están suspendidos, para conseguir grandes vanos y mantener la disposición horizontal de las hiladas lo más recta posible.

La posición de las ventanas en relación con la profundidad del muro es una cuestión muy importante del carácter general de una construcción de fábrica de ladrillo. El tema de la pared o del muro representan aspectos importantes del proyecto, y depende, esencialmente, de las posiciones de los extremos de la ventana, de que esté instalada a haces interiores o exteriores. O, resumiendo, de su gradación intermedia y de los matices en el interior del intradós; sobre esta cuestión, es necesario *tomar partido*.

Estratificaciones

"El muro de fábrica monolítico"

"Si los muros no tienen peso propio, si no se percibe su materialidad, si su masa tan sólo sugiere estabilidad, entonces desde mi punto de vista no son tales, pues uno no puede sustraerse a la potente impresión de su fuerza portante", dijo en una ocasión el arquitecto alemán Heinz Bienefeld.

Los muros macizos de fábrica fascinan no sólo como elemento constructivo homogéneo, donde las piezas que los componen se ligan entre sí en tres dimensiones, sino también porque pueden asumir las funciones de separar, soportar, aislar y proteger, además de la de almacenar energía térmica. Además, los potentes muros de fábrica regulan la humedad interior y hacen posible un ambiente equilibrado. Esta capacidad para asumir varias funciones

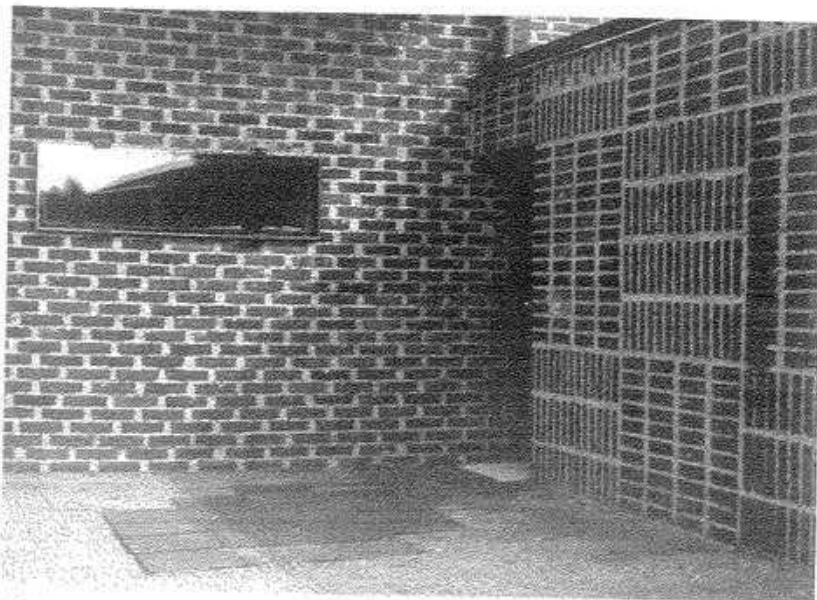


Fig. 64: Junta y aparejo empleados a menudo para crear una configuración específica
Sigurd Lewerentz: iglesia de San Pedro, Klippan, Suecia, 1966

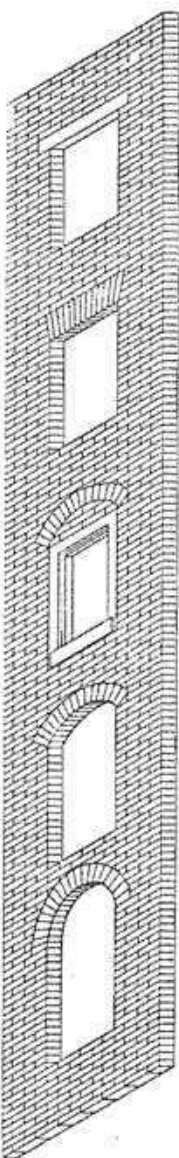


Fig. 65: Dinteles

se pone de manifiesto frente a la creciente diversificación de sistemas constructivos de muros formados por dos hojas, altamente especializadas pero cuyos componentes, actualmente y en consonancia con la época, son de una única función, de modo que, a partir del comportamiento técnico y fisicoconstructivo del muro macizo, pueden desarrollarse nuevas estrategias de proyecto.

Los impresionantes y homogéneos muros de ladrillos procuran un límite muy perceptible entre los espacios interiores y exteriores. La profundidad de los huecos de las ventanas insertadas en el muro con un potente intradós pone de manifiesto el carácter macizo de la materia, que ofrece la posibilidad de una modulación plástica, pero también la introducción en el mismo grosor del muro de exclusas espaciales.

Con los valores de aislamiento térmico exigidos para la superficie envolvente de los edificios desde finales de la década de 1970, se ha hecho prácticamente imposible construir el clásico muro macizo de fábrica vista, por lo que casi ha desaparecido. El problema del aislamiento térmico se resuelve con sistemas pragmáticos, como los denominados muros de fábrica formados por una sola pieza de material poroso, contruidos con una única capa con varias funciones, entre las que predomina su alta capacidad aislante. Ésta emerge sólo a expensas de la cualidad visual del aparejo: a causa de la difusión del vapor y de su mal comportamiento ante las inclemencias meteorológicas, los muros de una única pieza se deben revocar y sólo permiten la apertura de huecos de tamaño limitado.

El muro de fábrica de dos capas

Las exigencias de la física aplicada a la construcción hicieron proverbial la necesidad de "traspasar la fachada" y dividieron la monolítica obra de fábrica en capas independientes. El muro de dos capas, desarrollado originariamente como protección frente a las lluvias racheadas, condujo —tras la crisis del petróleo de la década de 1970 y la creciente exigencia mejorar las cualidades fisicoconstructivas de aislamiento térmico— a una nueva difusión de las construcciones de obra de fábrica. La obra de fábrica de dos hojas dispone de varios estratos, consecuentemente separados según las distintas funciones para conseguir un comportamiento óptimo de aspectos parciales, como, por ejemplo, mejor aislamiento y estanquidad, mayor esbeltez de las capas y menores costes. Ambas capas, la interior y la exterior, presentan por lo general la dimensión de una pieza. El muro exterior como elemento constructivo originariamente homogéneo, realizado conforme a las leyes inherentes a su propio carácter, a sus cualidades materiales y métodos propios de elaboración, ha desaparecido. La capa exterior vista se ve liberada de su función portante y asume el papel de un revestimiento de protección de la capa aislante y portante. Por tanto, el sistema de dos capas está constituido por dos estratos que se comple-

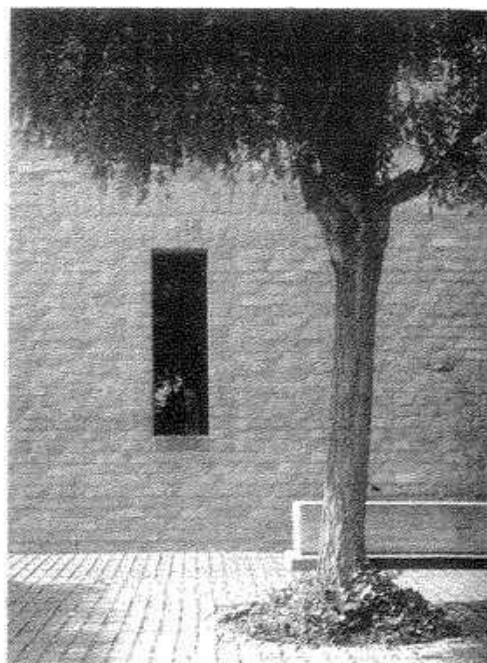


Fig. 66: Muro de fábrica con un tratamiento cerámico especial
Heinz Benefeld: casa Schütte, Colonia, Alemania, 1980

mentan y comportan cada uno como si cumpliesen una única función: proteger, aislar y soportar.

Con ello, surgen nuevas posibilidades de configuración, determinadas por el material y el sistema constructivo. Precisamente, las delgadas hojas exteriores de ladrillo pueden mostrarse únicamente como revestimiento arquitectónico. Las juntas de dilatación articulan la fachada y la dividen en diferentes áreas, mientras que la ausencia de pilares revela de modo directo que se ha liberado de las pesadas cargas del edificio. El entretejido original de todo el conjunto se disuelve.

Los sistemas constructivos de dos hojas pueden ser especialmente interesantes si, con el desarrollo independiente de las esbeltas capas de ladrillo, surgen nuevos espacios con cualidades arquitectónicas específicas. Desde el punto de vista climático, tales espacios constituyen una zona intermedia que, por supuesto, puede desempeñar una función de amortiguación climática.

Mejoras de índole práctica han conducido al "aislamiento exterior". La capa exterior del muro desaparece y se sustituye por una de enfoscado.

El aparejo en el muro de fábrica de dos hojas

Debido a la descomposición del muro en dos hojas delgadas por motivos económicos, ya no puede jugarse con muchas de las posibilidades que proporcionaba el aparejo en las obras de fábrica de dos capas, ya que el muro visto que mejor comportamiento tiene es el que está construido con piezas colocadas a soga, con un grosor de sólo medio pie. Esto significa que un edificio actual de varias plantas no puede presentar un muro exterior continuo y



Fig. 67: Muro de fábrica macizo sin aislamiento adicional
Beath & Deplazes: galería de arte contemporáneo, Marktoberdorf, Alemania, 2001

portante de fábrica vista. Sin embargo, en edificios de una sola planta es posible erigir muros macizos de aparejo (véase la casa Wolf de Hildundk, fig. 62) y aislarlos interiormente. Por otro lado, también existe la posibilidad de no trabar la hoja exterior, que siempre se refiere a las tres dimensiones, y darle tan sólo la apariencia de un muro macizo, como se muestra en la guardería de Hans Kollhoff y Helga Timmermann, en Fráncfort del Oder.

El muro visto de fábrica y el estándar moderno de energía

Las cualidades del muro macizo de fábrica sólo pueden alcanzarse parcialmente en una envolvente del edificio descompuesta en capas. Las juntas de dilatación dividen la capa exterior no portante en segmentos, por lo que la ventaja que muestra la cualidad maciza del muro exterior (incluso no portante), es la mayoría de las veces insatisfactoria. Durante los últimos años se han desarrollado renovadas estrategias para realizar muros macizos de obra de fábrica vista.

Por una parte se pretende aunar la calidad del muro de fábrica visto, en lo que se refiere a su superficie y su aparejo, con las ventajas del comportamiento óptimo desde el punto de vista térmico del muro formado con una sola pieza (véase, en el capítulo "Obras seleccionadas", el ejemplo del edificio MFH en la Martinbergstrasse de Baden de Burkard Meyer Architekten). Este método aún no se utiliza intensivamente, ya que deben aparejarse y adaptarse entre sí dos formatos de piezas distintos.

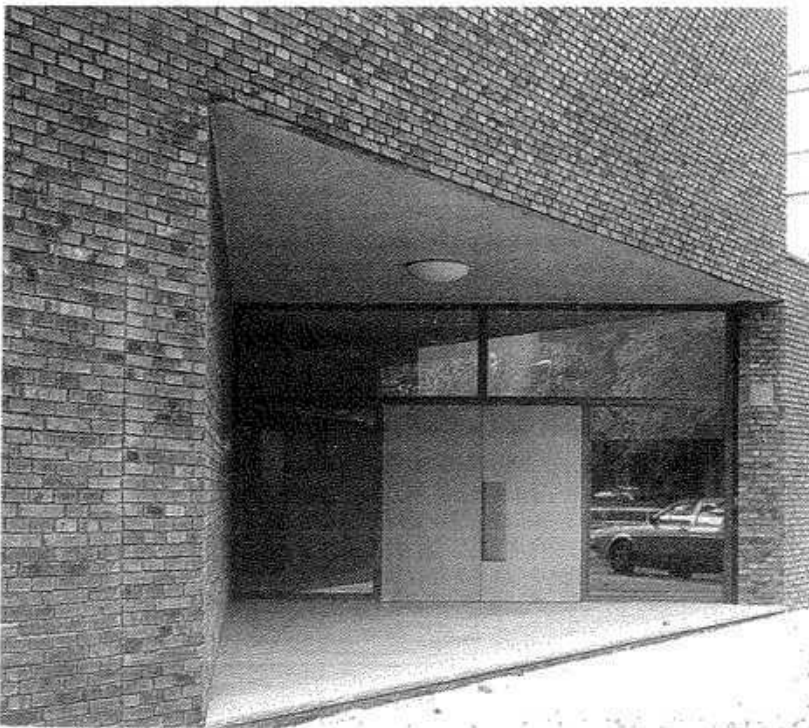


Fig. 68: La imagen de un aparejo belga en una obra de fábrica de dos capas
Hans Kollhoff y Helga Timmermann: guardería, Fráncfort del Oder, Alemania, 1994

Otra estrategia consiste en aprovechar el muro macizo como acumulador térmico e integrar los tubos de calefacción en el zócalo del mismo. De este modo es posible realizar un muro de fábrica visto que no necesita aislamiento (véase, en el capítulo "Obras seleccionadas", la galería de arte contemporáneo en Marktoberdorf, de Beath & Deplazes).

El potencial creativo y las estrategias de proyecto

Tanto quienes proyectan una obra de fábrica vista como quienes la ejecutan, deben exigirse una gran disciplina. Cualquier arbitrariedad o incongruencia se pone en manifiesto con despiadada claridad y no puede ocultarse. Proyectar y construir con ladrillo visto requiere una idea arquitectónica precisa, donde desde un principio, y como parte esencial del proceso del proyecto, se configuren tanto las posibilidades constructivas y formales del material como su sólida elaboración artesanal.

Pese a la aparente limitación de los medios disponibles, el gran potencial formal de la obra de fábrica radica en la indudable claridad de la relación de las partes entre sí, dentro de un todo ordenado, coherente y solidario.

Su puesta en obra no deriva de la configuración de una masa, sino de un proceso constructivo aditivo que consiste en conjuntar pequeñas unidades, módulos que se van superponiendo y que se colocan uno al lado del otro. Sobre la base de una precisa colocación geométrica puede desarrollarse una gran riqueza formal, cuya cualidad sensorial está estrechamente ligada a la elaboración y a las huellas dejadas por el trabajo artesanal. En palabras de Fritz Schumacher: "El ladrillo no tolera una existencia abstracta y obliga incesantemente a una consideración y un quehacer precisos. Quien trabaja con él tendrá siempre la impresión de estar en contacto directo con la obra en construcción".⁹

Muchas de sus posibilidades formales residen en el efecto que puede producir la superficie del material. Una interrelación apacible de su superficie y de su masa confieren al relieve del muro de fábrica el efecto máximo producido por su carácter propio, una expresión de firmeza, estabilidad y compacidad, pero también de permanencia y durabilidad. No obstante, el entretejido de juntas transmite la imagen de una estructura ornamental compuesta de pequeños elementos; un entretejido que otorga al muro de fábrica unas cualidades que son, sobre todo, textiles.

Lo pequeño dentro de lo grande

El ladrillo pertenece a una antigua tradición que remite a virtudes como la autodisciplina y el ahorro, a una arquitectura de la materia y de la durabilidad. El muro de fábrica visto muestra en su constitución estructural un sistema de reglas claras y racionales, basadas en el sólido fundamento del conocimiento y de la experiencia.

La imagen del muro de fábrica es la de su realización, así como de la directa conjunción, en precisas y palpables

dimensiones, de pieza y junta. La relativamente pequeña pieza convence por la universalidad de sus funciones, pues puede asumir no sólo su papel de separar, soportar o proteger, sino también el de articular, estructurar y ornamentar. Las fachadas cobran vida gracias al arcaísmo y a la resistencia al envejecimiento de este material cerámico, a su tratamiento artesanal y a una adecuada relación material entre muros y huecos.

Un muro de fábrica visto permite un trabajo explícito sobre conceptos como estructura, construcción y ensamblaje. La superficie de la arquitectura "habla" casi con voz propia, y permite desvelar la lógica y el vivo, pero también complejo, juego organizativo de su trazón. Son precisamente las limitaciones del material las que determinan su potencial, e incluso su éxito milenario.

Para concluir, resultan muy apropiadas las palabras de Mies van der Rohe, pronunciadas con motivo de su toma de posesión como director del departamento de Arquitectura del Armour Institute of Technology (AIT) de Chicago: "También podemos aprender del ladrillo. ¡Qué acertada es esta pequeña forma, tan útil para cualquier fin! ¡Qué riqueza tiene el paño de muro más simple, pero ¡qué disciplina impone este material!"¹⁰

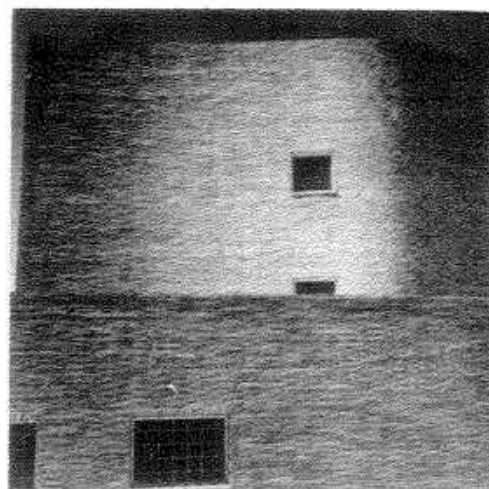


Fig. 69: Efecto plástico de la superficie del muro
Alejandro de la Sota: casa Arvesó, Madrid, España, 1955

Notas

¹ Normativa suiza: SIA Norma V177, *Mauerwerk*, edición de 1995. Corresponde a la nueva SIA 266/2003, 266/1-2003. Véase también: DIN V105-1, DIN V105-2, edición de 2002 y DIN 105-3, 105-4, 105-5, edición de 1984.

² W AA, *Wasmuths Lexikon der Baukunst*, Wasmuth, Berlín, 1931.

³ Ramcke, Rolf, "Mauerwerk in der Architektur", en Pfeiffer, Günter, Ramcke, Rolf, et al., *Mauerwerk Atlas*, Birkhäuser, Basilea, 2001.

⁴ Ramcke, Rolf, "Mauerwerk in der Architektur", en Pfeiffer, Günter, Ramcke, Rolf, et al., *Mauerwerk Atlas*, Birkhäuser, Basilea, 2001.

⁵ Schumacher, Fritz, *Zeitraum der Architektur*, Eugen Diederichs, Jena, 1929.

⁶ Ramcke, Rolf, op. cit.

⁷ Ibid.

⁸ Volgt, Wolfgang, *Heinz Benefeldt 1926-1985*, Wasmuth, Tübinga, 1999.

⁹ Schumacher, Fritz, *Das Wesen des neuzeitlichen Backsteinbaus* [1917], Callwey, Múnich, 1985.

¹⁰ Mies van der Rohe, Ludwig, discurso de ingreso como director del departamento de Arquitectura del Armour Institute of Technology (AIT), 20 de noviembre de 1938, en Johnson, Philip, *Mies van der Rohe, The Museum of Modern Art*, Nueva York, 1947, pág. 193 (versión castellana incluida en Puente, Mislés, "Casa Lemke", en 2G, 45-48 [Mies van der Rohe: Casas], 2009, pág. 156).

Sistemas constructivos

Compartimentación

El sistema constructivo de espacios compartimentados constituye un desarrollo típico de la construcción con obra de fábrica. Por tal denominación se entiende aquí un sistema de espacios dispuestos unos junto a otros y cerrados por todos sus lados, que se conectan entre sí y con el exterior sólo a través de huecos individuales (puertas, ventanas). Por diferentes motivos, la apariencia de un edificio construido según este sistema resulta en la mayor parte de los casos semejante a la de las "construcciones con cajas". Al menos guarda relación con su forma cerrada exteriormente y con su sencillo contorno cúbico. El sistema de espacios compartimentados aprovecha al máximo las posibilidades del muro de fábrica: todas las paredes pueden soportar regularmente las cargas del edificio, arriostrarse entre sí y, con ello, reducir sus dimensiones (en la medida en que éstas se derivan de su función portante). Sin embargo, las posibilidades de la planta son limitadas,

se sobre relaciones espaciales mínimas pero esenciales, y de acuerdo con el programa espacial del proyecto;

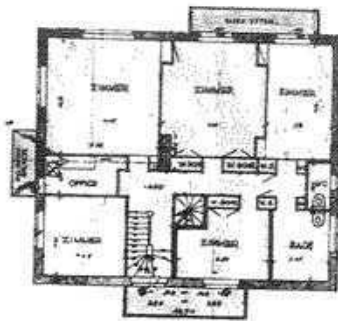
- los huecos no deben situarse en muros de carga cualesquiera, sino que deben limitarse y adecuarse a las condiciones estructurales de éstos.

Desde luego, en la actualidad no existe la obligatoriedad de utilizar un número restringido de materiales, pues las posibilidades constructivas de que se dispone son casi ilimitadas, siendo a menudo las cuestiones económicas las que empujan a tomar determinadas decisiones.

En la medida en que las condiciones de los sistemas de espacios compartimentados descansan en el campo de lo constructivo, las casas se caracterizan por una extraordinaria claridad, tanto en la organización interior como en su configuración exterior. Si se data el fin provisional de la forma de construir compacta con espacios compartimentados dentro de una observación positiva, en la década de 1930 (sin tener en cuenta los desarrollos posteriores a 1945), se encuentran varios ejemplos destacados, sobre todo en el campo de las casas y villas burguesas de aquella época. Después de la II Guerra Mundial, diferentes desarrollos introdujeron variaciones en el tema. El principio de espacios compartimentados se disuelve espacialmente, sobre todo porque en la obra de fábrica se cuenta con formas pequeñas y mínimas combinadas, y existe un extrañamiento experimental de la misma, hasta llegar a formas combinadas con otros sistemas constructivos.



Fig. 70: La compartimentación como principio: vista frontal (arriba) y planta primera (a la derecha)
Adolf Loos: casa Moller, Viena, Austria, 1928



El sistema de espacios compartimentados es la más antigua de las aquí expuestas. La obligatoriedad de un uso restringido de los materiales disponibles, condujo, durante siglos, al desarrollo y consolidación de este modo de construir dentro de los correspondientes contextos arquitectónicos (aparte de la obra de fábrica construida por capas, hasta el siglo XIX también se conoce el entramado, y para forjados y cubiertas, las vigas de madera). En el pasado, no obstante, no se aprovechaban al máximo sus posibilidades, debido a que empleaban sistemas de forjados unidireccionales con vigas de madera. Hoy, las losas de hormigón armado, que en casos normales soportan cargas irregulares, proporcionan una posibilidad de aprovechamiento óptimo.

Los siguientes criterios ejercen una considerable influencia en lo que se refiere al orden y a la disciplina de un proyecto arquitectónico de obra de fábrica:

- limitar la profundidad y orientación de la planta;
- de ello depende el sistema de vigas horizontales, al menos en una dirección (por ejemplo, las vigas de madera pueden salvar una luz máxima de 4,5 m);
- también depende de ello (de la profundidad y orientación de la planta), el encaje de las superficies construidas en las plantas superiores, que deben organizar

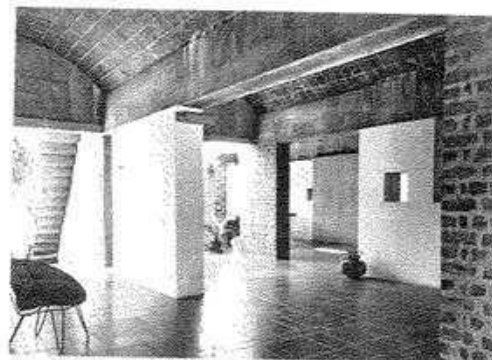
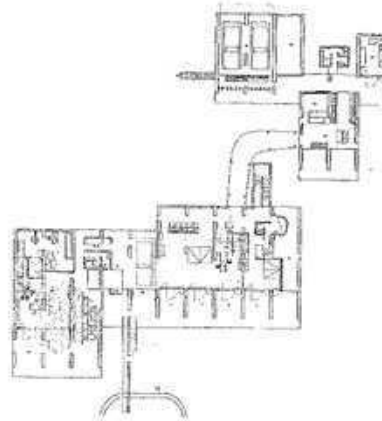


Fig. 71: Paredes y tabiques como principio determinante de la organización de la vivienda
Le Corbusier: villa Sarabhai, Ahmedabad, India, 1955

Paredes y tabiques

Bajo la denominación de paredes y tabiques (sistema de paredes y tabiques), se entiende la organización sucesiva y en paralelo de varias o muchas paredes de carga o portantes, que ponen en relación un gran número de espacios semejantes. Los espacios dispuestos en una hilera regular o repetidos, o los edificios colocados siguiendo una orientación determinada, han jugado precisamente un papel esencial en el deseo creciente de aprovechar mejor la luz solar o ciertas perspectivas, unido todo ello a los esfuerzos por llegar a alcanzar una tipología estética, económica y técnicamente sencilla. De hecho, el sistema de paredes y tabiques proporciona una imagen de monotonía debido a cómo se estructuran sus elementos. Pero la sucesión en hilera de los elementos se reconoce sobre todo como un principio de orden estético.

Desde el punto de vista constructivo, el sistema de paredes y tabiques se entiende como un sistema compuesto de paredes portantes, dispuestas transversalmente al eje longitudinal, que apoyado en la unión solidaria de los forjados, se estabiliza por medio de paredes de atado longitudinales. Un sistema puro de paredes y tabiques resulta cuestionable debido a su escasa rigidez. Por ello, a menudo se combina con otras categorías constructivas (cajas y placas estructurales).

Los aspectos expuestos a continuación restringen los sistemas de paredes y tabiques a determinadas tareas constructivas y, asimismo, su grado de aplicación:

- la limitación del ancho de la casa y de las habitaciones a causa de la luz máxima posible, predeterminada por la idoneidad del material o por la economía (como en los forjados unidireccionales);
- la dificultad de que las paredes portantes interiores presenten unas cualidades aislantes buenas y semejantes a las del muro macizo (separación o independencia de las unidades espaciales compartimentadas);
- unas paredes exteriores sin limitaciones constructivas, con una captación máxima de la luz, posibilidad de plantas más profundas y una relación adecuada entre la fachada y la superficie de la planta.

Los primeros ejemplos de sistemas de paredes y tabiques empleados consecuentemente proceden de arquitectos que justamente querían alejarse de principios tan eviden-

tes: las grandes *Siedlungen* de la década de 1920, de Bruno Taut, Martin Wagner o Ernst May, que estuvieron influenciadas por los métodos de producción industrial.

Placas estructurales

A diferencia de los elementos constructivos que configuran el sistema de paredes y tabiques, cuya adición es paralela, en el sistema de placas estructurales partimos de una libre colocación de las paredes situadas bajo la estructura portante horizontal (el forjado o la cubierta).

Sin que estas placas compongan recintos totalmente cerrados (a modo de cajas), surgen así espacios configurados en parte por paredes portantes (placas), y en parte por elementos no estructurales (por ejemplo, una mampara de vidrio).

Condición indispensable son las estructuras horizontales, que pueden responder adecuadamente a las diferentes condiciones estáticas, descargando y transmitiendo las fuerzas horizontales.

Así pues, pueden establecerse dos criterios fundamentales:

- no es posible incorporar un modo de conexión espacial fluida y de huecos, como en el sistema rígido de paredes y tabiques, pero en particular en el de placas estructurales;
- limitación técnica respecto a la idoneidad de esta estructura para el muro de fábrica como material. Con la libre disposición de las placas aparecen forzadamente problemas de compresión en los cantos, en los frentes de las paredes o en zonas específicas donde se concentran las cargas, que pueden ser absorbidas y desviadas por la estructura horizontal. Por tanto, tan solo en casos especiales es posible configurar un sistema libre con muros de fábrica homogéneos (con posibilidad de variación en el grosor de las paredes y los pilares).

A pesar de ello, existe el deseo y la posibilidad de entender los edificios no como una forma cerrada, sino como una sucesión de secuencias espaciales y relaciones entre el espacio exterior y el interior. Frente a exigencias funcionales e intenciones formales, y en lo que constituye su verdad esencial, la pared hace posible retrotraernos, hasta los comienzos de la construcción moderna en lo que se refiere a sus diferentes formas de expresión.

Con toda seguridad, Frank Lloyd Wright es el catalizador de esta evolución, pues en sus "casas de la pradera", como denomina a sus primeras obras, es capaz de plantear complejos gradientes espaciales: las habitaciones, bajas y muy amplias, fluyen y continúan unas en las otras sin interrumpirse, y las terrazas y jardines también se funden entre sí.

Un bello ejemplo se encuentra en el proyecto de Mies van der Rohe, la casa de campo de ladrillo de 1923 (véase el artículo, "Obra de fábrica; aparejos"). En esta casa, Mies van der Rohe conjuga reglas de composición plásticas, con principios orgánicos propios de Frank Lloyd



Fig. 72: Espacio continuo y fluido
Marcel Breuer: casa Robinson, Williamstown
(Massachusetts, Estados Unidos, 1948)

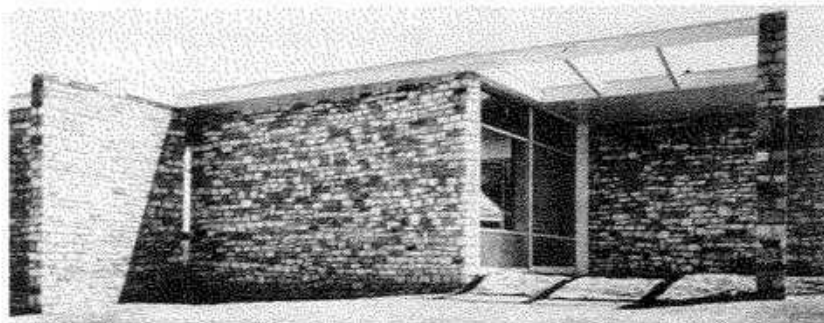


Fig. 73: Los huecos son estructurales y se derivan de la organización de las placas, que también son estructurales
Marcel Breuer: pabellón Gane, Bristol, Reino Unido, 1936

Wright, con el edificio que se confunde con el paisaje. La planta se deriva totalmente de las funciones. Los espacios se configuran mediante paredes ensambladas, cerradas, rectas y en ángulos rectos, que se perfilan como elementos formales y, prolongándose, conectan en el terreno la casa con el entorno. En lugar de las ventanas insertadas en el muro, propias de los sistemas con espacios compartimentados, los huecos se crean al suprimir partes completas de las paredes.

Otros ejemplos se encuentran en la obra de Richard Neutra y Marcel Breuer, representantes del estilo internacional. La reducción del muro a un elemento constructivo de descarga en toda su superficie, cuyas tareas cumple por completo más allá de constituir la envolvente espacial del edificio, es arcaica y moderna a la vez.

Debe constatar que el purismo formal que presentan con frecuencia los protagonistas del movimiento moderno, es cada vez menor. Lo normal y vigente es que permanezca la combinación de más de un sistema.

Una célula puede producir un efecto de cohesión y estabilizador (tanto en un sentido funcional como, incluso, psicológico). Las paredes y tabiques pueden utilizarse para crear espacios semejantes. Finalmente, las placas estructurales normales o las dispuestas en ángulo, configuran elementos libres que pueden incluso prolongarse y ocupar el espacio exterior.

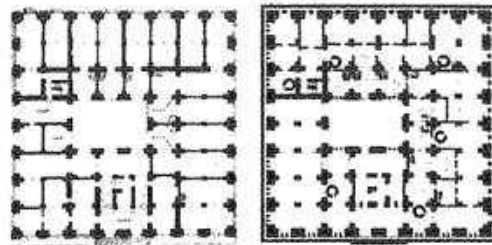
Los incendios llegan sólo hasta la altura de los arcos planos que atan las diferentes bóvedas de fábrica que cubren cada tramo espacial. El sistema de pilares aparece como una estructura totalmente continua tan sólo en las paredes exteriores. Nos encontramos ante un edificio sin paredes portantes. Hubiera podido ser extraordinariamente instructivo contemplar la obra en bruto: debía tener un carácter impresionante.

Como riostras se emplearon anclajes de hierro forjado y arcos de ladrillo que atan los pilares en todas las direcciones. El concepto del sistema constructivo reticular ya está esbozado, pero no se lleva hasta sus últimas consecuencias. A su vez, en la Bauakademie, Schinkel extrae las máximas posibilidades expresivas del ladrillo como material, si bien, comparado con los materiales moldeables, sintéticos y resistentes al pandeo que se utilizan actualmente en las modernas estructuras reticulares (de hormigón armado, acero, madera o materiales derivados de ésta), una estructura de obra de fábrica presenta una limitación extrema. Gracias al deseo de Schinkel de aprovechar al máximo las posibilidades de un material tradicional como el ladrillo, alcanza una increíble unidad conceptual, tanto en el plano formal como en el espacial, en el técnico y en el del uso del material.

Sin embargo, el sistema constructivo elegido arrastra grandes problemas de asentamiento, a causa del irregular subsuelo, por lo que los pilares deben absorber esfuerzos a compresión muy diferentes. Flaminio describe las dificultades planteadas: "Ya no existen largas paredes continuas con huecos pequeños, o incluso sin ellos, en las que descansa el peso del edificio y donde la cohesión de la obra de fábrica absorba un momento tan considerable que contrarreste el pequeño esfuerzo horizontal producido por cada pequeña abertura; toda la carga se reparte sobre un sistema de pilares de sección relativamente pequeña, sometidos en diferentes puntos de su altura a múltiples e importantes esfuerzos de compresión que actúan en distintas direcciones [...]. Sólo pudieron insertarse paulatinamente las ventanas, con sus arcos, dinteles y antepechos, y colocarse todo el fino material de revestimiento de las cornisas y ornamentos, una vez que los pilares (recibiendo todo el peso vertical que debían soportar y alcanzando a su vez su máxima altura), habían adquirido un grado de estabilidad considerable. Sólo así fue posible asentar el edificio o sus partes individuales, si bien no se pudo evitar que se resintiesen aquellos elementos sometidos en su mayor parte a esfuerzos de compresión irregulares y en los cuales el mismo efecto producido tenía que ser, por fuerza, visiblemente llamativo".



Fig. 74: Reducción de la estructura
Karl Friedrich Schinkel: Bauakademie (destruida),
Berlín, Alemania, 1836



La Bauakademie de Karl Friedrich Schinkel: ejemplo de una construcción en retícula

Un minucioso estudio de las plantas de la Bauakademie de Berlín (hoy desaparecida), muestra hasta qué punto Schinkel fue capaz de dar respuesta a las exigencias de espacio reales impuestas por una retícula de pilares. Schinkel no tuvo, por motivos económicos, la posibilidad de crear espacios exentos como los que contempló y le maravillaron en su viaje a Inglaterra de 1826. Las fábricas prusianas no estaban en condiciones de suministrar sistemas constructivos que permitieran la superposición de forjados de grandes luces. Por ello, se vio obligado a realizar una estructura de pilares de fábrica y bóvedas rebajadas.

La Bauakademie de Schinkel se basa en una retícula de $5,5 \times 5,5$ m. En los puntos de intersección se encuentran los pilares de fábrica de ladrillo que, como era habitual en los edificios de la época, se adelgazan a medida que se asciende de planta y sirven como elementos de apoyo de los forjados. Los pilares de esta estructura an-

Prefabricación

Kornelia Gysel,
Barbara Wiskermann

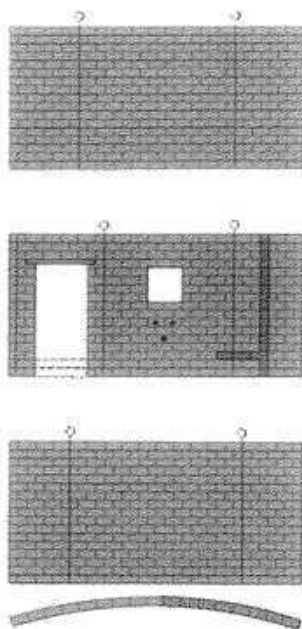


Fig. 75: Modelos de distintos elementos de obra de fábrica
Ejemplo de elementos constructivos sacados del catálogo del suministrador suizo Preton

Racionalización dentro de la tradición artesanal

En los últimos años, y para poder competir económicamente con otros sistemas constructivos, la industria del ladrillo ha impulsado la prefabricación, pues la tradicional construcción de obra de fábrica, cuyo carácter procede de su colocación artesanal en la propia obra, requiere mucho tiempo. Además, la calidad de un muro depende siempre en gran medida de su correcta ejecución artesanal y de la climatología. Existen empresas de prefabricación industrial que proporcionan las placas estructurales requeridas para la construcción del edificio. Están dotadas de armaduras y son adecuadas para el transporte y su manejo con la grúa. Tales elementos constructivos incluyen los huecos y los conductos para las instalaciones.

Este sistema constructivo permite una exacta planificación de los tiempos del proceso constructivo, un ahorro de maquinaria en obra, así como una reducción de su duración, haciéndola menos dependiente del clima. Además, los elementos constructivos pueden suministrarse ya secos. Como contrapartida, la prefabricación exige una planificación muy exacta, así como potentes grúas para el montaje. Además, deja poco margen para adaptaciones o ajustes constructivos posteriores.

Los elementos prefabricados de muro de fábrica pueden fabricarse de muy distintas maneras: "convencionalmente", compuestos de piezas y mortero; o bien colocándolos en un encofrado, con una armadura y hormigón vertido. Las piezas de ladrillo están provistas a veces de rebajes para las armaduras. Se pueden combinar también partes del muro de fábrica realizadas en obra con otras piezas prefabricadas, por ejemplo el intradós de un hueco circular, o dinteles en forma de arco, que se introducen en el muro construido convencionalmente.

En general, puede afirmarse que, debido a los elevados costes de mano de obra de un trabajo que requiere una ejecución artesanal esmerada, para conseguir la adecuada conjunción de pequeñas piezas en un aparejo de calidad, la obra de fábrica convencional se ve sustituida por el montaje de placas de muro, pesadas y de gran formato. Naturalmente, el objetivo es limitar la variedad de elementos con formas muy diferenciadas, de modo que el grado de normalización es alto. Esto plantea un nuevo problema: los derivados de la unión entre los elementos, es decir, de las juntas horizontales y verticales entre las distintas placas de muro prefabricadas.

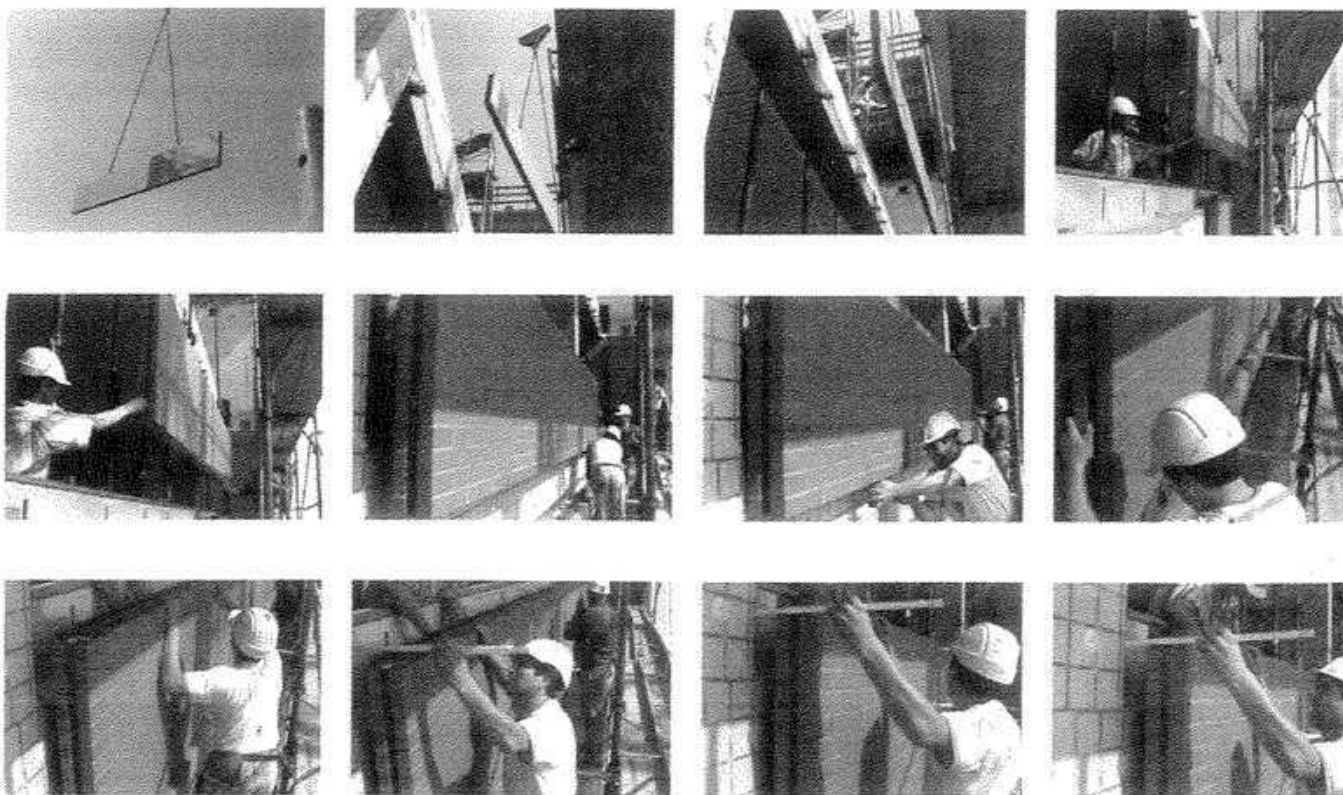


Fig. 76: Montaje de la fachada con elementos prefabricados Preton
Rascacielos Swisscom, Burkard Meyer Architekten, Winterthur, Suiza, 1999



Fig. 77: Fachada compuesta de tres elementos tipo prefabricados
Burkard Meyer Architekten: rascacielos Swisscom, Winterthur

Dos ejemplos contemporáneos

Burkard Meyer Architekten: rascacielos Swisscom, Winterthur

Toda la fachada de este edificio, acabado en 1999, está construida con tres elementos tipo diferentes que se adaptan a la retícula de 5,6 m. Se trata de bandas de ventanas con antepecho, placas de cerramiento ciegos o cajas de ventanas. Salvo los frentes de forjado de hormigón armado, todos los elementos ciegos de la fachada son muros de fábrica de clinker. Estos elementos están armados y presentan una ranura a lo largo de su junta vertical. La unión entre los diferentes elementos se efectúa mediante bandas de goma encajadas en las ranuras, con ello se evitan las juntas de silicona expuestas a la intemperie. Los elementos se anclan por su parte superior, y se fijan con pernos en su parte inferior, sujetos en los cantos del forjado. Las juntas horizontales, cuyo grosor es de un 2 cm, al igual que las verticales, no están selladas para permitir la ventilación de los elementos de la fachada.

Los elementos de la fachada se componen de ladrillos de $24,4 \times 11 \times 5,2$ cm, producidos especialmente para este edificio (con dimensiones óptimas para los detalles en esquina, etc.). Se montaron en taller manualmente en un armazón específico, de modo que en la dirección de obra presenta la ventaja de que no depende de las condiciones meteorológicas, pues permanecen un año, durante la duración de la obra, en la propia nave donde se construyeron y, además, la responsabilidad de la calidad de la ejecución recae en la empresa suministradora.

Desde un principio los arquitectos procuraron concebir el mayor número de elementos de la obra como módulos prefabricados. Salvo el núcleo de hormigón vertido in situ, la estructura portante se compone de pilares, vigas y losas prefabricadas de hormigón armado. No se trata de una prefabricación pesada, que pudiera hacer pensar en los edificios de grandes paneles prefabricados construidos en Europa del Este, cuyos elementos de la pared exterior se montan acabados (con una cáscara portante, aislamiento térmico y un cierre espacial interior), sino del ensamblaje de elementos prefabricados en la propia obra; es decir, un sistema constructivo compuesto de elementos complementarios. Se decidió reducir los elementos de la fachada a tres elementos fundamentales, lo que unido a la prefabricación realizada en taller, y a la consiguiente racionalización del proceso constructivo, presentó ventajas no sólo logísticas y técnicas, sino también económicas.

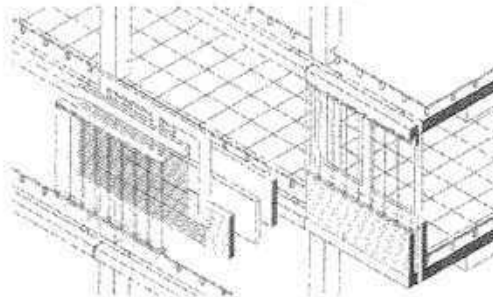


Fig. 79: A la izquierda, la superposición aditiva de los distintos elementos individuales; a la derecha, los elementos una vez acabado su montaje en obra
Rascacielos Swisscom, axonometría de la fachada

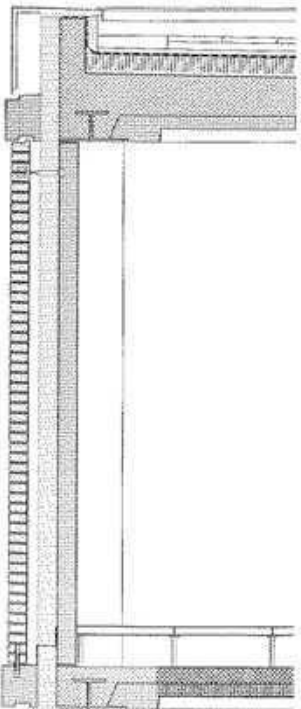


Fig. 78: Sección a través de la placa prefabricada de la fachada
Burkard Meyer Architekten: rascacielos Swisscom, Winterthur, Suiza, 1999

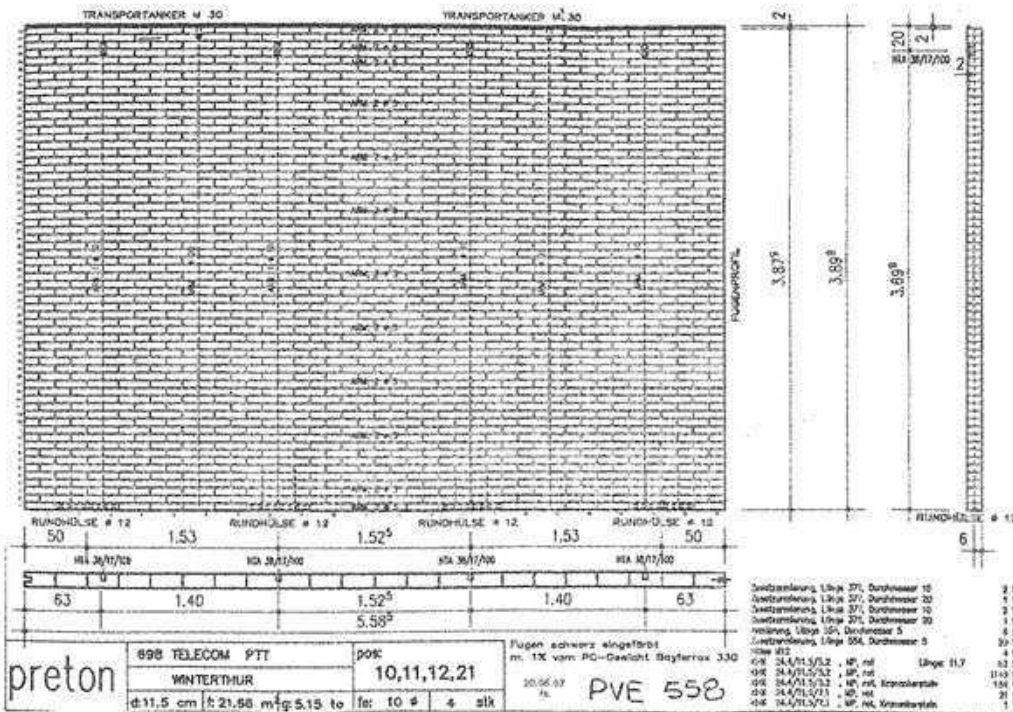


Fig. 80: Plano de ejecución de un elemento prefabricado
Burkard Meyer Architekten: rascacielos Swisscom, Winterthur, Suiza, 1999

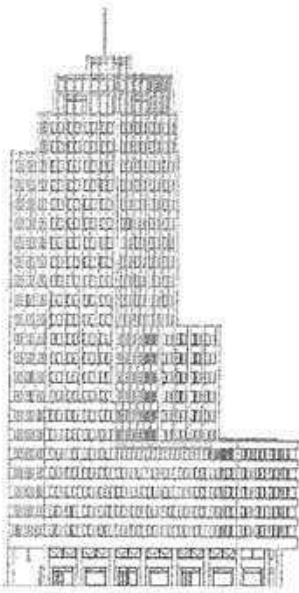


Fig. 81: Alzado este articulado verticalmente en cinco partes diferenciadas: el zócalo, un bloque de mayor anchura, una zona intermedia, una parte desarrollada como torre y la coronación.

Hans Kollhoff: rascacielos en Potsdamer Platz, Berlín, Alemania, 1999

Hans Kollhoff: rascacielos en Potsdamer Platz, Berlín

Originalmente se pensó en fabricar in situ el aparejo flamenco de ladrillo para esta fachada de 100 m de altura. En este caso, cada albañil hubiera tenido que disponer de una gran cantidad de piezas de distintos colores y formatos sobre un andamiaje de 100 m de altura y de una gran extensión en anchura. Debido al peso de los ladrillos, a las instalaciones necesarias para su elevación y para la seguridad laboral, hubieran hecho muy costoso el montaje de esa estructura, y muy cara su permanencia durante todo el desarrollo de la obra. Ante el tamaño del edificio y la compleja logística sobre la imponente obra de Potsdamer Platz, los arquitectos decidieron utilizar elementos prefabricados para el revestimiento del edificio. Sobre la obra en bruto, erigida como una estructura convencional de esqueleto de hormigón, se aplicó la capa de aislante, después se fueron montando los elementos prefabricados de la fachada y, por último, se colocaron las ventanas sobre los marcos dispuestos previamente para su montaje.

La fachada se concibe como una composición tectónica formada por diversos elementos individuales, como

antepechos, revestimientos de pilares, pilastras y travesas. Gracias a la graduación de su profundidad y a la definición parcial de perfiles, se origina un efecto macizo y plástico que causa una impresión similar a los edificios de obra de fábrica. La concepción del relieve de la fachada se utiliza con gran elegancia, de manera que las necesarias juntas elásticas quedan ocultas por el solape de los elementos constructivos. El gran número de elementos prefabricados necesarios para realizar la fachada se debe, por una parte, a que su planta no es rectangular y, por otra, a que se articula en cinco partes diferenciadas: el zócalo, un volumen de mayor anchura, una zona intermedia, una parte desarrollada como torre y la coronación.

La fabricación de los elementos fue compleja. Para minimizar las tolerancias se emplearon encofrados de acero sobre los que se colocaron matrices tridimensionales de goma con una conformación exacta para la reproducción de las juntas. Gracias a ello, las piezas de clinker demediadas, que constituyen la cara más externa de los elementos, pudieron colocarse con gran precisión en el encofrado. En un primer paso se procedió al vertido del hormigón oscuro de las juntas. Sobre esta "costra" todavía inestable se colocó la armadura y se relleno el molde con hormigón normal. La superficie porosa del clinker permite una unión indisoluble entre la "costra" protectora del ladrillo y el "núcleo" que estabiliza del hormigón. Para sugerir la imagen de una obra de fábrica, en todos los elementos de esquina se utilizaron piezas en ángulo demediadas de clinker.

Los ladrillos de clinker no tienen pues ninguna función estática, sino que sólo suponen una capa de protección de la estructura de hormigón. Por otra parte, ejemplifican la audacia humana, la idea de erigir una torre con miles de pequeñas piezas microscópicas (tal vez por eso la elección del aparejo flamenco, o gótico en Alemania). Y, paradójicamente, remiten también a la imagen de lo portante, producen un efecto de plasticidad en la fachada que no debe entenderse como un mero "revestimiento" superficial.

Dado que el ladrillo es un material poco adecuado para estructuras portantes de gran altura, a causa de su limitada capacidad para absorber esfuerzos de compresión (el edificio más alto con muros portantes de ladrillo, el edificio Monadnock en Chicago, con 18 plantas, presenta en su planta baja muros de 2 m de grosor), el empleo de elementos cerámicos prefabricados para la fachada representa una solución adecuada para edificios en altura.

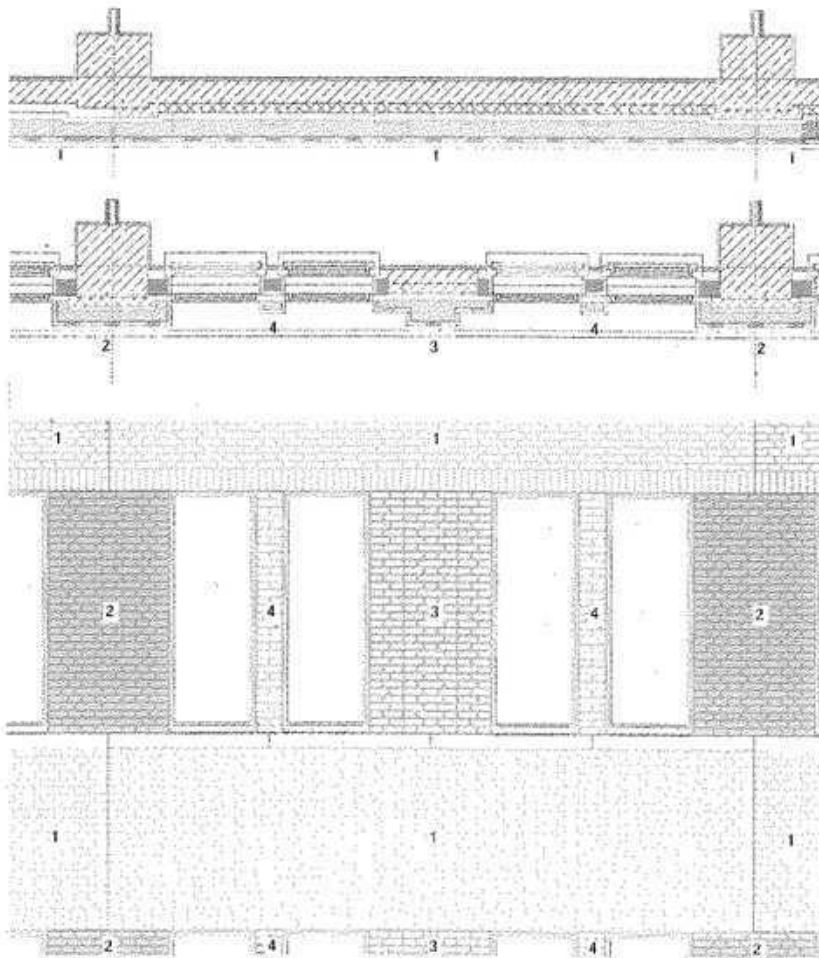


Fig. 82: Detalles del revestimiento de fachada en el bloque de mayor anchura del edificio: sección horizontal por el antepecho, sección horizontal por las ventanas y alzado de las ventanas con los elementos individuales colocados y las juntas. 1 antepecho, 2 revestimiento de los pilares, 3 pilastra, 4 travesas

Hans Kollhoff: rascacielos en Potsdamer Platz, Berlín, Alemania, 1999



Fig. 83: Prefabricación digital en la ETH de Zürich

Piezas de una pared para la bodega Gartenbein en Fläsch (Suiza), obra de Bearth & Deplazes.

Producción digital

La completa mecanización del proceso constructivo de la obra de fábrica debe entenderse como una expresión máxima y una consecuencia lógica de la prefabricación.

En la cátedra de Arquitectura y Fabricación Digital de la ETH de Zürich, Fabio Gramazio y Matthias Kohler experimentan desde 2005 dentro del ámbito de la fabricación mecánica de elementos de obra de fábrica. En el marco de este trabajo científico, en las naves de la ETH han surgido intentos que abren nuevas perspectivas y prototipos de piezas de obra de fábrica realizadas totalmente mediante procedimientos digitales. Un robot construye fragmentos de muro pieza a pieza, guiado por una programación preestablecida y colocándolas con exactitud en el ángulo y en la posición correspondiente. La colocación controlada de las piezas da lugar a una superficie que, desde los puntos de vista plástico y formal, sobrepasa con creces en precisión, expresividad y compacidad la calidad constructiva de la obra de fábrica clásica.

Se trata de una técnica en la que se alcanza un rendimiento máximo con el mínimo gasto en fuerza de trabajo. Mediante el cambio tecnológico de la colocación del ladrillo y el trabajo realizado en un ámbito protegido como el del taller, se modifican factores ya determinados. Es perfectamente posible pensar que los robots puedan introducirse en la industria del ladrillo y, en consecuencia, que una nueva tecnología aporte cambios sustanciales en el campo de la industria de los materiales de construcción, porque, en definitiva, modificaría la tradicional relación entre el artesano y la obra.

El objetivo de estos desarrollos consiste en un enlace de las cualidades más sencillas y transmisibles del trabajo artesanal con las más modernas tecnologías. De la combinación surge un valor añadido que sobrepasa la mera eficiencia. La producción digital satisface sus fines no sólo en el plano económico, por el ahorro de tiempo y trabajo, sino también por su grado de precisión, que posibilita conseguir nuevas dimensiones con la técnica ancestral de la construcción con ladrillo. La complejidad alcanzada en la posición de las piezas para la composición del muro ya no es controlable manualmente.

Por el contrario, debido a las limitadas capacidades de los robots, que hasta el momento no son capaces de manejarse con el mortero, los elementos se apilan y se unen horizontalmente con un pegamento especial. Desde el punto de vista técnico, se consigue una elevada capacidad de absorción de los esfuerzos transversales. El resultado estético es de una precisión óptica sencilla. Naturalmente, la junta sigue siendo el fundamento tectónico del muro. En este caso, con los ladrillos girados y las llagas huecas, la junta se convierte en un caso específico de perforación, con lo que se satisfacen otros condicionantes físicos. La junta, liberada del mortero, desarrolla una nueva razón de ser como elemento ahora complementario, adecuado a la función de un muro. Además de su modificación puramente funcional, también el efecto óptico es refrescante por su carácter innovador y sencillo. La junta se muestra sólo en sus formas extremas de "lleno" (tendel) y "vacio" (llaga), y por ello hace posible el dibujo de imágenes digitales según una traducción directa de la esencia del trabajo del ordenador, que se apoya únicamente en el binomio "0" y "1".

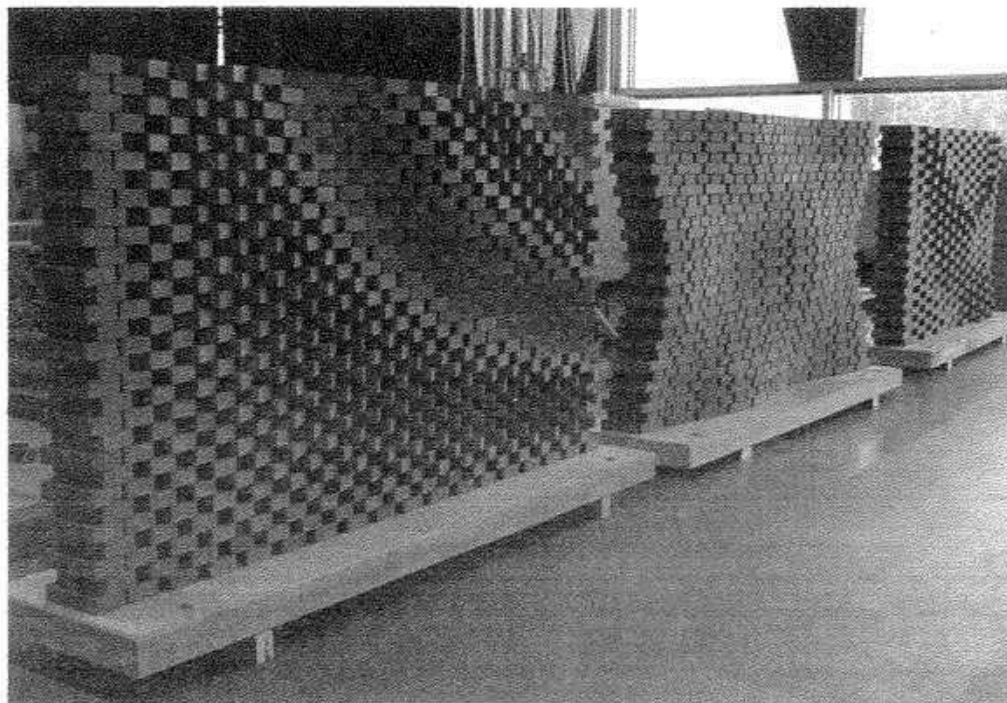


Fig. 84: Estudios para una pared realizados por los estudiantes de la cátedra de Arquitectura y Fabricación Digital de la ETH de Zürich

Los programas específicos para un robot definen la posición y orientación de cada pieza

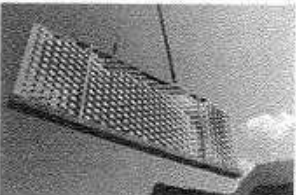
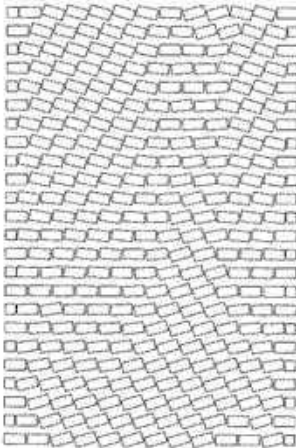
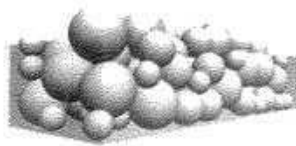


Fig. 95: Del croquis a la pared: pasos en el proceso del proyecto y de la producción. Bearth & Deplazes: bodega Gantenbein, Fläsch, Suiza, 2006

Ejemplo de aplicación

Bearth & Deplazes: bodega Gantenbein, Fläsch

Las exigencias básicas en un espacio destinado a la producción del vino son la luz tamizada y la temperatura constante. Por eso, Bearth & Deplazes se propusieron emplear obra de fábrica perforada en la bodega Gantenbein, en Fläsch, Suiza.

La pared agujereada no constituye ningún descubrimiento, y su utilización se encuentra tanto en ejemplos contemporáneos como en construcciones tradicionales. Los motivos y técnicas utilizadas para ello son muy variados. En su diario de viaje a Inglaterra de 1826, Karl Friedrich Schinkel describe y esboza las paredes en celosía que encontró en las fábricas textiles y que permitían ventilar debido a su singular aparejo. Si en las zonas de clima

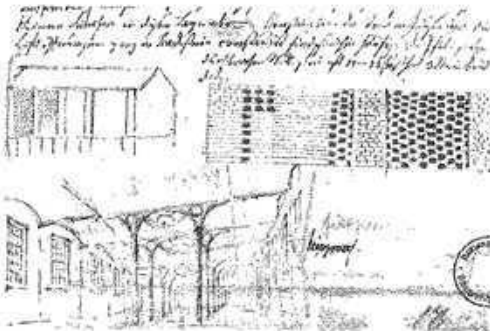


Fig. 96: Extracto del diario del viaje a Inglaterra de Karl Friedrich Schinkel en 1826

"Son aquí frecuentes las construcciones para el secado (fábricas textiles), donde los huecos para ventilación están contruidos enteramente de ladrillo. Los pilares entre la fábrica perforada presentan por lo común entre 14 y 16 pies de altura, 3 piezas de anchura y 2 de grosor".

nórdico se emplean sistemas constructivos porosos con el fin específico de ventilar, en la tradición árabe coexisten motivos climáticos con otros culturales, en especial, permitir que las mujeres tengan una visión del exterior sin que puedan ser vistas. Elementos configurados de modo singular se añaden al aparejo del muro, conformando artísticos arabescos cuyo origen se encuentra en el arte textil y en los tapices.

Al proyectar la bodega, tras varios intentos con diversas técnicas del repertorio del muro de fábrica vista tradicional, los arquitectos recurrieron a la prefabricación digital descrita en la página anterior, desarrollando así un prototipo en colaboración con el estudio Gramazio & Kohler.

El sistema constructivo básico del nuevo edificio de producción vitivinícola está formado por una estructura de hormigón. En él se insertaron, formando sucesivas hiladas, elementos de obra de fábrica prefabricados en el taller. Los distintos elementos se apoyan en vigas también prefabricadas de hormigón que, dentro de una imagen de conjunto, articulan horizontalmente la fachada. El entramado libera a la obra de fábrica de ladrillo de su función primaria como elemento portante, y abre con ello nuevas posibilidades formales.

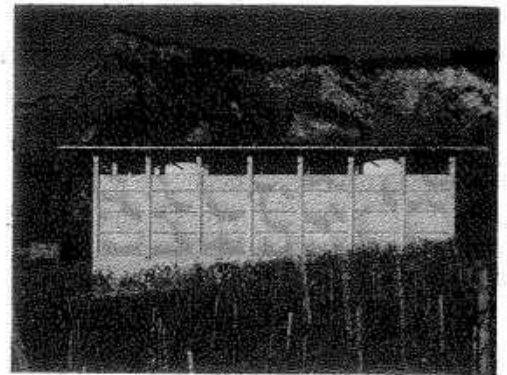


Fig. 97: Vista de la fachada: cada ladrillo se convierte en una especie de píxel de una imagen reticulada. Bearth & Deplazes: bodega Gantenbein, Fläsch, Suiza, 2006

Con ayuda del robot y de su hábil programación, los arquitectos alcanzaron sus objetivos constructivos y formales (luz, ventilación y estabilidad de la estructura) de manera muy sencilla, dentro de un proceso singular y combinado. Enfrentaron diversas exigencias, haciendo que se ejecutasen las partes singulares con ladrillos girados diferenciadamente. Con este sistema, dos de los lados de la pieza de ladrillo quedan con frecuencia a la vista. Junto a la ventilación y el juego de sombras surge una superficie que refuerza el efecto plástico de la fachada.

Además de los aspectos funcionales, la imagen obtenida por medio de esta técnica juega también un importante papel. Subrayada por la sencilla colocación de formas complejas, y reforzada por la ausencia de mortero, vista desde el interior la estructura produce la impresión de una extraordinaria ligereza; desde el exterior, desprovista de huecos, adquiere un carácter "casi" macizo. La fisonomía para esta bodega se desarrolló paso a paso durante el proceso del proyecto. El producto final puede entenderse como una medianera en su sentido más primigenio.

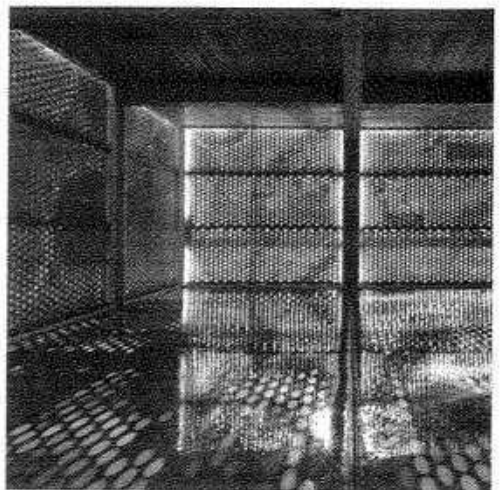


Fig. 98: La luz filtrada a través de la pared porosa se refleja en el suelo resplandeciente y dibuja distintas imágenes en el espacio, en función del ángulo de incidencia. Bearth & Deplazes: bodega Gantenbein, Fläsch, Suiza, 2006



Fig. 89: Vista interior
Rafael Moneo: Museo Nacional de Arte Romano,
Mérida, España, 1986



Fig. 90: La obra en ejecución con los "tubos
de ladrillo"
Rafael Moneo: Museo Nacional de Arte Romano,
Mérida, España, 1986

Construcciones compuestas por técnicas distintas y sus aplicaciones

Como en todas las partes de la construcción, también en la técnica de los muros de fábrica se produce una fuerte tendencia hacia los sistemas híbridos o las así denominadas construcciones compuestas por técnicas distintas. Apenas se utilizan ya técnicas en su estado puro. En los muros de fábrica esta evolución es especialmente palpable porque, si bien la prefabricación abre nuevos caminos, su propia tecnología remite en todo caso a una tradición milenaria. El empleo de obra de fábrica en un contexto actual, referido a este saber heredado, la hace por lo tanto muy interesante.

1. Prefabricación y *opus caementitium*

Rafael Moneo: Museo Nacional de Arte Romano, Mérida
El impresionante edificio del Museo Nacional de Arte Romano de Mérida, construido sobre una parte de la planta de la mayor ciudad romana de España, Emerita Augusta, se compone de una serie de potentes arcos y contrafuertes, así como de muros macizos.

A comienzos de la década de 1980, cuando el edificio todavía estaba en construcción, Rafael Moneo explicó en una conferencia en la ETH de Zúrich cómo se combinaba en este edificio la moderna prefabricación y la técnica constructiva de los romanos: los poderosos arcos, contrafuertes y muros están prefabricados según una refinada técnica basada en el *opus caementitium* romano. Por último, esto representa un logrado intento de utilizar en la actualidad una técnica muy antigua de una forma adecuada.

Entre dos delgadas hojas de clinker de elementos muy planos, cuyo espacio intermedio hueco, junto con el ancho de la pieza, constituye la profundidad del muro una vez ejecutado, se vierte hormigón, que constituye al

mismo tiempo el núcleo y el elemento de unión de ambas hojas. Las hojas, que hacen las veces de encofrado perdido, dan como resultado a su vez la configuración de "bellas" superficies: en el momento del vertido, era necesaria la estabilidad de los delgados muros huecos para resistir la presión del hormigón aún no fraguado. Como tales, los muros de fábrica, desprovistos del núcleo de hormigón, serían demasiado débiles para actuar como estructura portante del edificio. En el caso de Mérida, los ladrillos, que por su formato plano recuerdan a los que utilizaban los romanos, constituyen el cierre visible de la estructura portante tanto interior como exteriormente. El hormigón se utiliza a la manera de un material de relleno o perdido y, por tanto, no está armado. Junto con el ladrillo, configura un elemento resistente a compresión. La estructura del edificio se construye de forma tal que el reparto de los esfuerzos estáticos no precise armadura. En el caso de la apertura de un hueco, para la descarga de los esfuerzos se construye un arco armado también de fábrica, o bien un dintel de hormigón visto.

Los elementos prefabricados para paredes de fábrica y pilares fueron colocados como si se tratara de "tubos de ladrillo", unidos como elementos independientes por medio de la grúa a los muros de fábrica huecos, y en ellos se fue vertiendo continuamente el hormigón. Dado que los muros exteriores no están aislados, los elementos prefabricados se unen con juntas horizontales de una anchura mínima, que pasan desapercibidas dentro de la imagen de conjunto del aparejo del muro. Para las juntas verticales se observan dos técnicas: las piezas de clinker se encajan unas en otras (lo que conlleva un elevado riesgo de rotura de las mismas), o bien se aproximan hasta que la junta se hace solidaria con las piezas, siguiendo el principio del "cierre con cremallera"; después puede rellenarse.

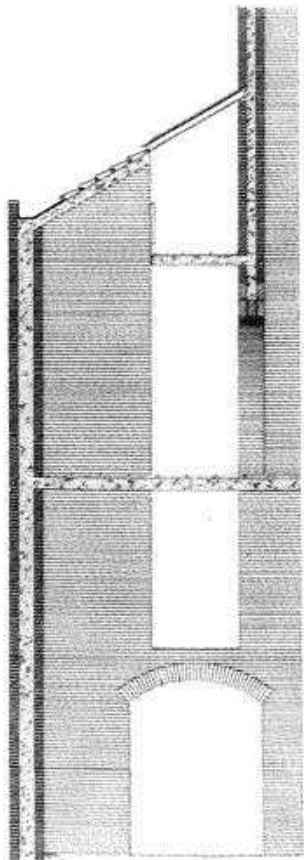


Fig. 91: Arriba: sección a través del muro de
opus caementitium; a la derecha: axonometría
de la estructura
Rafael Moneo: Museo Nacional de Arte Romano,
Mérida, España, 1986

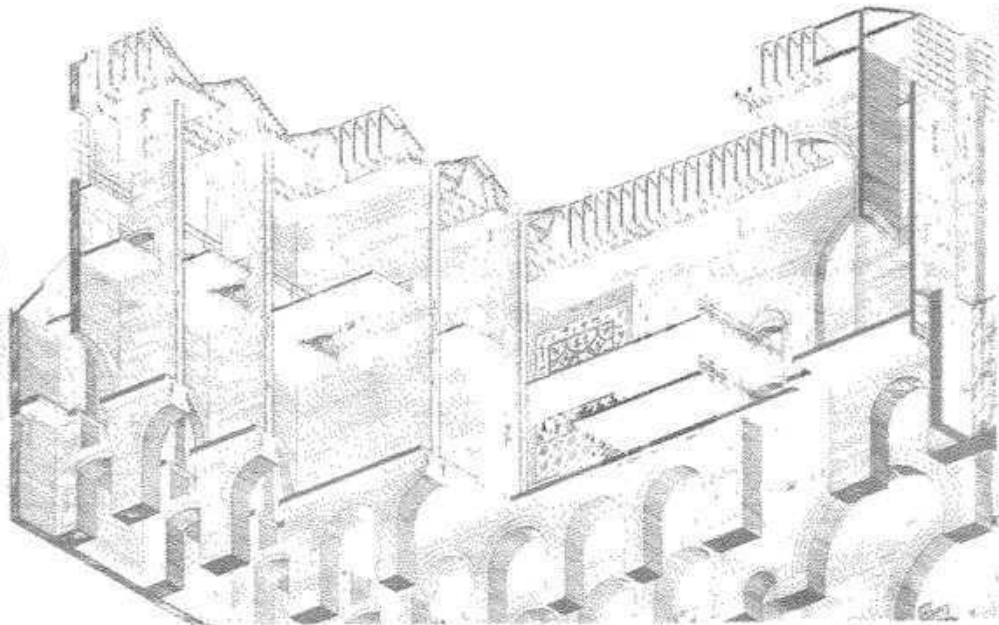




Fig. 92: Bamiyán, Afganistán
Construcciones con piezas de adobe secadas al aire



Fig. 93: Proceso constructivo: imágenes de la obra en ejecución
Rossbauer, Brnic, Graf: casa de la ciencia ETH, Bamiyán, Afganistán, 2003-2006

2. Low-tech/high-tech

Rossbauer, Brnic, Graf, casa de la ciencia ETH, Bamiyán
La casa de la ciencia ETH surgió como aportación de un concurso y del posterior trabajo de diplomatura de los estudiantes Ivica Brnic, Florian Graf y Wolfgang Rossbauer. El proyecto es un modelo para la transferencia de conocimientos en el siglo XXI que, como tal, funciona siempre en varias direcciones.

En una confrontación intensiva con las condiciones y tecnologías locales, surgió una construcción que tiene en cuenta la sabiduría autóctona y, a su vez, aporta mejoras. Esta idea básica es inherente a la propia naturaleza de la construcción: ni la tecnología moderna ni una concepción arquitectónica exigente son productos acabados que puedan exportarse sencillamente a regiones distantes del mundo. Para poder adentrarse adecuadamente y con conocimiento de causa en otras culturas, se requiere un acercamiento respetuoso y cuidadoso a las condiciones constructivas técnicas y culturales del propio lugar. El programa espacial y la tipología se desarrollaron en estrecha sintonía con la cultura constructiva local y se adecuaron al concepto espacial preexistente. El edificio se orienta consecuentemente a la tipología del patio. Salvo las ventanas, la estructura general está construida exclusivamente con materiales locales.

A una situación climática extrema, con cambios de temperatura de carácter continental, se suma la enorme radiación solar como consecuencia de la altitud, el intenso viento y un elevado riesgo de terremotos. Para hacer frente a estos factores, se optó por un edificio introvertido de dos plantas de altura, construido con sistemas compuestos de técnicas distintas de obra de fábrica. Todos los muros se componen de varias capas y un núcleo de placas y pilares de hormigón armado que asegura la estabilidad necesaria frente a los seísmos. En torno al núcleo se alza una gruesa capa acumuladora formada por piezas de adobe y paja, protegida a su vez contra las inclemencias meteorológicas por una capa de piezas de barro cocido.



Fig. 95: La compleja construcción del muro con la protección contra seísmos
Rossbauer, Brnic, Graf: casa de la ciencia ETH, Bamiyán, Afganistán, 2003-2006

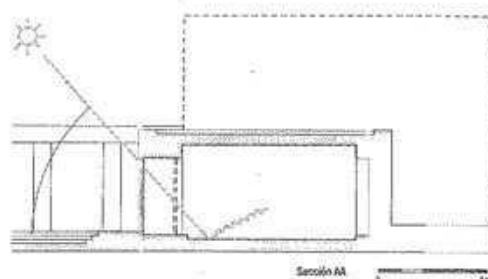
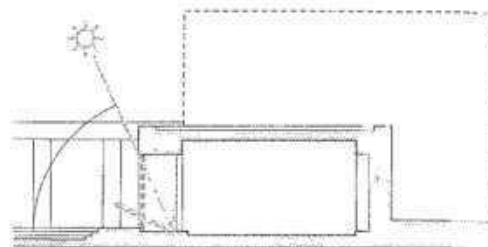


Fig. 94: Regulación climática por medio de una doble fachada
Rossbauer, Brnic, Graf: casa de la ciencia ETH, Bamiyán, Afganistán, 2003-2006

Estos potentes muros permiten el mantenimiento prolongado de una temperatura constante a lo largo del año. La obra de fábrica cede lentamente por la noche el calor que ha acumulado durante el día. Además del ritmo noche/día, también se ha tenido en cuenta el cambio de las estaciones. Mientras en verano una protección solar de carácter funcional resulta imprescindible, para evitar el elevado calor, en invierno es deseable que la radiación térmica produzca el caldeoamiento más amplio posible de los diferentes espacios del interior del edificio. Por ello, la fachada cuenta con una doble capa de ventanas para el verano y para el invierno. Mientras que en verano las ventanas se colocan profundamente en el intradós, y se encajan de una manera ideal, protegidas así de la irradiación directa, en invierno, las hojas situadas en el mismo plano de la fachada captan la máxima radiación solar posible y la transmiten al interior del edificio en forma de calor.

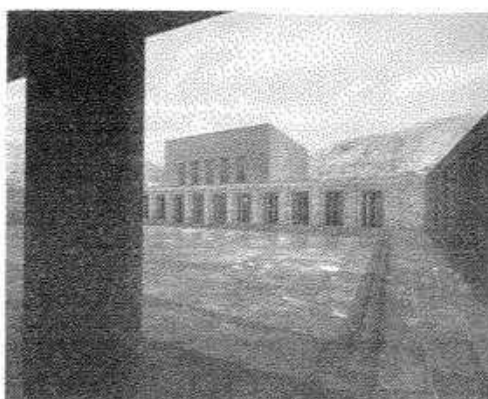


Fig. 96: La visión de los arquitectos: una vista del patio
Rossbauer, Brnic, Graf: casa de la ciencia ETH, Bamiyán, Afganistán, 2003-2006

Sobre la metafísica del hormigón

Andrea Deplazes

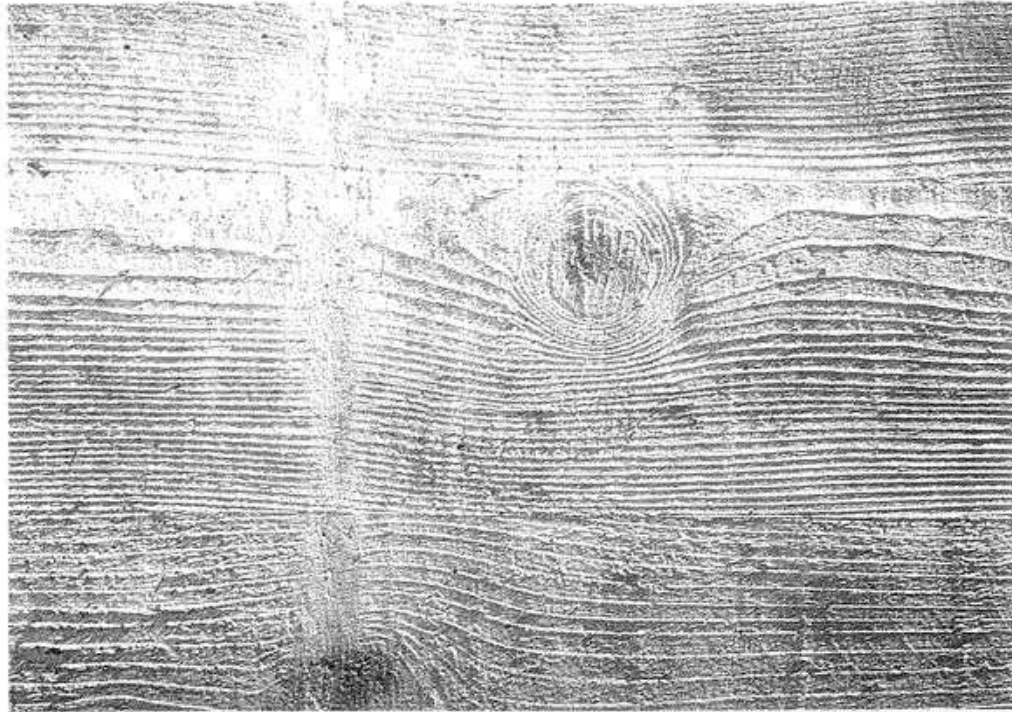


Abb. 1: Imagen de un encofrado
Tablas que muestran el aserrado de la madera

Los edificios desnudos de hormigón armado están presentes en la vida diaria de nuestras ciudades y las dotan de un sello característico. Siempre que es posible, la industria de la construcción hace uso de este material, pues es económico en comparación con otros métodos constructivos, eficiente para el progreso del trabajo a realizar en la propia obra, y no precisa (aparentemente) especialistas muy cualificados para su puesta en obra. El hormigón armado se ha convertido sencillamente en el material del siglo xx y en un símbolo de la desmesurada actividad constructiva: "Hormigonar el entorno o el medio ambiente" es una expresión coloquial nueva que alude a la destrucción del paisaje, de la naturaleza y del espacio vital.

En todo caso, cuanto menos perceptible es, es decir, cuando sólo se usa como un material funcional para construcciones de ingeniería o en bruto, y después se revoca, tanto más parece aceptarse (no se sabe si por resignación o por desinterés, pues parece que no exista alternativa alguna capaz de competir con él). Muy distinto es el caso del hormigón armado que debe aparecer con su superficie vista, el hormigón visto.

Para poner el acento en la especificidad del hormigón visto, es preciso que nos distanciamos de los argumentos prácticos habituales. Ya la expresión "hormigón visto" hace observar una cuestión: en la medida en que no existe el hormigón invisible, ¿qué es lo que se hace visible en el hormigón? Y cuando el hormigón no queda a la vista, sino que se emplea como un "material constructivo funcional", ¿cómo repercute entonces en el desarrollo y la configuración de la "forma"?

La superficie

Lo visible en el hormigón visto es su superficie. Esta afirmación, en apariencia lapidaria, cobra un valor significativo en comparación con el muro de fábrica visto: el muro de fábrica muestra el orden y la lógica del ensamblaje de las piezas que lo componen, la unión y la precisión del desarrollo del proceso de trabajo. El aparejo es algo más que la suma de sus partes: su composición se percibe como ornamento que configura un "auténtico estado de cosas". Louis I. Kahn argumentaba que el ornamento (a diferencia de la decoración aplicada, un añadido "extrínseco" a la esencia misma de la obra arquitectónica), se desarrolla siempre a partir de planteamientos tectónicos hasta llegar a alcanzar una autonomía y una especificidad propias (mediante la transformación de los materiales y la emancipación de sus primigenias funciones constructivas). Con el trasfondo de esta concepción cultural, el término estética significa que la belleza constituye el brillo de la verdad (una interpretación de las palabras de san Agustín, aplicada por Mies a la cultura constructiva moderna).

Al contrario de lo que sucede con el muro de fábrica, el hormigón (o mejor dicho, la delgada piel de cemento de 2 o 3 mm) oculta su interior. El hormigón visto no explicita su vida interior, sino que oculta su profunda estructura bajo la envoltura de una delgadísima superficie. Abstrae y hurta a los sentidos todo aquello que les sería perfectamente comprensible: el entendimiento de la composición del hormigón y "cómo produce una impresión". Y así, no se percibirá como un material natural, auténtico, sino como un "agregado contaminado y artificial".

El encofrado

Si bien el conglomerado interior del hormigón no hace visible en su delgada piel superficial la existencia de voluntad formal alguna, su textura muestra las huellas de una construcción que ya no existe: el encofrado. Todo lo que aún puede constatar en el hormigón visto son las "impresiones digitales". El término textura tiene la misma raíz que texto o textil, es decir tejido, y hace referencia por tanto a lo que antes se ha denominado construcción ligera. El encofrado de madera o acero pertenece a esa categoría de la tectónica. Al comienzo de la tecnología del hormigón armado, los encofrados constituyen en su mayoría realizaciones artísticas de carpintería efímeras (por ejemplo, los andamios para puentes de Richard Coray). El hormigón y el encofrado configuran un conjunto en apariencia indisoluble.

Para ser conformado, el hormigón tiene que verse en un encofrado, lo que plantea tres cuestiones: ¿no es todo hormigón en definitiva un hormigón visto? (¿cómo clasificamos la cualidad de su superficie?). ¿En función de qué criterios se desarrolla la forma del encofrado? (¿qué influencia tienen el material y la técnica constructiva del encofrado en la forma de fraguado del hormigón?). ¿No es extraño que para generar una construcción maciza sea preciso realizar otra ligera y efímera? (¿qué propiedades vinculan al hormigón con su encofrado?).

De la incrustación

Los constructores romanos intentaron reaccionar a esta intangibilidad metamórfica "descubriendo" la esencia del hormigón y forrando los elementos que entran en su composición, es decir la mezcla lapídea de grava, arena y cemento. El *opus caementitium* constituye un sistema constructivo unitario, formado por un encofrado perdido de muros de piedra o ladrillo y un núcleo interior de hormigón vertido. El hormigón no es sino el material de las capas que forman el muro, constituido por aglomerantes idóneos, como la cal disuelta o el cemento, que se mezclan con el agua para formar una masa.

Está claro que, como la construcción con barro, una de las creaciones ancestrales del trabajo humano realizada con materiales que proceden de la tierra. La masa informe se manifiesta como una construcción pétrea formada por la acumulación de estratos. Esta forma de construcción de hormigón visto se ha conservado hasta nuestros días, por ejemplo, en los viaductos del ferrocarril del área geográfica germana que abarca el cantón suizo de los Grisones, el Tirol austriaco y el sur de Baviera en Alemania (integrantes de la provincia romana de Recia). Es la transmisión de una forma constructiva evidente, expresión de una mezcla de materiales que no posee cualidad formal propia alguna, en el sentido de que se trate de una "interpretación" del sedimento del hormigón mediante la técnica de la incrustación: una especie de "encofrado pétreo perdido", de piedra natural, o de obra de fábrica de ladrillo, que configura a su vez, como superficie vista, una costra con un carácter formal específico.

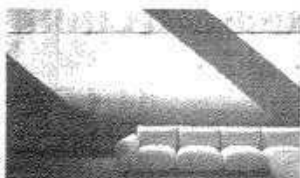


Fig. 2: Hormigón visto "desprovisto de toda rugosidad y aspereza"
Tadano Ando; casa Koshino, Ashiya, Japón, 1980

De la transformación

Otras de las vías, ya tratadas, para una "estrategia de la construcción de encofrado" es con la construcción con madera y la obra de carpintería, es decir de la tectónica que, con sus propias reglas constructivas, influye en el proceso de configuración del hormigón. A la madera se le atribuye un carácter provisional y efímero que parece prejuzgar su uso para encofrados. El hecho de que la durabilidad se alcanza sólo a través de lo transitorio y de la continua renovación forma parte de nuestra visión del mundo, de la comprensión ética y religiosa que tenemos de la naturaleza y de la vida.

Con ello, consciente o inconscientemente, se resuelve un proceso de cambio, pues el paso de la construcción con madera a la construcción con piedra constituye un tema fundamental de la evolución morfológica en la arquitectura occidental. Aunque en el ejemplo de los templos clásicos se empleen las reglas de la estereotomía de la piedra, las formas de la construcción original con madera permanecen como elementos de un estilo ornamental visible o, expresado de otra manera: el progreso tecnológico, que avanza sin cesar, se enfrenta obstinadamente a la tradición cultural.

No sucede otra cosa con el hormigón visto, donde el simple proceso del vertido en el encofrado pone de manifiesto el carácter de una construcción en madera. Y eso a pesar de que se petrifique y endurezca en su encofrado, y de que la pasta de que se compone el hormigón no sea efímera ni tenga nada que ver con la madera.

¿Es una rotunda contradicción que el hormigón, en su forma plástica-cúbica, adquiera características espaciales y, además, dé la impresión de haber sido extraído de la piedra?

Del monolitismo

La expresión monolítica del hormigón visto confiere a la obra la apariencia de ser una pieza bruta modelada o una escultura, es decir, una obra surgida mediante la extracción de la materia de un bloque. Esto se pone especialmente de manifiesto cuando las huellas del proceso constructivo con el hormigón se ocultan o desaparecen bajo la delgada textura de las huellas del encofrado. Tal carácter se contrapone realmente a una multiplicidad de procesos de trabajo aditivos.

La calidad del encofrado y su cualidades específicas pueden caracterizar decisivamente toda una obra: a veces posee un carácter liso, otras tosco, con gruesas juntas procedentes del vertido y el cemento revestido por la grava en bruto, de modo que resulta visible el procedimiento del aglomerado propio de una piedra de sedimentación y la metáfora de un bloque errático arcaico, como sucede en la casa Allemann de Rudolf Olgiati, situada sobre una precaria topografía. Otras veces, su textura es totalmente lisa, de modo que las juntas del encofrado parecen las costuras de una tienda, y el hormigón visto carece de toda "pesadez", como en la casa Koshino de



Fig. 3: "Bloque errático arcaico"
Rudolf Olgiati, casa Allemann, Wiltruis, Suiza,
1963

Tadao Ando, donde la apenas perceptible irregularidad del encofrado y las formas del "exagerado dentado" que adopta el hormigón de la pared, le confieren, bajo una luz sesgada, una materialidad textil o, incluso, esa "fragilidad propia de un material cerámico".

De lo híbrido

Partimos de una técnica de trabajo pragmática y encontramos un resultado inesperado y complejo: la obra entendida como sólido monolito representa un polo dialéctico de nuestras observaciones, determinando sus cualidades esenciales a partir de los componentes téreos del hormigón: la masa, la solidez, la plasticidad, la volumetría, la compacidad, la resistencia a compresión. Consecuentemente, sospechamos que el polo opuesto debería proceder de la construcción ligera y hacer derivar de él nuevos criterios de configuración de la forma. La combinación de hormigón y acero conduce en el fondo a un material híbrido de carácter muy singular, donde el hormigón se cuida de la resistencia a la compresión y el acero, mediante un sistema de armaduras en red, de un tenso trenzado realizado con un gasto mínimo de material y de la resistencia a la tracción. El hormigón armado se muestra como el único material capaz de poseer esta bipolaridad ideal, aunque haya que corregir el calificativo de híbrido: ambos componentes morfológicos existen, se complementan reciprocamente en un plano de consciencia diferenciada, en una, por así decir, constante trasposición de un sistema en otro. Pueden pasar de ser perceptibles conscientemente a serlo de manera inconsciente (al contrario de lo que sucede en una estructura de acero, donde el mismo elemento portante puede absorber los esfuerzos tanto de tracción como de compresión). La forma exterior del hormigón solidificado se puede experimentar sensorialmente (visual, táctil y acústicamente, etc.) y se ha desprendido de toda esa metafísica insensible inherente a su estado embrionario como masa térrea. Embebida en él, dormita la retícula cartesiana de la armadura, sustraída por completo a la vista. Su existencia se manifiesta en la forma exterior tan sólo indirectamente. Sólo se vislumbra y "percibe" en la medida en que, justamente, las más ligeras construcciones de hormigón visto parecen desafiar las leyes de la física. El antes pesado y regular monolito pierde su íntimo vínculo térreo y se transforma en su contrario más extremo, en una esbelta retícula espacial, por ejemplo, en una lámina de revestimiento, en una estratificación vertical de delgadas placas y barras estructurales.

En la teoría de la arquitectura de Carl Bötticher, ambos "estados de consciencia" se definen como "forma artística" (connotada exteriormente, desde el punto de vista cultural de la tectónica) y como "forma nuclear" (connotada interiormente, desde el punto de vista de su función física establecida por las leyes de Newton). Como regla de medición formal se exigió la mayor y más contundente sintonía posible entre ambas formas. En este proceso, el

"núcleo", en cuanto "estado auténtico de las cosas", que se refleja desde el interior hacia el exterior, se funde con su artística superficie de revestimiento o envoltura, y se transforma, como si de una crisálida se tratase, para adquirir así una forma iconográfica visible.

Esta teoría y la circunstancia de que el hormigón depende de la disponibilidad racional del encofrado, se ve favorecida por las exactas consideraciones de la ciencia de la ingeniería acerca del flujo de esfuerzos que se producen profundamente bajo su superficie exterior. Se trata efectivamente (y condicionada tecnológicamente!) de una interiorización de criterios formales tectónicos visibles (por ejemplo, de la intuición de cómo se comportan los elementos que cargan y los que sostienen en el canon de formas del templo clásico), de una inversión de forma y núcleo, lo que provoca una estilización exterior de la forma que, por tanto, supone una abstracción (por ejemplo, en la morfología de las columnas). La anterior expresión visible del equilibrio de fuerzas, manifestada en la forma arquitectónica, se vuelve como un guante del revés y se racionaliza en el modelo tridimensional que sigue la trayectoria de los esfuerzos, y en la mayor medida posible la compactación y fusión con el armado, y procura estar de acuerdo con él.

Construcciones óseas

En lo que sí existe consenso es en el hecho de que los ingenieros aportan a la configuración exterior de estructuras portantes las formas más adecuadas a su función (como, por ejemplo, en los puentes o bóvedas de los túneles), cuando representan la compleja lógica del flujo de esfuerzos en tanto que "motor de la definición formal". Realmente, la forma se desarrolla en todo caso con mayor frecuencia a partir de la sección crítica determinante que presenta un elemento estructural o de la más sencilla disponibilidad económica del material de encofrado. Éste ha pasado entre tanto de ser un elemento "perdido" a ser un elemento "reutilizable", y caracteriza el proceso constructivo en un desarrollo ordenado del mismo (etapas de encofrado), dejando en el edificio las huellas de la modulación de las planchas y de sus grandes superficies de chapa de acero. El flujo de fuerzas se organiza profundamente en el hormigón en correspondencia con la concentración de esfuerzos que entran en escena, por medio de la densificación y reparto de las armaduras, lo que sin embargo muy raramente caracteriza la forma exterior.

Las estructuras ligeras surgidas de este modo parecen originarse de los más prístinos fundamentos científicos, estar apoyadas por el espíritu del racionalismo que opera a partir del cálculo, de la geometría, del orden y de la abstracción. En consecuencia, se intenta apartar del hormigón toda referencia "telúrica", para trascenderlo y hacer de él un artefacto liso, sin huellas ni contaminaciones provenientes de su proceso de elaboración.

Significativo es también el concepto de "construcciones óseas" que he oído a diferentes ingenieros para ca-



Fig. 4: Forma exterior y vida interior



Fig. 5: Sistema constructivo reticular

racterizar las obras de sus puentes. Mientras que en un caso se pensaba en una completa objetivación elemental, manifestada por medio de la más extrema abstracción de la forma y su reducción a la desnuda estructura portante, definida por sencillos elementos geométricos, en otros casos se alude a una analogía biomórfica con el esqueleto. La "arquitectura ósea" de la naturaleza se desarrolla sin embargo autónomamente, a partir de una red de líneas de tensión. Si se contempla la posición de sus partes dentro del sistema general estático y dinámico que supone el "esqueleto", su forma es el resultado directo de esas tensiones. Tales congruencias absolutas entre causa y efecto, líneas de tensión y forma, no son realizables en las construcciones de hormigón visto, por los motivos ya expuestos, y carecen además de sentido.

El hormigón liberado

Todavía hay que discutir una particularidad: el hormigón como amalgama no tiene forma implícita alguna y puede, por tanto, adquirir cualquier forma imaginable. Del mismo modo, la trama de acero de la armadura no posee límites preestablecidos, ningún margen que la limite. Esto implica la posibilidad de configurar libremente el hormigón armado con formas biomórficas, de un modo parecido a como se modela manualmente un montón de arcilla. En realidad, en el caso del hormigón armado debe superarse la "rigidez" del encofrado, las reglas de configuración propias de un entramado tectónicamente rígido. Desde el punto de vista técnico, esto es posible con los medios de la tecnología del encolado en la actual construcción de madera (madera contrachapada) o de la fibra de vidrio, aunque difícilmente lo es bajo el dictado de la economía (como, por ejemplo, en el caso de la torre Einstein, de Erich Mendelsohn, proyectada en hormigón armado y realizada finalmente con muro de fábrica de ladrillo revocado).

Queda sólo una última consecuencia: ¡el hormigón debería liberarse de su encofrado! (de ese corsé tectónico, tecnológico e iconográfico). La red de la armadura, flexible y relativamente estable junto con el hormigón inyectado (el denominado Gunnit) proporcionan los medios para ello. Sin embargo, el empleo de esta técnica de hormigón visto no ha dejado hasta ahora huellas dignas de mención en la arquitectura (salvo en un par de equipamientos deplorables de discotecas situadas en el medio rural). En ellos, el hormigón visto, liberado, es devuelto en todo caso a su ámbito originario y primitivo, como metáfora de la sórdida caverna de Platón.



Fig. 6: Obra proyectada en hormigón y construida con obra de fábrica de ladrillo. Erich Mendelsohn: torre Einstein, Potsdam, Alemania, 1914

Conclusiones

1. Aunque es posible justificar la configuración y el desarrollo formal del hormigón visto con fundamentos racionales y técnicos, también se producen constantemente procesos constructivos irracionales.
2. El hormigón visto es el estado final de diversos procesos de transformación y metamorfosis que han legado determinadas huellas (una suerte de "memoria" de estados físicos anteriores).
3. Entre la forma exterior y la "vida interior" se produce una congruencia precaria. La delgada superficie del hormigón visto rara vez juega un papel de intermediación iconográfica.
4. La calidad de la superficie del hormigón caracteriza toda la obra en su conjunto dentro del marco de su temática arquitectónica. Ésta tiende o bien a lo arcaico, o bien a la abstracción.
5. La forma es, por definición, la síntesis que resulta de diversos parámetros de influencia, en la que la inmanencia tecnológica rara vez se corresponde con la herencia cultural.
6. La forma del hormigón es relativa frente al flujo de fuerzas interiores: éste, o bien se interpreta como un sistema ideal de equilibrio constructivo, o bien se lee como un modelo de tensiones, tal y como existe en el mundo real de las ciencias naturales.
7. Todo hormigón muestra una cara.

Bibliografía

- Bötscher, Carl, *Die Tektonik der Hellenen*, Verlag von Ferdinand Riegl, Potsdam, 1852.
- Latour, Alessandra (ed.), *Louis I. Kahn. Writings, lectures, interviews, Rizzoli*, Nueva York, 1991 (versión castellana: *Louis I. Kahn. Escritos, conferencias y entrevistas*, El Croquis Editorial, El Escorial, 2003).
- Neumeyer, Fritz, *Ludwig Mies van der Rohe. Das Kunstlose Wort. Gedanken zur Baukunst*, Siedler, Berlin, 1986 (versión castellana: *Mies van der Rohe. La palabra sin artificio: reflexiones sobre la arquitectura 1922-1968*, El Croquis Editorial, Madrid, 2000).
- Oechslin, Werner, *Stilpulse und Kern: Otto Wagner, Adolf Loos und der evolutionäre Weg zur modernen Architektur*, gta/eth, Zürich, 1994.
- Semper, Gottfried, *Der Stil in den technischen und tektonischen Künsten oder praktische Ästhetik* (tomo I), Verlag für Kunst und Wissenschaft, Frankfurt, 1860.
- Viollet-le-Duc, Eugène Emmanuel, *L'Architecture raisonnée: extraits du Dictionnaire de l'architecture française*, Hermann, Paris, 1978.
- Widmer, Urs, *Fünf schweizer Brückenbauer: Othmar H. Ammann, Richard Condy, Guillaume-Henri Dufour, Hans Ulrich Grubenmann, Robert Maillart*, Zürich, 1985.
- Barthes, Roland, *La tour Eiffel* (1964) (versión castellana: *La torre Eiffel: textos sobre la imagen*, Paidós, Barcelona, 2001).

El material

El hormigón normal (densidad 2.400-2.550 kg/m³) se produce por lo general por la mezcla de cemento, agua y áridos (arena, grava), según la siguiente proporción:

- árido de 32 mm	2.000 kg/m ³
- cemento Pórtland	250-400 kg/m ³
- agua	150 kg/m ³

La proporción de esta mezcla varía en función de las propiedades que deseen obtenerse tanto en su elaboración como tras el fraguado.

La mezcla del hormigón debería tener las siguientes propiedades:

- fácil elaboración - buena compactación;
- consistencia elástica - fácil conformación;
- buena capacidad de consistencia - mínima tendencia a la segregación;
- buena capacidad de retención del agua - ninguna propensión al "sangrado" (eliminación de agua del hormigón aún no fraguado).

Las cualidades exigibles al hormigón fraguado son las siguientes:

- buena consistencia;
- composición homogénea, densa y regular;
- estructura superficial cerrada y uniforme;
- estabilidad frente a las inclemencias meteorológicas y las influencias exteriores.

Las cualidades antes mencionadas del hormigón fresco guardan una estrecha relación con la proporción de áridos, agua y cementos. Con la modificación de las cantidades de uno de estos elementos se varían también las propiedades de la mezcla y del hormigón fraguado.

Composición del hormigón

Tanto por lo que respecta a su masa como a su volumen, el hormigón se compone fundamentalmente de árido.

Otra cosa parece si se observa la denominada superficie interior, las superficies que componen por adición todas las partes de su conjunto. Aquí prevalece con diferencia el cemento. Éste es también el único componente que, por su capacidad de reacción con el agua, dota de solidez a la mezcla.

Dosificación

Al fijar las proporciones de los componentes del hormigón, lo que se denomina su dosificación, se trata sobre todo de optimizarlo como material en los diferentes aspectos:

- el proceso de elaboración;
- la resistencia;
- la durabilidad;
- los costes de fabricación.

Cemento

El cemento es un conglomerante hidráulico, es decir, un material que se endurece tras su mezcla con el agua y bajo la acción del aire y del agua.

Fabricación del cemento

En la fabricación del cemento Pórtland hay que preparar el mineral en bruto tanto en lo que se refiere al grosor del grano como a su composición, cocerlo hasta la sinterización y, finalmente, reducir el producto incinerado hasta convertirlo en polvo de cemento fino, apto para ser mezclado y capaz de provocar una reacción. Básicamente, en la fabricación del cemento pueden diferenciarse cuatro etapas de producción:

1. Extracción y machacado del mineral

Se necesita más de 1,5 t de mineral (piedra caliza, marga o arcilla), para obtener 1 t de cemento Pórtland, pues durante el proceso de cocción se eliminan dióxido de carbono y agua de los mismos. Ya en la cantera, el mineral en bruto extraído se reduce hasta conseguir fragmentos del tamaño de un puño.

2. Mezcla y molido del mineral hasta su pulverización

Esta etapa da como resultado la mezcla de los diferentes componentes de los minerales en bruto, con lo que se obtiene la composición química adecuada. El mineral se reduce de nuevo en molinos de cilindros o bolas, y simultáneamente se seca. El resultado del molido es un polvo en bruto fino que, almacenado en grandes silos de homogeneización, alcanza una progresiva regularidad por medio de su mezclado.

3. Cocción del polvo hasta la obtención de clínker

El proceso de cocción a temperaturas de unos 1.450 °C, constituye una etapa central de la producción del cemento. Antes de que el polvo se introduzca en el horno rotatorio, pasa a través de la torre de intercambio de calor y se precalienta a casi 1.000 °C. Sale del horno como clínker incandescente y a continuación se enfría rápidamente con aire. Como combustibles se emplean carbón, fuel, gas natural y también, cada vez con mayor frecuen-

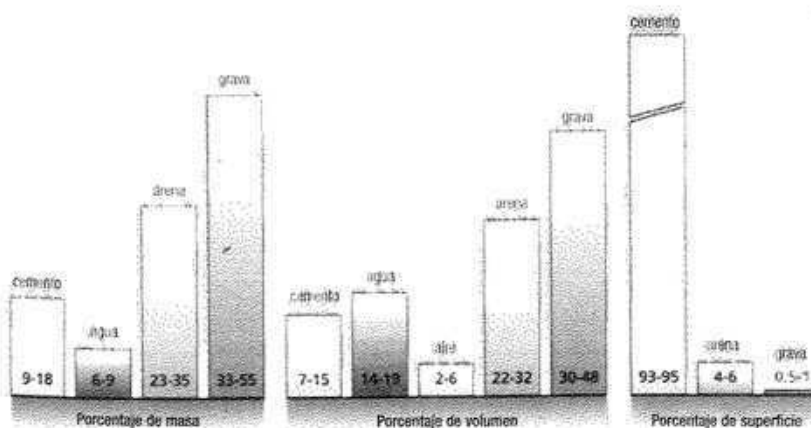


Fig. 7: Dosificación del hormigón

cia, otros materiales combustibles alternativos, por ejemplo, madera vieja o barro libre de impurezas una vez desecado.

4. Molido del clinker con yeso y materiales añadidos hasta la obtención de cemento

Para que del clinker surja un producto capaz de reaccionar, se le añade una pequeña cantidad de yeso en un dispositivo de molido, para que actúe de regulador de la solidificación. Según el tipo de cemento que se añada al clinker en el molido, con materiales de origen mineral (piedra caliza, polvo de sílice, escorias granuladas de alto horno, pavesas-carbón mineral), se obtienen los denominados cementos Portland o de alto horno.

Agua de amasado

El agua de amasado es la cantidad total de agua contenida en la masa del hormigón que hay que tener en cuenta para una correcta dosificación de la misma en su relación con el cemento. El agua de amasado incluye:

- el agua añadida;
- la humedad superficial de los áridos, la parte correspondiente al agua del cemento y la de los demás materiales añadidos.

Al agua de amasado le competen dos tareas tecnológicas con respecto al hormigón: por un lado, la hidratación del cemento y, por otro, la obtención de un hormigón plástico que posea la calidad de compactación requerida y deseada.

Áridos

Por áridos (granulación del mineral) se entiende, por lo general, una mezcla de arena y grava de diferentes tamaños de grano. La mezcla de cada grupo de esos granos minerales constituye el armazón del hormigón y debe hacerse de forma tal que presente las menores oquedades posibles. Un árido de buena calidad presenta distintas ventajas frente al cemento mineral que se amasa y le rodea:

- mayor resistencia (normalmente);
- mejor estabilidad;
- ninguna modificación del volumen como consecuencia de la humedad y, por ello, reducción de las pérdidas de volumen del hormigón por retracción;
- absorción del calor de hidratación y, por tanto, efecto de amortiguación sobre el proceso de fraguado.

Las propiedades más importantes de los áridos son:

- compactidad;
- densidad de vertido (peso espacial);
- contenido de humedad;
- cualidad mineral, forma del grano y propiedades superficiales;
- composición de la granulación;
- limpieza.

Granulometría (curva de cribado del árido)

Un material poroso y muy blando afecta a la calidad del hormigón. La forma del grano en primer lugar, pero también su matizado y las características superficiales, determinan de modo esencial la compactación y la necesidad de agua.

La experiencia ha mostrado que las mezclas idóneas son aquellas formadas por áridos procedentes de piedra machacada. Esta clase de áridos puede mejorar la resistencia del hormigón a compresión y a tracción, así como al rozamiento, pero también puede perjudicar su proceso de elaboración. Como en algunos lugares los sedimentos de grava extraíble son limitados, en el futuro habrá de emplearse cada vez más grava machacada y reciclada.

La distribución de los áridos es, junto a las propiedades superficiales y la forma específica de los granos, determinante para la necesidad de agua de amasado y, por tanto, una de las cualidades más importantes de la granulación del mineral. La disposición de los áridos debe dejar el menor espacio libre posible y permitir una óptima compactación (una alta compactación equivale a buenas propiedades cualitativas).

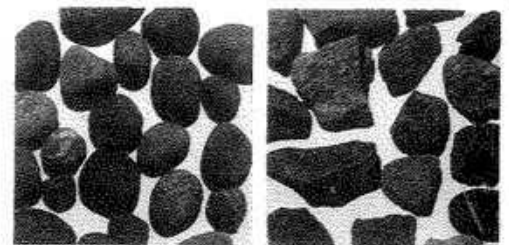


Fig. 8: Árido natural redondeado

Fig. 9: Árido partido con aristas/cúbico

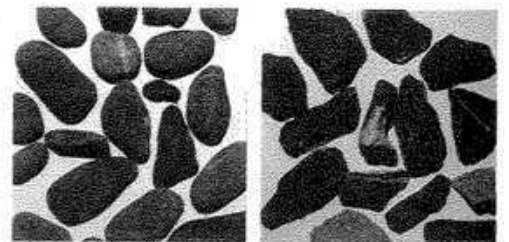


Fig. 10: Árido natural plano/en forma de tallo

Fig. 11: Árido partido plano/en forma de tallo

La disposición de los áridos de una mezcla se determina por la proporción cuantitativa de los distintos grupos de granos. Por medio del cribado de la mezcla con cedazos normalizados, formados por una malla metálica de huecos cuadrados, después de cada criba queda un determinado remanente de la misma. Los restos interceptados en cada cedazo se pesan separadamente y el tanto por ciento que suponen de la mezcla, junto con los anchos de los huecos del tamiz correspondientes, proporciona la curva de cribado del árido (véase gráfico).

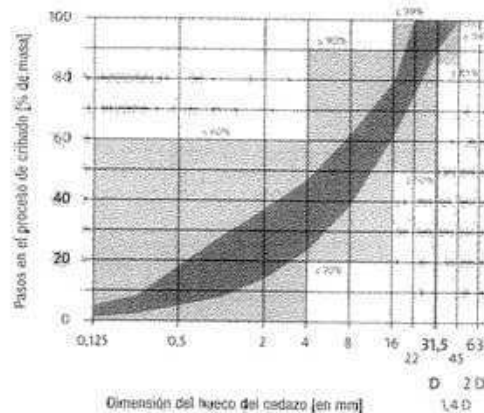


Fig. 12: Curva de cribado del árido

De acuerdo con la norma suiza, los valores límite absolutos de la composición del grano se dibujan en gris; en gris oscuro los más convenientes para el uso adecuado de la misma.

Aditivos del hormigón

Definición y clasificación

Los aditivos son materiales disueltos en agua o lodo que se agregan al hormigón para, por medio del efecto químico y/o físico que producen, cambiar las propiedades del hormigón fresco o solidificado, como, por ejemplo, su proceso de elaboración, fraguado, endurecimiento o resistencia a las heladas.

La química moderna aplicada a la construcción ha desarrollado toda una serie de aditivos capaces de modificar las cualidades del hormigón:

- **Plastificantes:** mejoran la trabajabilidad del hormigón en la relación agua-cemento. Permiten trabajar con valores inferiores de esa relación agua-cemento y conseguir una buena consistencia del mismo.
- **Estabilizantes:** evitan una prematura disgregación y elevan la homogeneidad. Principalmente deseables para el hormigón visto.
- **Retardadores del fraguado:** mediante su reacción consiguen que el hormigón pueda compactarse aún muchas horas después de su vertido y evitar así las juntas. Se emplean sobre todo en elementos constructivos de hormigón de gran tamaño, macizos e impermeables.
- **Aceleradores del fraguado:** provocan un fraguado rápido mediante una hidratación rápida, lo que es importante por motivos de los plazos a cumplir en la construcción de una obra (para una rápida continuación del trabajo), o en el caso de aplicaciones especiales, como, por ejemplo, con el hormigón inyectado.
- **Aireantes:** producen la aparición de poros microscópicos de aire (~0,3 mm), que interrumpen la capilaridad y pueden producir un efecto compensatorio frente a las heladas. Elevan pues la estabilidad del hormigón frente a éstas.

El empleo de aditivos exige esmeradas especificaciones y planificación. Una dosis excesiva puede tener como

consecuencia disgregaciones, fuertes retracciones o pérdidas de resistencia. El empleo de aditivos está motivado por razones de índole química y económica. Facilitan la reducción de los costes de material y de mano de obra. También pueden permitir un ahorro de energía y facilitar el proceso de hormigonado. Algunas propiedades específicas del hormigón, tanto fresco como ya fraguado, sólo se pueden alcanzar con el uso de aditivos.

Adiciones

Son sustancias minerales pulverizadas que modifican determinadas propiedades del hormigón (fundamentalmente el proceso de elaboración de la masa de hormigón, así como la resistencia y compactación del hormigón fraguado). Al contrario que en el caso de los agentes aditivos, la cantidad de materiales de adición es en general muy grande, por lo que debe tenerse en cuenta su parte proporcional en el cálculo del material.

Los tipos de materiales de adición más utilizados en Suiza son:

- **Materiales de adición inertes,** que no reaccionan ni con el cemento ni con el agua: pigmentos inorgánicos que se emplean para la coloración del hormigón y del mortero. También se emplean materiales de fibras, en especial de acero y de plástico, y con menos frecuencia de vidrio.
- **Materiales de adición puzolánicos,** que reaccionan con los materiales existentes en el proceso de hidratación: contribuyen a la conformación de la resistencia y también a una mayor compactación del hormigón.

Proceso

Armado

El hormigón armado es un material compuesto por hormigón y acero. La acción conjunta de ambos materiales (absorción de los esfuerzos de tracción por la armadura y de los de compresión por el hormigón), no se produce de un modo aditivo, sino que conduce a una nueva capacidad portante. Para su dimensionado, el diámetro de los redondos se basa en el cálculo estático que se obtiene a

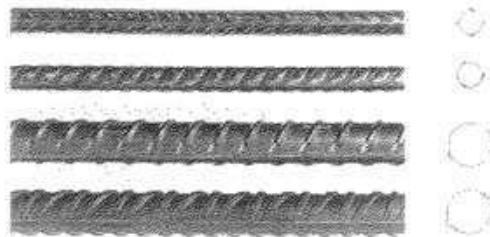


Fig. 13: Perfiles de redondos para armaduras

partir de las solicitaciones internas de los elementos estructurales. Para simplificar el cálculo del armado, basta con tener en cuenta el valor mayor de los momentos flectores en los puntos más importantes. Tanto la disposición como la distancia entre los redondos de la armadura, así como la red del armado, son resultado del análisis estático, que además debe poner atención en las posibilidades óptimas de compactación del hormigón: el vibrador ha de introducirse entre los redondos de la armadura.

Es necesario poner especial cuidado en el recubrimiento de la armadura por el hormigón. Casi todas las lesiones producidas en los sistemas constructivos con armaduras tienen su origen en una cubrición insuficiente y no en los errores de cálculo o en asentamientos del terreno. Los puntos con una cubrición insuficiente no son estancos y favorecen la corrosión de la armadura. El óxido tiene un efecto motriz, puesto que los cristales de óxido necesitan más volumen que el acero. Como consecuencia, el hormigón de recubrimiento se expande enormemente y aumenta de volumen, lo que provoca efectos de corrosión por la penetración de la humedad y/o del aire que puede ocasionar una disminución de la capacidad portante del elemento constructivo. Por tanto, la cubrición de hormigón, es decir, la distancia entre el hierro superior de la



Fig. 14: Detalle de un encofrado de madera con separadores



Fig. 15: Colocación de la armadura en obra

armadura y la superficie del encofrado, depende de diversos factores, pero nunca debería ser inferior a los 3 cm.

Encofrado

Para obtener la forma deseada, el hormigón necesita un encofrado.

Si el hormigón se vierte en un encofrado en obra, se obtiene el llamado "hormigón in situ"; los módulos realizados en fábrica se denominan "elementos prefabricados de hormigón".

La realización de un encofrado de hormigón a veces constituye uno de los trabajos más exigentes del carpintero. El material de encofrado debe tener un grosor adecuado y su construcción ser tan estable, sólida y firme como para que el relleno y compactado del hormigón no produzcan variaciones dimensionales (ni abombamientos, ni deformaciones).

Todas las juntas deben sellarse con los medios más adecuados para ello. El encofrado debe ser lo más estanco posible por ambas caras para evitar fugas del cemento durante su compactación.

Los encofrados de hormigón visto se realizan por lo general con tablas de madera, tableros o paneles de acero. Para la fabricación de los encofrados también se usan otros materiales como el fibrocemento (Eternit), la chapa ondulada, el vidrio, la goma o el plástico.

El encofrado de madera*El encofrado de tablas*

En la construcción de los encofrados de tablas se emplean predominantemente maderas como el abeto, el pino común o el pino silvestre. La elección y ensamblaje de las tablas requiere ciertos conocimientos y experiencia previos, así como utilizar tablas de la misma edad, densidad y contenido de resina, con grados de absorción similares. Asimismo, las tablas pueden tener una capacidad de absorción pobre o alta, según el tratamiento que hayan recibido con materiales auxiliares de encofrado (aceite, cera, pasta). Las superficies vistas de hormigón encofradas con tablas nuevas y muy absorbentes adquirirán una tonalidad distinta a las obtenidas con tablas viejas o ya utilizadas varias veces.

Formato: las dimensiones de los encofrados de tablas están supeditadas a las posibilidades de la madera. Las tablas no deben alabearse (doblar) por la acción de la humedad. La anchura máxima debe ser aproximadamente de 30 cm, la longitud máxima entre 500 y 600 cm; por lo general, la anchura habitual es de 10-15 cm y la longitud de hasta unos 300 cm.

El encofrado de paneles

Los encofrados de paneles contrachapados de madera presentan ventajas respecto a los de tablas. Se trabajan más rápida y fácilmente y, además, puede ahorrarse entre un 50 y un 70 % en los costes de montaje respecto a los formados exclusivamente por tablas. También presen-

tan mayor durabilidad y, al estar tratados normalmente con resinas sintéticas, se desprenden del hormigón con más facilidad.

Formato: los paneles presentan gran variedad de formatos. La dimensión máxima está determinada por su manejabilidad en obra. Un tamaño muy común en Suiza es el de 50×200 o 50×250 cm.

El encofrado de módulos, el encofrado de grandes superficies

En la actualidad, la industria proporciona diversos sistemas que permiten un rápido encofrado y desencofrado de grandes superficies: elementos modulares reticulares para paredes y placas portantes, encofrados de forjados con andamios adaptables, encofrados autoportantes deslizantes y con travesaños.

Para combinar las ventajas económicas de este sistema con las propiedades estéticas de otros tipos de encofrado, los encofrados modulares se emplean con frecuencia como soporte de encofrados de tablas y similares.



Fig. 16: Encofrado de forjados con paneles

El encofrado de acero

Los encofrados de chapa metálica de acero se utilizan tanto para la realización de hormigón in situ, como para la de elementos prefabricados de hormigón. Su frecuente uso para fabricaciones en serie permite compensar sus elevados costes de producción.

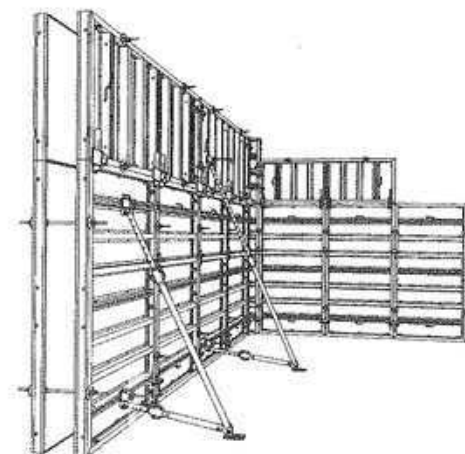


Fig. 17: Encofrado de acero. Sistema de encofrado de armazón

Superficies de encofrado

La estructura superficial del hormigón visto se determina por medio del material de encofrado (madera, tableros, paneles conglomerados, paneles de fibra de madera, fibrocemento, acero, plástico) y de sus superficies (rugosa, cepillada, lijada, recubierta de plástico).

La lisura o rugosidad del encofrado puede influir en la requerida claridad u oscuridad de la superficie del hormigón visto. Así, el hormigón conseguido con un encofrado totalmente liso será más claro que el obtenido con un encofrado rugoso.

Materiales auxiliares para desencofrar

Son productos como el aceite de desencofrar, la cera, la pasta y las emulsiones que, aplicadas a la superficie de contacto entre el encofrado y el hormigón, consiguen que a la hora de desencofrar no se produzcan lesiones del material y una más fácil separación entre el encofrado y la superficie de hormigón visto. Además, contribuyen a conseguir una superficie homogénea, protegen el material de encofrado y mantienen su disposición de uso.

La utilidad de un material auxiliar del encofrado depende también del tipo de material que debe desencofrarse (madera, paneles aglomerados, paneles de fibra de madera, fibrocemento, acero, plástico u hormigón).

Puesta en obra y compactado del hormigón

Para obtener una superficie vista limpia es necesario que el hormigón sea completamente homogéneo y posea una estructura compacta. La masa de hormigón debe mantenerse inalterada; es decir, debe verterse en el encofrado sin que se produzcan disgregaciones de sus componentes y compactarse allí uniformemente.

Compactación

El objetivo de la compactación no es tan sólo el relleno total del encofrado, sino también permitir la salida de las burbujas interiores de aire ocasionadas al verter el hormigón, el reparto homogéneo de la lechada de cemento y, mediante una compactación densa, producir una masa en la mayor medida posible libre de oquedades. Además, una cuidada compactación permite que el hormigón contacte estrechamente con la superficie del encofrado y, con ello, recubra sólidamente la armadura.

Procedimientos de compactación

- | | |
|-----------------------|--|
| Picado: | con estacas o barras; |
| Golpeo del encofrado: | para encofrados de poca altura; |
| Vibrado: | método estándar en obra: |
| | <i>vibradores internos</i> , se sumergen en la masa de hormigón, |
| | <i>vibradores externos</i> , sacuden el hormigón desde fuera; |
| Apisonado: | método de compactación usual antiguamente. |



Fig. 18: Compactación del hormigón

Vibrado

Los vibradores deben sumergirse hasta la altura exigida con rapidez y, una vez allí, extraerse lentamente para que el hormigón en conjunto fluya de nuevo tras la aguja del vibrador.

Los vibradores no deben emplearse para el reparto del hormigón, pues se corre el peligro de provocar una disgregación de sus componentes. En caso de una disgregación del hormigón como consecuencia de la compactación, se producen diferencias estructurales claras y apreciables que pueden manifestarse visiblemente en la superficie en forma de puntos donde se concentra la grava.

El hormigón no debe verterse en tongadas de una altura excesiva (para acelerar el proceso de trabajo), pues un peso excesivo de éstas podría impedir el paso a las burbujas de aire que se producen libremente.

Tratamientos posteriores

El endurecimiento del hormigón no es la consecuencia de su secado. Cuando un hormigón seca demasiado deprisa se producen grietas por retracción, puesto que la resistencia a tracción del material es aún muy limitada. Si se rocía el hormigón con agua, posiblemente se producirán eflorescencias en su superficie (producto de secreciones de cal). El hormigón debe conservar su propia humedad tanto tiempo como sea posible. El mejor procedimiento para ello consiste en cubrirlo con láminas impermeables, colocadas tan cerca del hormigón como sea posible, pero sin llegar a tocarlo, ya que en este caso puede dar lugar a manchas.

Tales procedimientos son laboriosos, pero imprescindibles para la calidad del hormigón visto.

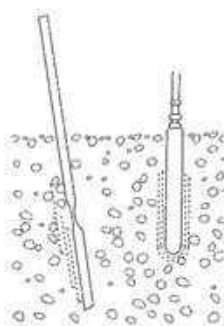
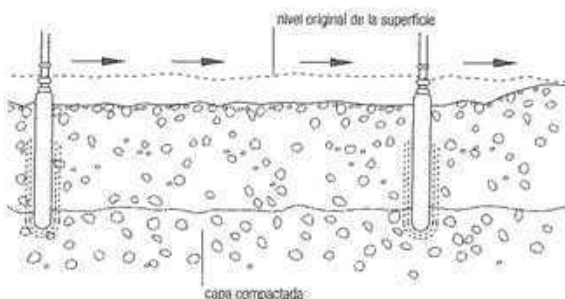


Fig. 19 y 20: Compactación con barra (izquierda) y con aguja de vibrador (derecha)



Procedimiento de compactación

Juntas

Cuando se construye con hormigón in situ es inevitable la formación de juntas entre el hormigón fraguado y el fresco. Además, la cantidad de hormigón que puede verterse en una tongada está limitada por la presión que ejerce sobre el encofrado. El proceso de hormigonado tiene que planificarse por fases que vienen delimitadas mediante juntas.

Tanto la posición como la forma de estas juntas se determinan conjuntamente entre el arquitecto y el ingeniero. Teniendo en cuenta que es imposible ocultar este tipo de juntas, resulta aconsejable planificarlas cuidadosamente.

Si se añade hormigón a una superficie ya hormigonada, las superficies de contacto deben alisarse, limpiarse y mojarse antes del vertido del hormigón fresco. En el caso de que la junta deba ser estanca al agua, es conveniente que la nueva capa de hormigón presente una buena dosificación, o bien cubrir la superficie previamente con un mortero de cemento. También existe la posibilidad de tratar la última tongada del hormigón anterior a la junta con un retardador de fraguado, para que la superficie de la junta se mantenga fresca hasta que pueda verterse de nuevo otra capa de hormigón.

Diez reglas para la elaboración del hormigón

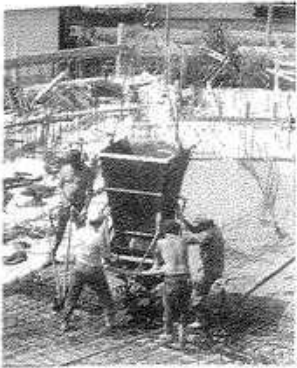


Fig. 21: Vertido del hormigón

1 El hormigón se obtiene mediante la mezcla de cemento con áridos (grava y arena) y agua. Normalmente 1 m³ de hormigón contiene 300-350 kg de cemento, aproximadamente 2.000 kg de áridos y 130-200 l de agua. Dependiendo de la finalidad de su uso, pueden añadirse otros materiales (aditivos), en una proporción aproximada de 0,5-10 kg/m³; adiciones, en una proporción aproximada de 5-50 kg/m³.

Una vez amasado el hormigón, debe verterse y compactarse en el curso del menor tiempo posible.

2 Cemento y agua componen una masa que, al solidificarse, mantiene su cohesión con los áridos. El cemento presenta una configuración de polvo y, por tanto, se añade al peso de la mezcla de arena y grava. Seco puede almacenarse durante meses, pero si se humedece forma grumos y resulta inservible.

3 Los áridos deben estar lavados; si están sucios, tienen lodo o presentan costras son inapropiados para el hormigón. Los componentes pizarrosos, margosos o micáceos disminuyen la calidad del hormigón.

Los áridos tienen que presentar una correcta granulometría, lo más homogénea posible. Por lo general, la dimensión mayor del grano es de 32 mm.

4 El contenido de agua influye decisivamente en la calidad de un hormigón: cuanto menos agua, menos poros y, por tanto, mayor consistencia, compacidad y durabilidad del producto fraguado.

El contenido de agua se especifica por la relación agua/cemento. Esta relación se obtiene a partir del peso de agua (humedad propia del árido más agua añadida) dividido por el peso de cemento.

En un buen hormigón, esta relación oscila entre 0,45 y 0,55, evitando siempre valores superiores a 0,6. Un hormigón rico en arena necesita más agua que el que contiene más granos de grava en bruto. Por tanto, un buen hormigón contiene más grava que arena.

5 Para modificar las propiedades del hormigón, tanto en su estado fluido como ya fraguado, pueden añadirse aditivos. Los aditivos más importantes son:

- Aditivos que mejoran la fluidez (plastificantes): mejoran la elaboración del hormigón, haciendo posible la reducción del contenido de agua y, con ello, una mejor calidad del mismo.
- Aditivos retardadores y aceleradores del fraguado: modifican el comienzo y la duración del fraguado.
- Aireantes: elevan la resistencia del hormigón frente a las heladas. Cuando el producto se encuentra sometido a la acción del hielo y de su sal de disolución, es forzosamente necesario su uso. Los poros microscópicos son a menudo ventajosos para un hormigón fresco muy consistente o espeso.
- Aditivos: las cenizas y el polvo de roca sustituyen al árido fino, pero no al cemento, y mejoran la elaboración del hormigón. También la cal hidráulica se usa como material de adición. Los pigmentos sirven para colorear el hormigón.

6 Antes de hormigonar, debe limpiarse a fondo el encofrado. Los charcos de agua en el encofrado, un uso excesivo de aceites o barnices, restos de madera o suciedades de toda clase perjudican la apariencia del hormigón. El encofrado debe ser estanco. La separación entre la armadura y el encofrado debe ser suficiente y estar asegurada desde el punto de vista constructivo.

7 El amasado del hormigón es importante para la calidad y elaboración del mismo. Su duración óptima es un poco más que un minuto. Una prolongación del amasado mejora su elaboración y produce un efecto favorable sobre la superficie vista. Un amasado demasiado breve perjudica las propiedades del hormigón tanto fresco como ya fraguado.

8 Cuando se transporta el hormigón, debe cuidarse que la pérdida de agua durante su transporte sea la menor posible. Si el transporte se efectúa en un camión abierto, hay que cubrirlo. En periodos calurosos puede reducirse fuertemente el tiempo de elaboración en la propia obra, a causa del efecto producido por el calentamiento durante el transporte. Una fluidificación de la masa, mediante la adición de agua en la propia obra, perjudica la calidad del hormigón.

El hormigón así transportado debe encargarse con tiempo suficiente, aportando todos los datos del producto solidificado.

9 La puesta en obra del hormigón debe realizarse en tongadas homogéneas. No debe amontonarse demasiado y repartirse posteriormente con la ayuda del vibrador, de lo contrario, existe riesgo de disgregación (formación de grupos de grava).

Cada tongada debe compactarse inmediatamente después del vertido hasta la eliminación del aire contenido en el hormigón. La distancia entre los puntos de inmersión de la aguja depende del diámetro de la misma y puede variar entre 25 y 70 cm.

Un vibrado prolongado disgrega la masa, pues los componentes gruesos se hunden, mientras que tanto el cemento como el agua ascienden. La disgregación provoca la aparición de manchas en la superficie vista. El peligro de disgregación disminuye con el uso de hormigones poco plásticos.

10 El tratamiento posterior es una parte fundamental del trabajo de hormigonado, pues evita un secado demasiado rápido. Las superficies expuestas han de cubrirse durante al menos cuatro días o regarse constantemente (en particular si están sometidas a corrientes de aire o a la radiación solar).

También debe protegerse el hormigón, cubriéndolo ante el riesgo de heladas, o bien manteniéndolo caliente frente a su enfriamiento.

Superficies vistas de hormigón

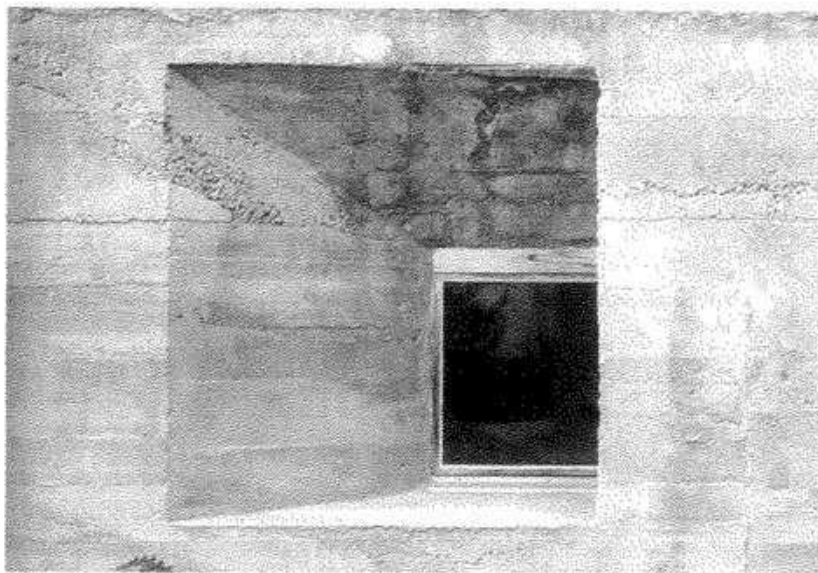


Fig. 22: El encofrado de tablas y los desconchones de grava producen una superficie rugosa
Rudolf Ogiotti: casa Ogiotti, Films, Suiza, 1964

Propiedades superficiales del hormigón encofrado

En la fuerza expresiva del hormigón encofrado influyen decisivamente dos aspectos: la estructura superficial del material de encofrado, sobre todo las juntas de encofrado, así como sus elementos separadores. Este hecho exige una planificación minuciosa de todas las juntas y separadores (así como el correspondiente y riguroso control de la ejecución) o una tolerancia en lo que respecta a la calidad definitiva de la superficie del hormigón.

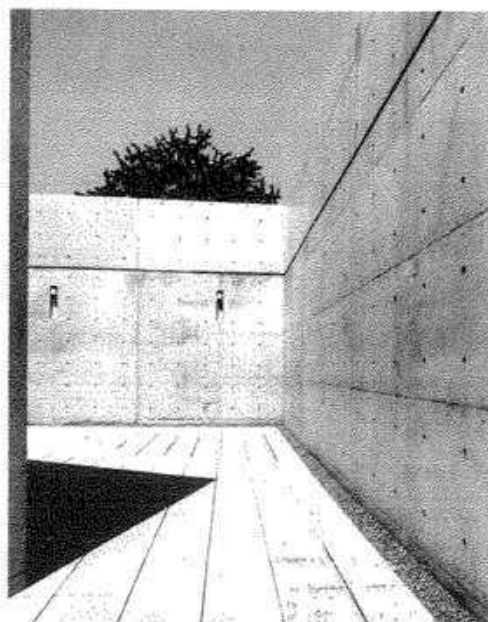


Fig. 23: Patio de muros de hormigón realizado in situ con paneles de encofrado del tamaño de las esterillas de un tatami (91 x 182 cm). Suelo cubierto con losas prefabricadas
Tadao Ando: pabellón para Vitra, Weil am Rhein, Alemania, 1993

Hormigón visto

Se diferencian fundamentalmente dos tipos de hormigón visto, dependiendo de que la delgada capa de revestimiento del cemento, situada directamente bajo el encofrado, se elimine o se mantenga.

La capa de revestimiento del cemento se mantiene

El encofrado y sus separadores determinan la expresión del hormigón. Para la formación de las juntas del encofrado existen distintas posibilidades, desde las realizadas a tope hasta las recubiertas con los más diferentes listones, pasando por las juntas abiertas.

Los orificios de los separadores se rellenan posteriormente con hormigón, se dejan abiertos, o se cubren y taponan.

La capa de revestimiento del cemento se suprime

La capa de revestimiento del cemento puede modificarse o quitarse del todo mediante un trabajo técnico o un tratamiento artesanal de cantería. La capa de revestimiento se cepilla o rocia hasta que los áridos queden al descubierto.

Tratamientos manuales:

- abujardado,
- punteado,
- picado,
- rascado o arañado.

Tratamientos técnicos (el grano del árido queda al descubierto):

- al chorro (con arena, bolas de acero, corindón, mezcla de arena y agua),
- al fuego,
- lavado (hormigón lavado),
- al ácido.

Tratamientos mecánicos (sólo superficiales):

- lijado,
- pulido.

Propiedades superficiales del hormigón sin encofrar

Las superficies de hormigón no encofradas (suelos y coronaciones de muros), ya fraguadas, se pueden trabajar como el hormigón encofrado.

También pueden tratarse las superficies con una gran variedad de herramientas antes de que hayan acabado de fraguar.

Color

El color del hormigón se determina tanto por la calidad de la mezcla (calidad del cemento, de la grava y de los pigmentos añadidos a la misma), como por el encofrado (nuevo o usado, por la calidad y la cantidad de los medios utilizados para desencofrar).

Propiedades de las superficies de hormigón encofradas

Tipo 1: Superficie de hormigón normal

Superficies sin especiales exigencias:
con cualquier estructura superficial
sin tratamiento posterior de las rebabas y los resaltes

Tipo 2: Superficie de hormigón con estructura homogénea

Superficies con las siguientes exigencias:
estructura superficial homogénea
dimensiones no prescritas de tablas o paneles de encofrado
con tratamiento posterior de las rebabas y los resaltes

Tipo 3: Superficie de hormigón vista con estructura de tablas

Superficies vistas con las siguientes exigencias:
– estructura superficial homogénea sin rebabas, resaltes y puntos porosos.
– es admisible la producción de poros en una proporción adecuada mediante la inyección de aire
– coloración lo más homogénea posible
– ancho de tabla continuo; unión entre tablas no especificada
– dirección regular de las tablas y paralela a la dimensión mayor de la superficie del encofrado
– tablas de encofrado lisas

Exigencias mayores precisan lo siguiente:

1. Juntas selladas
2. Juntas no coincidentes
3. Dirección regular de las tablas, vertical a la dimensión mayor de la superficie de encofrado
4. Configuración estructural acorde con el plano de detalle de la superficie encofrada
5. Empleo de tablas de madera aserradas sin tratar

Tipo 4: Superficie de hormigón vista con estructura de paneles

Superficies vistas con las siguientes exigencias:
– estructura superficial homogénea sin rebabas, resaltes y puntos porosos
– resulta admisible la producción de poros en una proporción adecuada mediante la inyección de aire
– coloración lo más homogénea posible
– dimensión continua de paneles; unión entre paneles no especificada
– dirección regular de los paneles y paralela a la dimensión mayor de la superficie del encofrado

Exigencias mayores precisan lo que sigue:

1. Juntas selladas
2. Juntas no coincidentes
3. Dirección regular de los paneles, vertical a la dimensión mayor de la superficie del encofrado
4. Configuración estructural acorde con el plano de detalle de la superficie encofrada

Propiedades de las superficies no encofradas de hormigón

Tratamiento del hormigón antes de su fraguado total:

- | | | |
|---|-----------------|---|
| 1 | robado en bruto | por ejemplo, con un listón |
| 2 | irregular | con una superficie áspera conseguida con un cepillo o rastrillo |
| 3 | nivelado | con mortero |
| 4 | nivelado | sin mortero |
| 5 | alisado | con una superficie plana, lisa y cerrada con acanaladuras paralelas de anchura y profundidad constantes |
| 6 | estriado | con superficie rugosa de estructura vertical, horizontal o en espina de pez |
| 7 | cepillado | reducción de la relación agua/cemento al extraer agua en un proceso al vacío |
| 8 | al vacío | |

Tratamiento del hormigón enteramente fraguado

- | | | |
|---|--------------------|---|
| 1 | hormigón lavado | tratamiento que consiste en la extracción del árido fino superficial para que quede depositado sobre la superficie el grano en bruto |
| 2 | al chorro de arena | tratamiento mecánico con el que se obtiene una superficie rugosa y mate, mostrándose el color del material de base |
| 3 | rociado | tratamiento con chorro de agua a presión |
| 4 | al ácido | tratamiento químico que consigue una textura rugosa eliminando los componentes calizos y muestra el color del material de base |
| 5 | picado | tratamiento de golpeo de la superficie de hormigón con herramientas especiales, bien manual o mecánico, para conseguir un granulado de hasta 5 mm de grosor |
| 6 | lijado | tratamiento que deja la superficie libre de poros, lijada manual o mecánicamente, tratada con Fluat y agua |
| 7 | pulido | tratamiento que deja una superficie brillante lijada, con relleno posterior de poros y nuevo lijado |
| 8 | sellado | tratamiento de impermeabilización de la superficie (incoloro) |

Calidades del encofrado según la normativa suiza (SIA 118/262:2004)
Véase también: DIN 18 217 (1981); DIN 18 331 (2002); DIN 68 791 (1997)



Fig. 24: Encofrado horizontal de tablas
Encofrado compuesto por tablas de abeto Douglas, de 3 cm de grosor; cantos lisos y tablas colocadas a tope



Fig. 25: Encofrado horizontal de tablas
Encofrado compuesto por tablas de abeto Douglas, de 3 cm de grosor y 18 cm de anchura; cantos rehundidos y tablas colocadas a tope. Se forman las características estrías salientes en el hormigón

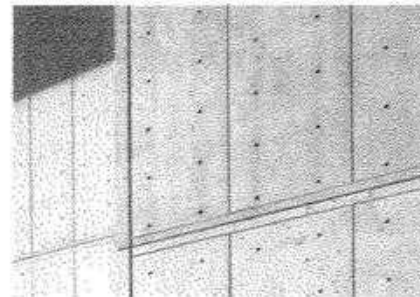


Fig. 26: Encofrado vertical de paneles (paneles con pintura de resinas sintéticas)
Louis I. Kahn: Salk Institute, La Jolla (California), Estados Unidos, 1959-1966

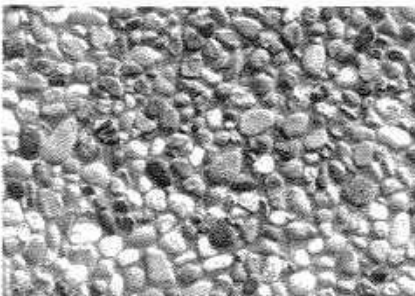


Fig. 27: Hormigón lavado
Áridos gruesos que dejan a la vista su granulación mediante el rociado de los finos

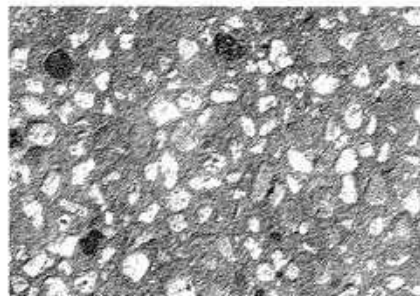


Fig. 28: Superficie tratada con chorro de arena
Áridos gruesos que dejan a la vista su granulación por la acción del chorro de arena

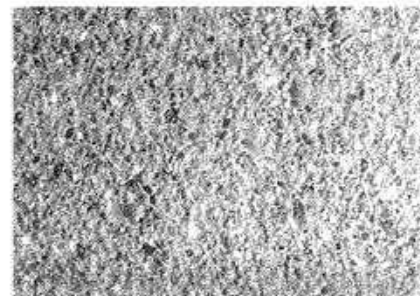


Fig. 29: Superficie picada
Superficie de hormigón abujardada

Apoyo del forjado de hormigón visto con aislamiento térmico interior

Factores causantes de puente térmico

La unión entre pared y forjado, o bien el apoyo del forjado en muros de hormigón visto con aislamiento térmico interior, produce un puente térmico (pérdida de calor). Tan sólo puede resolverse este problema en edificios de una sola planta, en estancias cerradas en sí mismas donde

ningún forjado intermedio o forjado de un piso interrumpe el aislamiento. En el resto de los casos se emplean dos soluciones distintas. Deben tenerse en cuenta ambas soluciones en relación con la física estática.

Temperatura exterior
- 10 °C

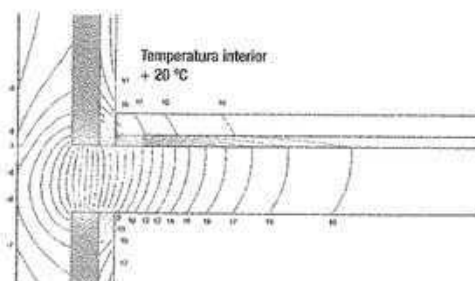


Fig. 30: Gráfico de isoterma

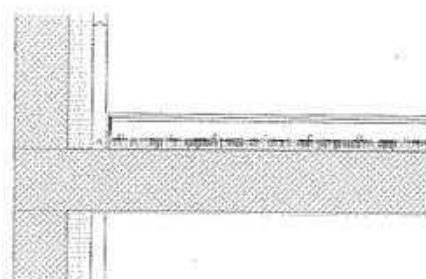


Fig. 31: Detalle constructivo



Fig. 32: Colocación de un elemento aislante revestido con placas de madera
Bänzli & Courvoisier, escuela Lindt, Niederhasli, Suiza, 2003

Solución 1: aislamiento térmico en el techo (capa inferior del forjado)

La colocación de paneles aislantes a lo largo de los bordes del forjado en su encuentro con la pared exterior permite una unión compacta entre forjado y pared, pero no soluciona completamente la pérdida de calor o el enfriamiento en la superficie superior del hormigón. Supone un problema cri-

tico sobre todo en la zona del zócalo. Además, la colocación de un panel aislante produce el efecto de una separación óptica en la superficie del techo, por el contraste de materiales distintos. Si el techo se enlucce, se corre el riesgo de la aparición de grietas en el curso de la colocación del aislante (hay que poner una especial atención en el techo).

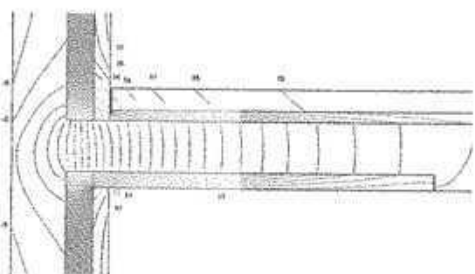


Fig. 33: Gráfico de isoterma

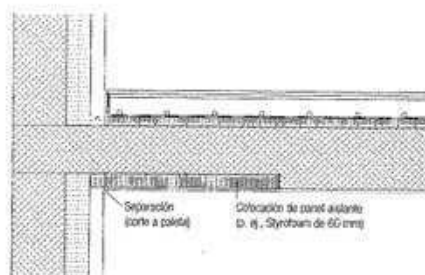


Fig. 34: Detalle constructivo

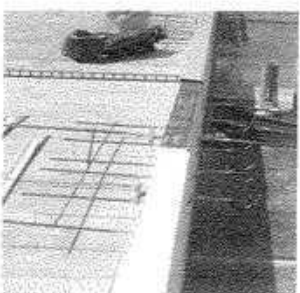


Fig. 35: Ejemplo de colocación en obra de mallazos isotermos

Solución 2: separación de forjado y pared

Con el desarrollo de mallazos isotermos, de espigas que evitan el cizallamiento y de elementos parecidos, es posible separar en parte forjados y paredes. La separación no compacta entre forjado y pared produce en todo caso un efecto negativo. Hay que prever mayores dilataciones (sobre todo en las esquinas que sobresalen o se retranquean). La temperatura en la superficie superior del forjado, en la zona del zócalo, es más alta con respecto a la de la solución 1.

Mallazos isotermos y espigas anticizallamiento

Los fabricantes ofrecen mayoritariamente estos dos tipos de elementos colocados en el forjado. La espiga anticizallamiento puede absorber tan sólo esfuerzos transversales, mientras que el mallazo isoterma absorbe también los esfuerzos a flexión. La ventaja de la espiga frente al mallazo isoterma es que puede admitir ciertas dilataciones.



Fig. 36: Mallazo isoterma

Espiga anticizallamiento

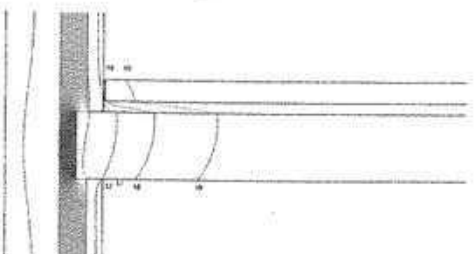


Fig. 37: Gráfico de isoterma

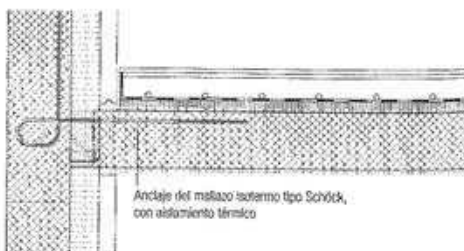


Fig. 38: Detalle constructivo

Anclaje de un revestimiento exterior pesado (hormigón)

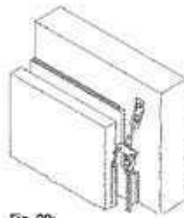
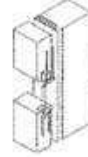
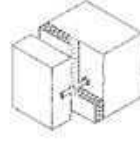


Fig. 39: Pieza superior (anclaje de fachada). Suspensión del elemento en la parte superior.



Pasador entre los elementos



Tornillo de presión (separador)

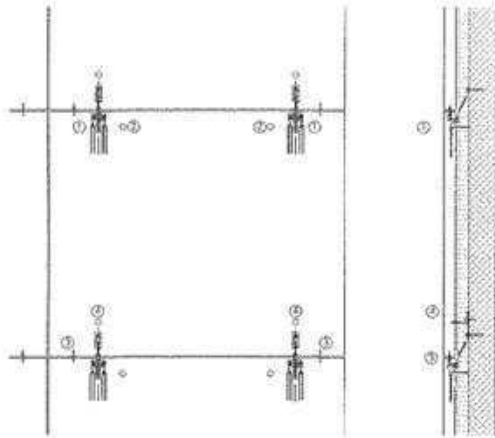


Fig. 40: Sistema de anclaje de fachada: alzado y sección (a la derecha)

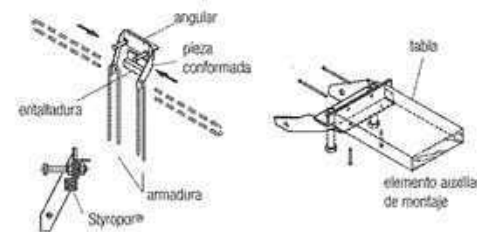
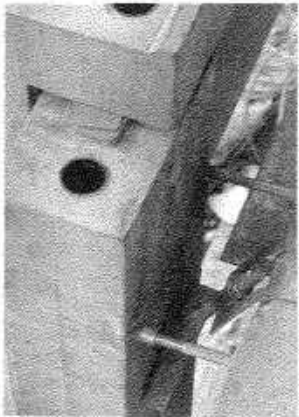


Fig. 41: A Introducción del anclaje en la obra, colocación en el encofrado



Fig. 43: Revestimiento exterior difícil

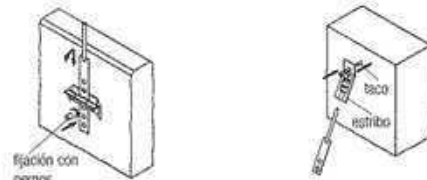


Fig. 42: B Montaje en obra

Anclaje de elementos de fachada pesados

Los grandes elementos prefabricados para fachadas deben suspenderse teniendo en cuenta su peso. A causa del elevado rendimiento exigido a los herrajes de sujeción, por lo general son necesarios dos anclajes de fachada para placas de la altura de una planta. Para poder admitir tolerancias constructivas o poder colocar las placas en vertical niveladas correctamente, los anclajes deben ser regulables en las tres dimensiones. Su efecto como puentes térmicos puntuales debe ser tolerable. Para los anclajes se emplea acero fino (libre de impurezas). La distancia en la pared entre el hormigón y los elementos puede variar entre 0 y 14 cm y, en casos particulares, puede ser aún mayor. Hay que poner especial atención a la presión y la succión del viento.

Los sistemas de anclajes de fachada se componen casi siempre de:

- 1 una parte superior (anclaje de fachada portante), con varilla roscada ajustable en altura;
- 2 un tornillo separador para el ajuste de la distancia al muro;
- 3 un pasador para la fijación de los elementos entre sí;
- 4 eventualmente, un tornillo de presión, en función de las cargas (presión o succión del viento).

Los anclajes se colocan simétricamente para que cada uno de ellos reciba la mitad del peso propio de la placa de fachada. Las juntas entre los distintos paneles deben ser lo suficientemente grandes (15 cm) como para evitar los esfuerzos adicionales (por ejemplo, por dilatación) que puedan ejercerse sobre ellos.

Montaje

A La parte superior (anclaje de fachada) se coloca en el encofrado de la placa y se une a la armadura. Se fija a la entalladura del estireno entre el angular y la parte formateada (posteriormente, se retira de la obra). La tabla de madera representada en la figura se usa sólo como elemento auxiliar de montaje (para la fijación al encofrado de la placa de fachada).

B Medición y colocación del estribo en la pared de hormigón en bruto:

- separación de la entalladura del estireno,
- introducción de la cinta perforada entre la parte formateada y el angular,
- fijación de la cinta perforada con pernos,
- aplicación de un pegamento de seguridad para la fijación de la tuerca y el montaje de la pieza acabada en el estribo.

Anclaje de un revestimiento exterior pesado (piedra natural)

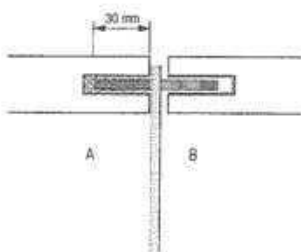


Fig. 44: Anclaje embebido en mortero en una junta vertical
A Espiga embebida en el mortero
B Espiga en tubo de plástico deslizante (posibilidad de dilatación)



Fig. 45: Anclaje embebido en mortero en una junta horizontal

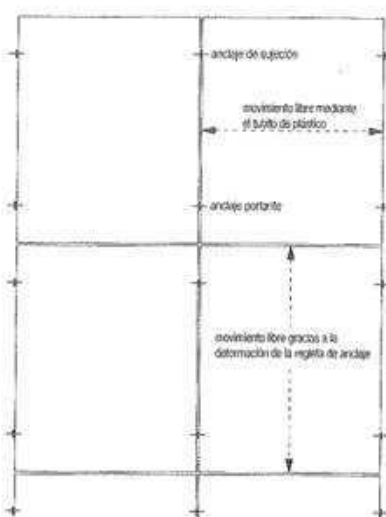


Fig. 46: Alzado del aplacado

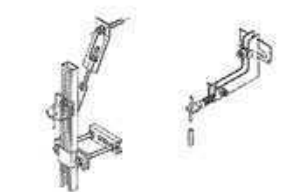
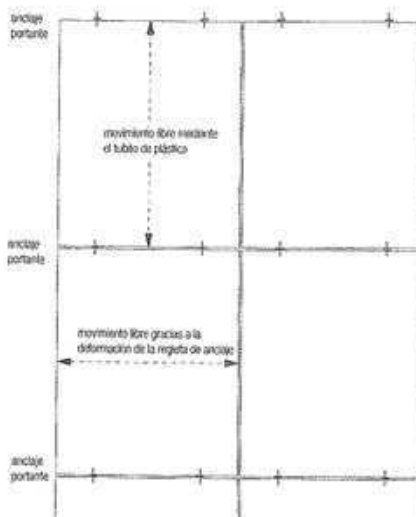


Fig. 47: Anclaje en ménsula y regleta de perfil

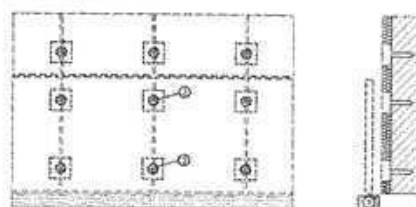
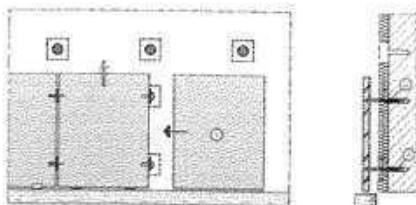
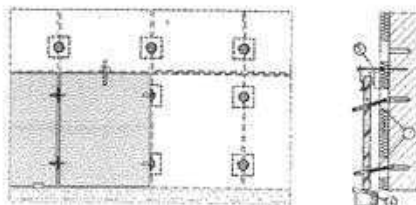


Fig. 48: Montaje de anclaje embebido en mortero

1. Colocar el armazón de montaje para la hilera inferior de las placas a la altura adecuada.
2. Recortar el aislante térmico en la zona de los orificios que es necesario taladrar.
3. Taladrar los orificios de anclaje sin dañar los hierros de la armadura. Eliminar el polvo.
4. Colocar las placas de piedra natural a la altura conveniente.
5. Ajustar el borde superior de las placas a la distancia adecuada con ayuda de cuñas.
6. Humedecer los orificios taladrados, rellenarlos de mortero y compactarlo.
7. Introducir correctamente los anclajes en el mortero. Colocar la espiga de anclaje.
8. Compactar nuevamente el cemento y alisar la superficie.
9. Volver a colocar el aislante térmico en la zona de anclaje. Ajustar lateralmente la placa siguiente.



Sujeción de placas de piedra natural

El elemento constructivo compuesto de distintas piezas que sirve para la sujeción de placas suspendidas se denomina "anclaje". El anclaje salva la distancia existente entre la placa y la estructura portante, y deja con ello el suficiente espacio para el aislamiento térmico y la aireación. Las placas de piedra natural se sostienen por medio de los anclajes portantes y de sujeción en las juntas verticales u horizontales (son necesarios cuatro puntos de sujeción). Los anclajes deben admitir tanto el peso propio de la placa como la presión y succión del viento. Existe una gran variedad de anclajes. En el caso de la pared interior portante, que tiene muy poca o nula estabilidad, dispone también de infraestructuras metálicas (sistema de rieles) para la sujeción de las placas de fachada. Los medios de sujeción pueden clasificarse en:

- anclajes embebidos en el mortero;
- anclajes de tornillo, anclajes en ménsula;
- vástagos de perfil, infraestructuras metálicas.

La sujeción utilizada más frecuentemente es el anclaje embebido en mortero, tal como se muestra en las figuras 44 y 45.

Espigas de anclaje, anclaje embebido en el mortero

El acabado de las piezas de anclaje debe ser de acero inoxidable. Las espigas se introducen unos 30 mm en las perforaciones realizadas en la superficie de los cantos de las placas. El diámetro de los orificios es unos 3 mm más grande que el de las espigas. La distancia habitual entre el borde de la placa y el centro del orificio es 2,5 veces el grosor de la placa, que como mínimo tiene 30 mm.

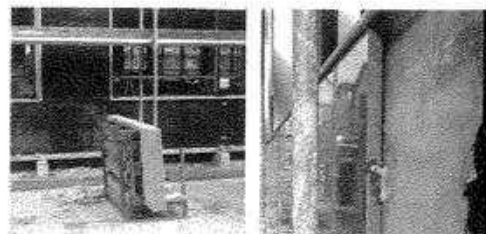


Fig. 49: Fachada de piedra natural
Montaje con anclaje enclavado

Montaje de anclajes embebidos en el mortero

Los anclajes deben introducirse profunda y suficientemente en el elemento constructivo con capacidad portante (hormigón u obra de fábrica). Cuando la sujeción se hace en elementos constructivos con capacidad portante, la sección de los mismos no debe debilitarse inadecuadamente. Antes del taladrado de los huecos de anclaje hay que recortar el aislante térmico y, una vez introducido el anclaje en el mortero, se pega de nuevo el trozo de aislante recortado. Los anclajes embebidos en el mortero se ajustan al endurecerse éste (quedan solidariamente unidos a él).

Predimensionado de forjados de hormigón armado

Estimación de las primeras dimensiones en el proyecto

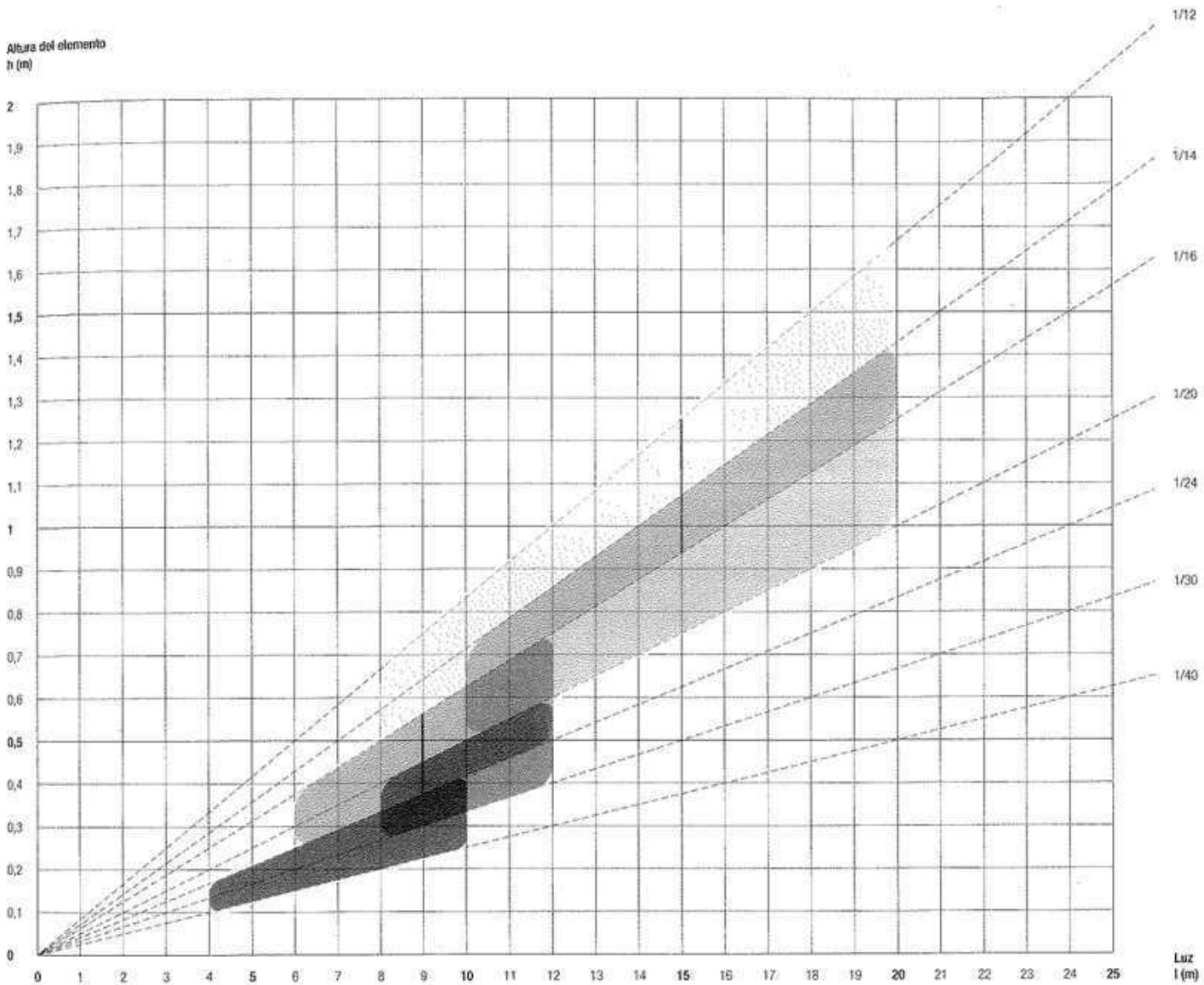


Fig. 50: Indicaciones para el uso de la tabla
En caso de grandes cargas (peso propio y sobrecargas de uso), hay que aplicar los valores máximos previstos en la tabla para la altura del elemento, y viceversa en el caso de cargas mínimas.
Las dimensiones y relaciones representadas no pueden verificarse científicamente. Los trapecios deberían representarse realmente "de modo impreciso". Para una aplicación racional del elemento portante, deben evitarse las zonas que representan "valores límite" en este gráfico.

Fuente: M. Dietrich, escuela de ingenieros Burgdorf, 1990.

Elemento portante (parte de elemento portante)	Luz l (m)	h^*/l
Forjado sobre paredes	– 10 m	1/24 – 1/40
Forjado plano sobre pilares, sin pretensar	6 – 12 m	1/16 – 1/24
Forjado fungiforme	8 – 12 m	1/20 – 1/30
Forjado sobre vigas, sin pretensar	8 – 20 m	1/12 – 1/16
Forjado reticular	10 – 20 m	1/14 – 1/20

* En el caso de forjados pretensados puede reducirse la sección constructiva hasta aproximadamente un 30 %

Elementos estructurales lineales



Fig. 51:
Dimensiones de la sección transversal para luces y cargas habituales en edificación en altura (aproximadas):

Altura de vigas (h)

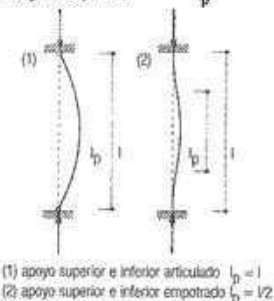
Vigas simples: $h/l = 1/11$ hasta $1/13$
 Vigas incorporadas en losas: $h/l = 1/13$ hasta $1/15$
 Vigas continuas (perimetrales): $h/l = 1/12$ hasta $1/15$
 Vigas continuas (interiores): $h/l = 1/15$ hasta $1/18$

Anchura de vigas (a)

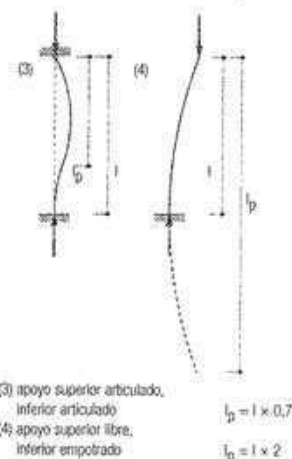
a mínima: 180 mm
 a mínima para una longitud de 5 a 8 m: 200 mm
 a mínima para una longitud de 8 a 12 m: 300 mm
 a mínima para una longitud de 12 a 15 m: 400 mm

Longitud de pilares

Longitud de pandeo



(1) apoyo superior e inferior articulado $l_p = l$
 (2) apoyo superior e inferior empotrado $l_p = l/2$



(3) apoyo superior articulado, inferior articulado $l_p = l \times 0,7$
 (4) apoyo superior libre, inferior empotrado $l_p = l \times 2$

Anchura de pilares a

a = menor dimensión de la sección transversal del pilar

Sección rectangular: $a = l/14$
 (valor aproximado cuando el pandeo no es determinante)

dimensión mín. para hormigón in situ: $a \geq 200$ mm
 dimensión mín. para elementos prefabricados: $a \geq 150$ mm

Dimensión de pilares en edificios de varias plantas

Retícula estructural $7,5 \times 7,5$ m, altura de la planta 3,6 m (para una carga normal, p. ej. edificios de oficinas)

Pilares que soportan 1 planta: $a = 250$ mm
 Pilares que soportan 2 plantas: $a = 350$ mm
 Pilares que soportan 3 plantas: $a = 400$ mm
 Pilares que soportan 4 plantas: $a = 450$ mm

Vigas

Las vigas son elementos estructurales sometidos en su mayor parte a esfuerzos de flexión. La magnitud del momento flector influye tanto en las dimensiones (altura, esbeltez, forma de la sección) como en la forma del armado (viga pretensada o no). La viga como elemento estructural puede ser continua, apoyada en dos o más puntos, empotrada, en placas de forjado (losa superior y vigas de apoyo) o en armazones estructurales.

En el sentido convencional (rectangular), la viga de hormigón vertido in situ es un elemento poco habitual, pues por lo general se une monolíticamente a una losa para constituir la placa de forjado. Si la zona de compresión de la placa se encuentra únicamente en el área de la losa, se puede reducir la altura de la viga.

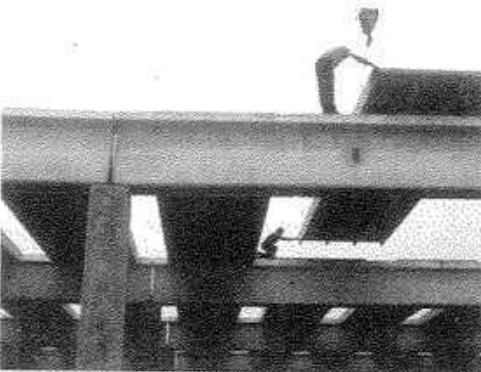


Fig. 52: Vigas prefabricadas en un edificio con estructura de esqueleto. Angelo Mangiarotti: edificio industrial, Bussolengo Baresse, Italia, 1982

En elementos prefabricados, donde los encofrados pueden usarse muchas veces, puede resultar conveniente ajustar el dimensionado de la viga a sus solicitaciones. Por ejemplo, la línea de momentos puede variar consiguiendo en su altura y la línea de esfuerzos en su anchura. En grandes luces, las secciones transversales se optimizan con un enorme ahorro de material y peso, y los elementos portantes se configuran como entramados o estructuras portantes (cerchas) situadas debajo del forjado para la descarga de los esfuerzos estáticos.

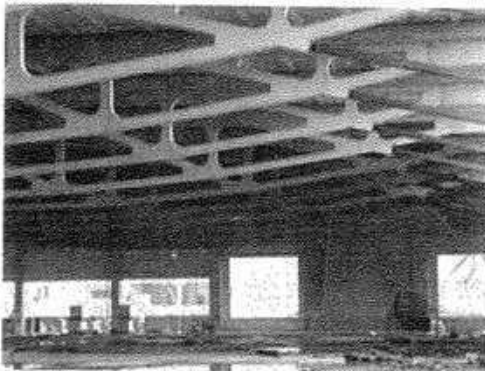


Fig. 53: Estructura portante situada debajo del forjado (cercha). Nave industrial en Lustenau, Austria

Pilares

Los pilares transmiten las cargas verticales a la cimentación. A su vez, la absorción de los esfuerzos horizontales (originados por el viento o movimientos sísmicos) exigen las correspondientes mayoraciones de las secciones.

La plasticidad del hormigón permite elegir la forma deseada de su sección, sin embargo, no conviene perder de vista el gasto en encofrado, y, en todo caso, tanto éste como la colocación del armado suponen una limitación. La forma "ideal" es la sección circular, pues la estabilidad al pandeo es igual en todas las direcciones. No obstante, por las técnicas de encofrado, los pilares de hormigón in situ son habitualmente de sección cuadrada o rectangular. Las dimensiones mínimas de su sección son de 200 mm y en pilares prefabricados de 150 mm, estos últimos hormigonados tendidos en horizontal. Después de la operación, las superficies se pueden dejar tal cual se tratan posteriormente según el acabado visto que se desee. Tanto los pilares prefabricados de sección cuadrada como los de sección circular pueden fabricarse mediante el procedimiento del hormigón centrífugo. El encofrado se rellena, se tapa y se rota para la compactación del hormigón. Se obtiene así una superficie del mismo absolutamente lisa y regular.

Los pilares son elementos esbeltos sometidos a compresión que pueden llegar a romperse por pandeo. Cuanto más delgado es un pilar tanto menor es la carga que admite (resistencia al pandeo). En consecuencia, la longitud del pilar debe guardar una determinada relación con respecto a la menor dimensión de su sección. La longitud de pandeo, es decir, la longitud que puede tener el pilar, se deduce del modo de asiento (mínima para grandes cargas, mayor para pequeñas). En edificaciones en altura se emplean normalmente pilares con apoyos articulados tanto en su parte superior como inferior.



Fig. 54: Pilares de hormigón, unidos a un forjado de hormigón armado mediante un capitel de acero. Axel Schultes: Kunstmuseum, Bonn, Alemania, 1992

Sistemas estructurales de elementos lineales

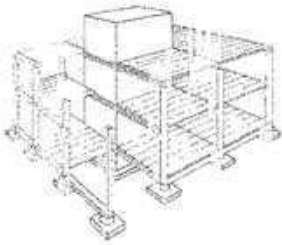


Fig. 55: Edificio de varias plantas con un sistema constructivo de esqueleto formado por pilares, vigas y forjados prefabricados. El núcleo de hormigón in situ sirve para la absorción de los esfuerzos horizontales (rigidización)

Arcos

El arco es un elemento lineal curvo (una barra curva). Ante solicitaciones discretas el arco trabaja a compresión y a flexión. Si tiene una forma adecuada, absorbe una carga regular exclusivamente sobre su línea de empujes (sin momentos flectores). Su forma "ideal" es inversa a la curva configurada por una cuerda tendida que se soporta por su propio peso (catenaria).

Habitualmente, el arco de hormigón armado se utiliza como elemento estructural en puentes con grandes luces. En épocas anteriores, cuando la relación entre los costes de la mano de obra y de los materiales era distinta, el arco de hormigón construido in situ también se usaba en construcciones en altura y para cubrir naves industriales de grandes luces. Hoy apenas se utiliza y, en todo caso, exclusivamente en la construcción prefabricada.

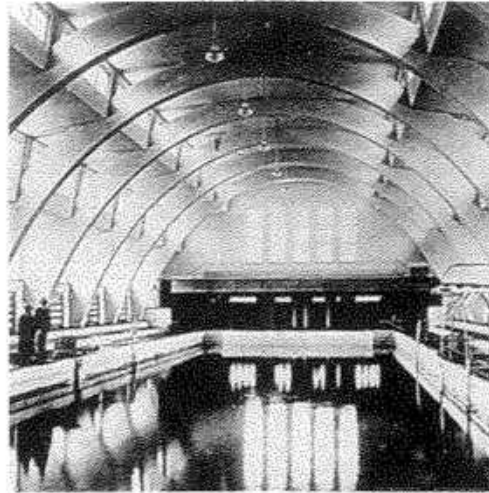


Fig. 56: Sistema constructivo de arcos empotrados
Departamento de Construcción de Stuttgart (F. Flechle y F. Cione): piscina, Heilbronn, Alemania, 1929

Entramados

Cuando se unen barras verticales y horizontales surgen entramados rígidos consistentes a los esfuerzos a flexión. A causa de los momentos flectores en los encuentros entre vigas y pilares, debe tenerse en cuenta que la sección de las barras horizontales sea mayor que la de los pilares habituales sometidos a una carga central.

El pórtico representa en su plano un sistema rígido que absorbe tanto cargas horizontales como verticales, y puede así asumir la función de una placa rigidizadora en un edificio. El sistema de entramados, que producen a su vez un efecto rigidizador, son económicos sobre todo en edificios de una o dos plantas. En edificios de más pisos es preferible una solución de placas estructurales.

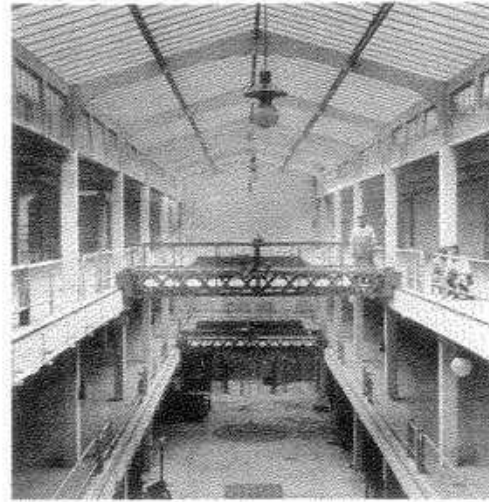


Fig. 57: Entramado rígido de vigas y pilares empotrados
Auguste y Gustave Perret: garaje Pontreux, París, Francia, 1906

Esqueletos

Los esqueletos se componen de elementos portantes prefabricados como pilares, vigas y losas de forjado. Estos elementos, con pilares empotrados, forman conjuntamente un sistema de entramado resistente a los esfuerzos a flexión.

En los edificios de una o dos plantas los esfuerzos horizontales se transmiten a la base de la cimentación por medio de pilares empotrados en su parte inferior, en edificios de más plantas mediante placas estructurales verticales.

El sistema de estructura en esqueleto permite una mayor flexibilidad respecto a las exigencias de uso, ya que la función portante es completamente independiente del resto de las funciones del edificio.

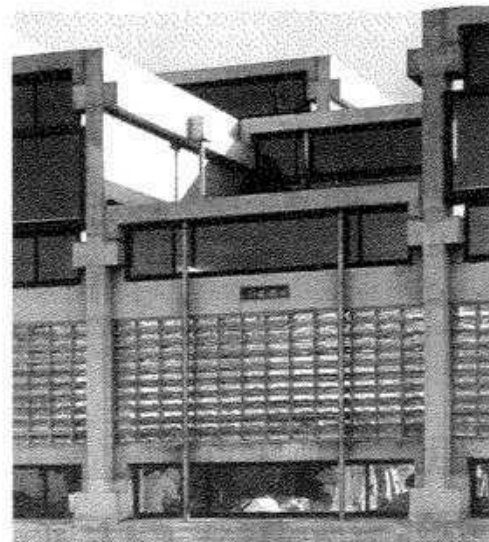


Fig. 58: Edificio de elementos prefabricados y vidrio
Hermann Hertzberger: ampliación de la fábrica LinMil, Ámsterdam, Países Bajos, 1964

Elementos portantes superficiales

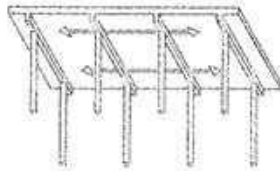


Fig. 59: Losa continua tendida en una dirección

Grosos de lasas tendidas en una dirección	
Lasas en voladizo	$h/l = 1/12$
Lasas continuas	$h/l = 1/25$
Lasas continuas (perimetrales)	$h/l = 1/30$
Lasas continuas (interiores)	$h/l = 1/35$

Grosos de lasas tendidas en varias direcciones	
Lasas continuas	$h/l = 1/30$
Lasas continuas (en esquina)	$h/l = 1/40$
Lasas continuas (interiores)	$h/l = 1/45$

grosor mínimo (h) de 180 a 200 mm
(para protección acústica y contra incendios)

Luces rentables	
Lasas tendidas en una dirección	$l < 6$ a 7 m
Lasas tendidas en varias direcciones	$l < 8$ m



Fig. 60: Losa nervada

Grosos de una losa nervada	
Altura total (h)	$h = \text{de } 1/20 \text{ a } 1/35$
Distancia entre nervios (d)	$d \leq 2$ veces la altura
Grosor de la losa (h)	$h \geq 50-80$ mm o bien, $0,1 \times$ la distancia entre nervios (entre ejes)

Luces rentables	
Lasas nervadas	$l = \text{de } 7 \text{ a } 12$ m
Prefabricadas, pretensadas	$l = \text{hasta } 18$ m



Fig. 61: Losa plana

Grosos de una losa plana	
Lasas rectangulares (tendidas en una dirección)	$h/l = 1/30$
Lasas cuadradas (tendidas en varias direcciones)	$h/l = 1/35$

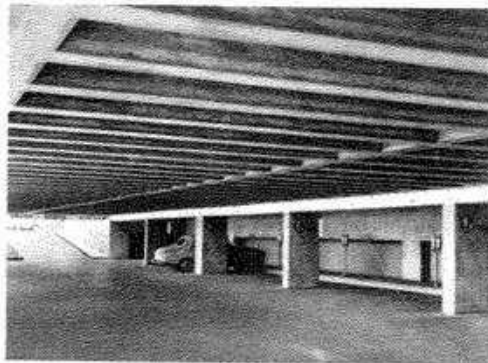
grosor mínimo (h) 200 mm
(para protección acústica y contra incendios)

Luces rentables	
Forjado plano	$l \leq 8$ m

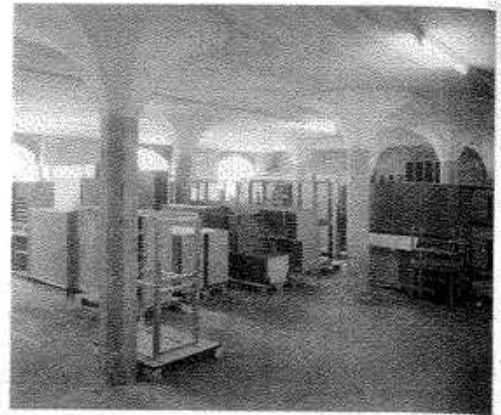
Lasas

Las lasas de hormigón son elementos sometidos a esfuerzos que se producen perpendicularmente a su superficie, principalmente de flexión. Se diferencia entre lasas que soportan tensiones según un solo eje o según más de uno. Dentro de las primeras se encuentran, por ejemplo, las lasas en voladizo o las que están tendidas sobre dos paredes situadas una frente a la otra. La losa "ideal" tensionada según varios ejes configura un cuadrado apoyado en sus cuatro lados. Las cargas se absorben en varias direcciones y, en consecuencia, la losa puede realizarse con un menor grosor. La relación del grosor de la losa respecto de la luz depende de la clase de apoyo (lasas en voladizo, continuas o compartimentadas).

Para reducir el peso propio en construcciones de grandes luces se emplean sistemas de lasas aligeradas. Los sistemas empleados para forjados de construcciones en altura pueden ser de lasas apoyadas linealmente, como las que soportan tensiones según uno o más ejes, de lasas nervadas (solicitadas según un eje), reticuladas o de casetones (solicitadas según varios ejes), y sistemas con apoyos puntuales, como lasas planas o fungiformes. Las lasas nervadas y reticuladas, que descansan sobre paredes o suponen una infraestructura bajo el forjado, tienen la ventaja de que ahorran peso (ahorro de material en la zona donde se producen las tensiones estáticas) frente a las placas de construcción macizas, pero, en cambio, requieren un mayor gasto de encofrado (a causa de la imprescindible prefabricación de los elementos del mismo).

Fig. 62: Aparcamiento subterráneo, construido hacia 1960
Losa nervada

En los sistemas de lasas con apoyos puntuales, las cargas se transmiten de cada campo en que está dividida la losa a los apoyos (pilares). La elevada sollicitación en el ámbito de los pilares exige una armadura en consonancia con la misma (lasas planas), o un refuerzo suplementario mediante cabezales en forma de hongo (lasas fungiformes). Los forjados planos muestran frente a los de lasas aligeradas una relativa menor altura constructiva. Una máxima sollicitación a la flexión y a esfuerzos transversales en el ámbito de los pilares conlleva el riesgo del aplas-

Fig. 63: Los capiteles transmiten las cargas de los pisos superiores a los pilares de forma continua
Robert Maillart: almacén en la calle Glesshübel, Zürich, Suiza, 1910

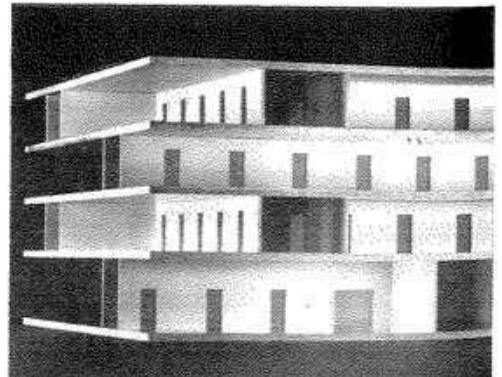
tamiento de la losa. Mediante el aumento de las superficies de apoyo y del grosor del forjado en ese ámbito, y por medio de la introducción de una armadura apropiada al efecto o de un cabezal fungiforme de acero, puede garantizarse la seguridad estructural también en el ámbito de los pilares. En la actualidad, los forjados fungiformes se realizan, por lo general, con cabezales y pilares prefabricados, con el fin de optimizar el procedimiento constructivo.

Placas estructurales

En la edificación, las placas estructurales se usan como paredes. Sirven como elementos constructivos portantes y/o elementos de delimitación espacial. A diferencia de las lasas, sometidas predominantemente a esfuerzos de flexión, las placas absorben sollicitaciones en su plano y deben resistir, por lo tanto, esfuerzos normales.

Se diferencia entre placas de apoyos lineales, que transmiten las cargas verticales de forma directa, y placas apoyadas puntualmente, equiparables estructuralmente a las vigas, que desvían las cargas a los apoyos.

Debido a su elevada rigidez, las placas se usan para la absorción de esfuerzos horizontales (arriostramiento), y también como soportes.

Fig. 64: Maqueta de una estructura portante de placas oblicuas o giradas 90°
Mordor & Degelo: centro comunitario Reinach, Basilea, Suiza, 1997-2000

Sistemas estructurales planos

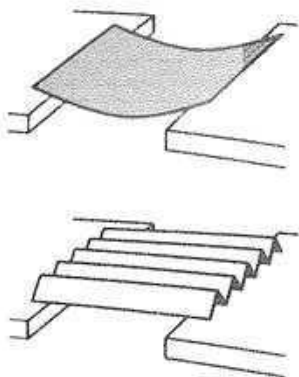


Fig. 65: Rigidez de una hoja de papel mediante su plegado: fundamento de una estructura plegada

Sistemas plegados

Si se colocan dos hojas de papel entre dos apoyos, plegándose una en "acordeón" y la otra no, puede constatar-se que esta última se deforma bajo la acción de su propio peso, lo que no sucede en el caso de la primera. Los sistemas plegados se basan en este principio.

Los sistemas plegados están formados por superficies planas, convenientemente inclinadas, unidas en sus cantos (pliegues) y resistentes a los esfuerzos cortantes. Los esfuerzos se absorben por la acción conjunta de los principios constructivos en que se basan las losas y las placas estructurales. Mientras que las losas reaccionan a las solicitaciones que se producen en perpendicular a su superficie y predominantemente a los esfuerzos de flexión, la placa con capacidad portante, si es lo suficientemente rígida, puede absorber también esfuerzos en su plano y transmitirlos a los apoyos.

De este modo, las estructuras plegadas permiten cubrir grandes superficies sin necesidad de pilares intermedios, y se emplean preferentemente en cubiertas de grandes luces.



Fig. 66: Cubierta plegada apoyada sobre pilares en forma de Y
Hans Hofmann, central hidroeléctrica de Birsleiden, cerca de Basilea, Suiza, 1953-1954

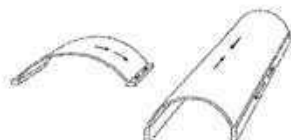


Fig. 66: Formas con una sola curvatura

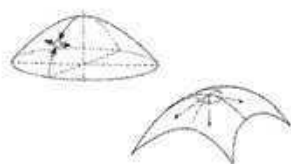


Fig. 67: Formas con doble curvatura

Bóvedas laminares

Las bóvedas laminares son estructuras tridimensionales de reducido grosor. Gracias a su capacidad para ser modeladas en vacío, la mayor parte de ellas están construidas con hormigón armado o pretensado.



Fig. 69: Estructura laminar parabólica (según la forma ideal), grosor aproximado de 6 cm
Robert Maillart, nave de hormigón para la Exposición Nacional Suiza, 1939

La forma no sólo es determinante para su aspecto arquitectónico, sino también para su comportamiento portante. Al igual que sucede con los arcos, existe también una forma "ideal" para las estructuras de bóvedas laminares. Esto sucede cuando el peso propio, el llamado estado de tensión de la membrana, se produce de modo tal que en cada elemento de la lámina actúan únicamente esfuerzos normales y cortantes. Una bóveda laminar puede mostrar una esbeltez (relación entre luz y grosor) de hasta 500 o más.



Fig. 70: Estructura laminar con forma fluida
Heinz Isler (con P. Witz), nave industrial Klicher, Rechenwil, Suiza, 1965

Basándose en distintas experiencias, el ingeniero Heinz Isler desarrolló tres principios formales:

- forma de membrana: por la presión ejercida desde el interior (abovedada);
- forma colgante: como un tejido extendido bajo su propio peso (formas libres);
- forma fluida: como la espuma que fluye y se endurece.

El gasto en encofrado de estas estructuras es relativamente alto. Existen tres diferentes procedimientos constructivos para su realización:

- sobre una cimbra;
- con la utilización de elementos prefabricados;
- con la utilización de un encofrado neumático.

No obstante, el método más utilizado es la colocación del encofrado sobre una cimbra.

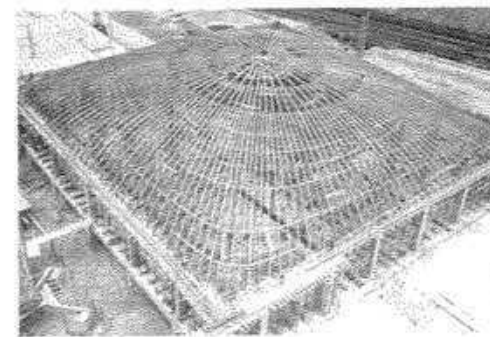


Fig. 71: Estructura laminar con forma de membrana, construida sobre una cimbra consistente
Heinz Isler (con VSK y Frei Architekten), almacén Coop, Olten, Suiza, 1960

Madera: indiferente, sintética, abstracta

Sobre la tecnología de la prefabricación en la construcción con madera

Andrea Deplazes

En los últimos años se han desarrollado de tal manera los sistemas y productos semifabricados, que todos los fundamentos tectónicos de la teoría y la práctica de la construcción con madera han dejado de ser vigentes. El clásico sistema constructivo de armazón de madera de la década de 1990, que prefiguraba como modelo una salida dentro del libre campo no modular de la construcción prefabricada, da la impresión de ser hoy anacrónica.

No es casual que los sistemas constructivos más innovadores hayan surgido en Centroeuropa y Escandinavia, es decir, en aquellos países que, por exigencias económicas, debían utilizar sus reservas de madera. Para poder superar el estancamiento de la tradicional construcción con madera han surgido novedades idóneas capaces de ganar terreno a la construcción en serie. Las grandes cantidades de madera procedente de árboles derribados por los vientos huracanados hace más aguda la situación y provoca una batalla de posiciones en la que, por primera vez, la construcción con madera se aproxima a la producción en serie.

Fundamentos artesanales

En la clásica construcción con armazón de madera de la década de 1990 encuentran aún utilidad toda una serie de procedimientos tradicionales de carpintería, tales como el ensamblaje de perfiles de madera canteados para configurar "amazones" planos con correas de atado superiores e inferiores, o el relleno del armazón con tablas o paneles para dotar de estabilidad y rigidez a un elemento constructivo (a la pared o al techo), comportándose a todos los efectos como placas estructurales. Todo hueco practicado en uno de estos elementos constituye siempre un inconveniente que necesita una precisa "modificación".

Disposición de capas complementarias en la construcción de amazones de madera

El objetivo tectónico parece concordar directamente con el de la física de la construcción: el armazón de perfiles canteados constituye el elemento portante, la tablarón interior confiere rigidez, la exterior cierra el armazón donde se aloja el aislamiento térmico, dando coherencia así, en todo su conjunto, al "elemento constructivo sándwich". Por último, se coloca exteriormente, con ayuda de cabrios, otra capa para formar una cámara de aire ventilada como protección climática, e igualmente, en el interior, la superficie de pared vista con el acabado deseado, lo que posibilita la formación de un espacio hueco intermedio para la conducción de instalaciones. Por tanto, en los sistemas constructivos de armazón, la construcción por capas de un elemento de fachada de estas características es complementaria; es decir se lleva a cabo de forma tal que las diversas capas se completan unas a otras, pues cada capa individual en esencia cumple una única función. El montaje y la calidad material de los componentes de un sistema constructivo de armazón está definido en líneas generales

por la empresa suministradora, el arquitecto o proyectista no debe pensar ya en la vida interior de un elemento constructivo tipo sándwich, ni pensar ni dibujar los detalles. Determina exclusivamente la calidad estética de las superficies vistas exteriores.

Déficit de configuración formal de las nuevas tecnologías

El creciente interés suscitado por las nuevas tecnologías de la construcción con madera permite formular la tesis de que, por primera vez en la historia de la arquitectura, tiene lugar una evolución desde la construcción en serie a la construcción con madera, vinculada tradicionalmente a la categoría de la construcción ligera (tectónica). Tomemos como ejemplo la así denominada "teoría del cambio de material" de Gottfried Semper, que se ocupa no tanto de la técnica constructiva misma como de sus consecuencias en la expresión arquitectónica de las formas, en el momento del cambio de la tectónica a la estereotomía, una especie de transferencia de la construcción con madera a la construcción en serie (defino este conflicto como el de la contraposición entre la inmanencia tecnológica y la persistencia cultural). Todo ello pueden corroborarse en las primeras estructuras de hormigón armado de Hennebique, que aún son completamente deudoras de la composición tectónica de las estructuras de madera, con sus pilares ordenados jerárquicamente, vigas de apoyo primarias y vigas secundarias. Sólo tras cierto período de adaptación se desarrollaron, gracias a Robert Maillart, los principios inmanentes de los sistemas constructivos de hormigón armado: pilares de cabezales fungiformes que se combinan de una forma no tectónica con forjados planos, para desarrollar algo así como un nudo híbrido desde el punto de vista plástico en la coronación del pilar, donde más tarde el armado ya no se coloca a la vista.

Con ello se produce una inversión de la "forma artística", que se convierte en "forma intrínseca" (Carl Bötticher) y que sólo muestra el diagrama de fuerzas en el encofrado aún no hormigonado mediante la densa concentración y atado de la armadura de acero. Estas observaciones permiten deducir la siguiente conclusión: los criterios formales, inmanentes a los sistemas de las nuevas tecnologías, se crean solamente una vez que se han superado los estereotipos culturales.

Búsqueda de una forma y una estructura adecuadas

Si la construcción con el clásico armazón prefabricado de madera, con perfiles interiores y tablarón por ambos lados, representa pues una forma intermedia en este desarrollo, puesto que aún se orienta claramente al tradicional trabajo artesanal del carpintero y a las estrictas reglas tectónicas de la construcción con madera, ¿cómo hacerla compatible entonces con la actual tecnología de la construcción con madera, en lo que se refiere a una estructura y forma inmanentes y adecuadas?

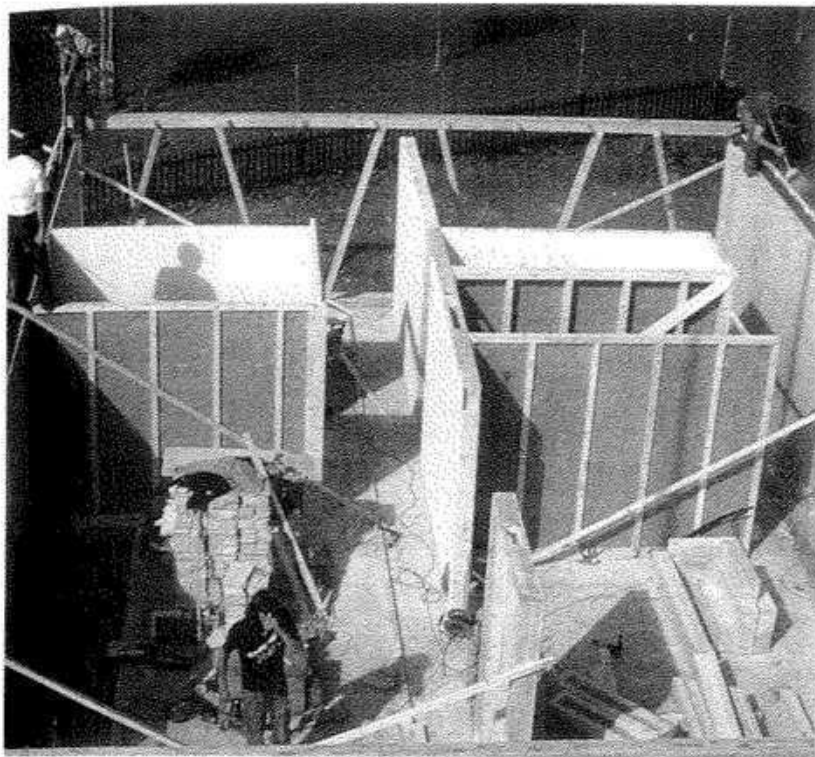


Fig. 1: Montaje de un sistema constructivo de entramado de madera
Beuth & Deplazes: casa Hirsbrunner, Scharnis, Suiza, 1995

Para responder a esta pregunta tenemos sólo que poner los ojos en el camino recorrido habitualmente hoy en la preparación de la madera. Los grados de preparación de la producción semifacturada nos indican claramente un proceso en progresión descendente: en el primer escalón se obtiene, por el tradicional trabajo de corte de la madera, perfiles de calidad alta y media, como tablonés, perfiles canteados y tablas. La madera laminada constituye en este sentido uno de los productos semifacturados más importantes. Los restos sobrantes del corte y los cortes laterales se rebajan: en este segundo escalón se producen tablas, listones y laminas, elementos que trabajados dan lugar a la fabricación de paneles de varias capas, entarimados, etc. Los "restos" que sobran se rebajan nuevamente.

De las hojas de madera cortadas se obtienen, por ejemplo, listones de madera de alta capacidad resistente o tableros aglomerados. Posteriormente se aprovechan los restos finos de la madera aserrada y, en un último escalón del proceso, se procede a la cocción de una masa fibrosa: la madera se separa en fibras y lignina (su propia savia), para compactarse después en prensas y convertirla en planchas: paneles constituidos por fibras de consistencia débil, media y alta, redondean el catálogo de productos que se pueden obtener del tratamiento de la madera.

A cada escalón del desmenuzamiento le corresponde una síntesis contrapuesta, una nueva conformación, prin-

cialmente en forma de paneles y placas. Y cada vez, el encolado es la tecnología que da consistencia al proceso. Por este motivo, los procedimientos sucesivos seguidos en la elaboración de un elemento de madera semifacturado, su "ennoblecimiento" y reelaboración dirigidos a la prefabricación de una obra, indican una sorprendente maleabilidad de un material capaz de adaptarse casi sin oposición a cualquier intervención formal (al cabezal portafresas dirigido CNC, de la robótica). El término 'modelado' resulta por tanto especialmente adecuado, pues no sólo se realizan complicados patrones de corte, como formas plásticas, molduras y perfiles, sino también piezas tridimensionales cuyo desarrollo superficial puede definirse exactamente y elaborarse con ayuda de programas informáticos.

CAD - CAM - Robótica

La madera adopta en este proceso de producción el carácter de un material libremente moldeable y, por tanto, básicamente indiferente. Resulta fácil imaginar qué posibilidades se indican con ello: mediante la línea de producción del CAD entre los arquitectos y del CAM, así como de la robótica CNC en las empresas, sería realista encargar la copia en ejemplar único de un complicado sistema constructivo artesanal (por ejemplo, la de un santuario sintoísta japonés), incluso a un precio relativamente moderado. Esto sería el comienzo de una producción en serie limitada de "rarezas" arquitectónicas (como sucede en el diseño de moda o en la industria del automóvil), que podría contar con una clientela exclusiva, escogida.

Tales fantasías nos reconducen al punto de partida de una idea, al proyecto.

Proyectar con el programa CAD se ha convertido hoy en un proceso estándar en los estudios de arquitectura. Al proyecto se le une sin interrupción la transmisión de datos, de modo que el planeamiento en la pantalla del ordenador, independientemente de las clásicas técnicas constructivas (por ejemplo, de la madera), debe provocar forzosamente una reacción en cadena en la producción y la tectónica. Es posible producir elementos constructivos no modulares específicos para un proyecto. O, dicho de otro modo: el proyecto arquitectónico concreto se descompone en elementos manejables (placas, losas y superficies envolventes, cubiertas), que se envían a producción pasando por la cadena de datos y se montan conjuntamente en obra para constituir el edificio. Este nuevo género de tectónica de paneles o tableros, y del ensamblaje constructivo basado en la estratificación para configurar diferentes pisos o superposiciones de un elemento, algo desde hace mucho tiempo cotidiano en la construcción en serie, provoca nuevos procesos constructivos en la construcción con madera. El desarrollo tecnológico conduce en todo caso siempre a materiales cada vez más resistentes y, en consecuencia, a elementos constructivos más delgados.

Maqueta de cartón a escala 1:1

En consecuencia, el "elemento esencial" de la actual construcción con madera ya no es el perfil, sino el panel. Se compone de tres o más estratos de capas de madera cortada, encoladas cruzadamente una sobre otra, por ejemplo, de láminas o listones obtenidos de una madera relativamente de poca calidad (procedente de un corte previo o de madera desechada). Este "tejido de entrecruzamientos" confiere al panel una elevada resistencia y rigidez, de modo que puede comportarse como una placa estructural. Al igual que sucede en un tejido, el panel

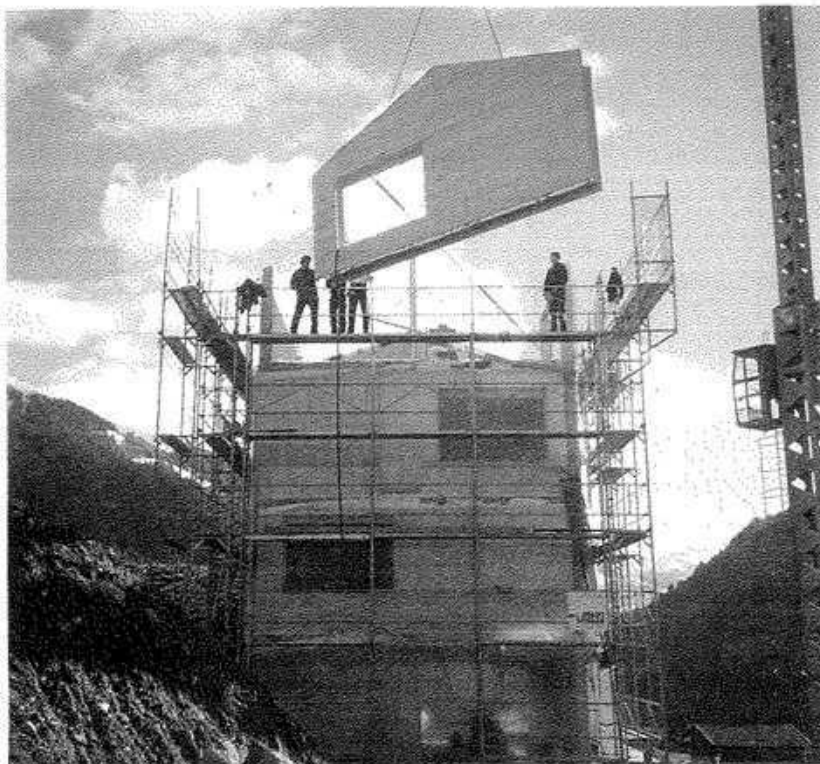


Fig. 2: Montaje de un sistema constructivo de paneles compactos de madera.
Bearth & Deplazes: casa Bearth-Candinas, Sumvitg, Suiza, 1998

homogéneo y sin una jerarquía interior perceptible en lo que se refiere a su producción técnica, permite que se prolongue libremente según sus dos dimensiones (los límites vienen condicionados en todo caso por el tamaño de las prensas y la capacidad de transporte de los camiones articulados) y controlarse en su dimensión material (grosos específicos de los paneles en función de cada carga y de las sollicitaciones). También la calidad de los "hilos del tejido" (listones de maderas blandas, duras o de consistencia mixta) pueden optimizarse en correspondencia con el uso previsto. El panel es, pues, neutro en cualquier dirección o, mejor dicho, indiferente.

En teoría puede fabricarse en la dimensión deseada; en la práctica, en la medida mayor aún directamente transportable. Ambas condiciones previas repercuten en

la construcción actual con madera: la tectónica de paneles y placas estructurales de hoja muy delgada (por ejemplo, tablas o planchas en bloque) se comportan a escala 1:1 como si se transportara una maqueta de cartón de la dimensión de una obra. Esto no afecta sólo a la percepción física. Se hace evidente incluso en la relación con los huecos: cortados visiblemente a troquel según la forma deseada en las placas estructurales, o extraídos de ellas; al igual que el cúter recorta el cartón, muestra la increíble resistencia de la tectónica de paneles en obra. Conocemos un comportamiento similar en el caso del *balloon-frame* americano, cuyo sistema constructivo es de fácil recorte sin que la construcción se desmorone, pues está generosamente sobredimensionada (¡algo casi impensable en los sistemas constructivos europeos de armazón o entramado!). Sin embargo, comparada con la tectónica europea actual de placas, la técnica del *balloon-frame* parece ancestral, a ignorar completamente por la extraña impresión lapídea que producen los trabajos de entramado y aislamiento realizados posteriormente in situ.

Pronóstico: sistemas compactos

El estado actual de la tectónica de placas o paneles en Europa permite aventurar el siguiente pronóstico por lo que se refiere a su desarrollo: tan sólo serán interesantes los sistemas que resuelvan de forma compacta los problemas estructurales, fisicoconstructivos y de protección climática (elementos sándwich de fachada, los llamados sistemas compactos) y debido a ello simplifiquen o reduzcan la puesta en obra por estratos del elemento. Los denomino sistemas sintéticos complejos formados por componentes polifuncionales.

La solución de una estratificación total de la fachada según innumerables capas estuvo condicionada en la década de 1970 por la actuación conjunta de dos factores, la crisis del petróleo y el consecuente creciente interés suscitado por la física de la construcción. El sistema constructivo se desdobra en funciones individuales, que hoy conducen de nuevo, mediante una síntesis inteligente, a pocos componentes. Tiene que ver también con una tendencia en la construcción masiva, que emplea materiales nuevos de una sola hoja portante y aislante, como reacción a soluciones ya garantizadas, complicadas de proyectar y siempre costosas, que exigen sistemas complementarios con muchas capas monofuncionales (por ejemplo, muros de obra de fábrica de dos hojas).

Un elemento sintético de fachada podría entonces asemejarse a lo que sigue: el elemento básico se compondría de un panel reforzado, fino como una pared, por ejemplo, un tablero macizo de madera de 3,5 cm de grosor. Los refuerzos transversales de una extensión de 20 cm pegados sobre él y del mismo material, con su espacio intermedio relleno del aislante térmico, sirven para dar estabilidad frente al pandeo. Este elemento básico, con el lado plano dispuesto en su parte interior, funciona como placa portante (para sostener, reforzar,

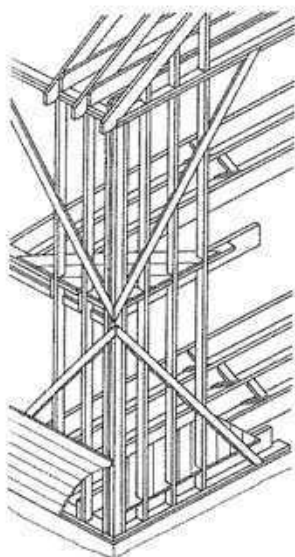


Fig. 3: Técnica del balloon-frame
Sistema constructivo de listones perfileados de
madera que discurren a lo largo de varias plantas

estabilizar), como engaste para el aislamiento térmico y como barrera de vapor (el encolado interior confiere al panel macizo de madera esta propiedad). La superficie interior homogénea puede sencillamente trabajarse después y, por ejemplo, pintarse o empapelarse. La colocación de un tablón en su cara posterior no procede, siempre y cuando no sea necesario el tendido de instalaciones eléctricas a lo largo de la fachada en su lado interior. Una sencilla capa de madera fijada exteriormente sobre los nervios, cierra el panel sándwich y se convierte en soporte de la piel o revestimiento exterior. En la casa Bearth-Candinas, esa capa de revestimiento de madera se compone de ripias o tablillas de alerce, clavadas directamente sobre el tablero, sin cámara de aire intermedia.

Los paneles con refuerzos del grosor de una pared representan un sistema constructivo emparentado con la construcción de carrocerías y la de aviones, donde las delgadas membranas de metales ligeros, materiales artificiales o plásticos con capacidad portante, reforzadas con elementos que soportan tensiones, están expuestas a las más elevadas solicitaciones: una estabilidad y consistencia óptimas con un gasto mínimo de material. Si en la construcción de aviones lo decisivo es, ante todo, el peso, en la actual tectónica de paneles de madera lo es la compactidad y, a la vez, su capacidad para cumplir varias funciones por parte de los elementos sintéticos.

Una comparación con los sistemas de armazón explicados anteriormente ponen en claro su repentina y matizada revalorización: en los sistemas de entramado, el revestimiento interior con un tablón es su único refuerzo, y los perfiles o barras de madera suponen claramente sus elementos portantes, con lo que se le da la vuelta a la "imagen" constructiva y formalmente semejante del panel armado. En este caso, los 3,5 cm del delgado tablero son portantes y, reforzados por finos nervios (con lo que esta observación analítica debe corregirse), dan forma, junto con éstos, a un concepto sintético, inalienable, compacto (gracias al sólido encolado), donde se funden estructura (capacidad portante, estabilidad) y física aplicada a la construcción (difusión de vapor), vida interior constructiva y superficies vistas. Y cada componente asume una función en interacción con las demás. Por ello hablamos de sistemas compactos en la construcción actual con madera.

Cuando los paneles están colocados verticalmente como elementos de fachada, las capas portantes y aislantes discurren sin ninguna interrupción, ya que los forjados se disponen tan sólo sobre los sólidos paneles compactos de 3,5 mm. El sistema constructivo de armazón o entramado con correas inferiores y superiores es un caso distinto, pues en él la fachada se interrumpe totalmente por los elementos de apoyo de los forjados, o sólo pueden evitarse por medio de angulares de acero (perfiles en Z) que sobresalen de la misma. Quiero explicar esto con un ejemplo concreto.

La casa Bearth-Candinas: un jersey muy elástico sobre un sistema constructivo de paneles de madera

La casa Bearth-Candinas se alza como una esbelta torre de cuatro plantas en las afueras de Sumvig. Su planta consiste en un sencillo rectángulo articulado en sentido longitudinal mediante una pared portante intermedia. Surgen dos espacios alargados por planta, con un aprovechamiento neutro y que pueden subdividirse según su uso. Debido a que por la pendiente de la montaña discurre abundante agua, la casa no dispone de sótano. El acceso a la vivienda se produce a través de un vestíbulo acristalado (invernadero para plantas y zona de juegos para los niños de la familia). Desde este espacio se alcanza los pisos superiores de la vivienda. Dado que todos los sistemas constructivos con madera disponen de una capacidad para almacenamiento de calor muy pequeña, el aislamiento térmico persigue disminuir al máximo el consumo energético en invierno, y las ventanas de la casa se orientan según todas las direcciones de las fachadas, con lo que en verano no se produce sobrecalentamiento alguno. En invierno el calor solar acumulado en el vestíbulo asciende a todos los pisos y se reparte entre los dormitorios y las salas de estar.

Las superficies de las paredes, que en su estado en bruto producen el efecto tosco propio de los paneles compactos de madera (por volver al tema que nos ocupa), están pintadas en blanco y amarillo limón. De esta manera se recubren los encuentros de las paredes portantes y de la fachada, y se hacen homogéneos los espacios. La impresión de que se trata de una "casa de madera" pasa a un segundo plano para pasar a ser una obra frágil, casi de papel, cuyos espacios parecen estar revestidos de papeles pintados (vistos de cerca, las paredes están guarnecidas por miles de finísimas y regulares hendiduras fibrosas: una auténtica "exaltación de la hendidura", hecho a que los usuarios se han acostumbrado y ya no consideran como defecto). Ya que en el propio lugar aún ejerce su trabajo artesanal el único carpintero suizo que realiza ripias, pareció oportuno ejecutar el revestimiento de la fachada como una pantalla compuesta por ellas. Ésta recubre el volumen constructivo de la casa como si fuera una ajustada prenda muy elástica, con lo que el edificio aparece exteriormente dotado de un carácter homogéneo y hace olvidar la tectónica de paneles de madera. Así, en esta obra se aúnan sin solución de continuidad la producción *high-tech* industrial y la antigua y valiosa sabiduría del trabajo artesanal.

Lejos del arquetipo de madera

Si se sigue observando la tectónica de paneles y la posibilidad técnica de realizar el revestimiento de las fachadas sin cámara de aire, se descubre irremediablemente que la construcción actual con madera se desprende de su "arquetipo", y desde luego desde un doble punto de vista:

Por una parte, en la actualidad se dispone de numerosos aplacados de fachada como chapas lisas, paneles de vidrio o plástico, láminas, placas de fibrocemento o enfoscadas, así como planchas onduladas de chapa. La chapa ondulada, por ejemplo, caracteriza de modo sorprendente la arquitectura de Reikiavik, la capital islandesa. Como consecuencia de un programa de fomento económico entre Islandia y Estados Unidos, "sheep for sheets" (ovejas por chapas onduladas: Islandia no tiene árboles), las fachadas configuradas por listones de madera de múltiples colores, precisamente no manifiestan su auténtico carácter de revestimiento de madera con listones que presentan juntas (justo como en el sentido de Sempër). Dicho de un modo más general: la construcción actual con madera se esconde detrás de otros materiales que se caracterizan por formar superficies grandes y compactas, con pocas juntas, ligeras y de un grosor extraordinariamente reducido. Naturalmente se puede pensar en la posibilidad de sustituir la capa portante de revestimiento del aplacado de protección directamente por este mismo, para conseguir la construcción más compacta posible de un elemento de fachada. Con lo que en todo caso el problema de los encuentros y de las juntas se hace más agudo, como es de sobra conocido en el caso de la construcción en serie de edificios con placas en la economía planificada de los antiguos regímenes del Este de Europa.

La segunda tendencia es en mi opinión aún más interesante: la tectónica de placas o paneles de la actual construcción con madera quiere leerse tan sólo desde el punto de vista estructural, y no desde el material como hasta ahora. Lo que en un terreno neutro se definió como cartonaje, como un proceso de elaboración necesariamente tecnológico de tableros de gran superficie compuestos de planchas nervadas, como delgadas paredes de madera compacta, pero también de las así llamadas placas formadas por delgadas capas, se expresa arquitectónicamente en la abstracción. Los paneles de madera

asumirán como "material artificial" (sobre todo si se neutralizan mediante una pintura de color exterior e interiormente), una posición semejante a la del hormigón homogéneo en la construcción maciza, que puede ocupar estructuralmente todos los elementos tectónicos de un proyecto, sin lograr nunca una expresión material (se vislumbra como mucho que determinados vuelos, conjuntos y extensiones espaciales tan sólo pueden realizarse gracias al "hormigón oculto"). Objetivamente, el tema de la abstracción arquitectónica se enriquece por medio del concepto del cartonaje, en cuanto al fenómeno de la "espacialidad blanca" que produce la mayor plasticidad posible con paredes muy finas (equiparable al trabajo de Absalón en el arte). Por otra parte, la sencilla técnica de corte de los paneles, con su casi arbitraria disposición de huecos aserrados y su montaje de paredes y techos, como si se tratara de la fabricación de maquetas, exige una forma de construcción de bricolaje, como hoy ya es típico en el caso de la arquitectura del sistema norteamericano del *balloon-frame*, y que se ha materializado extraordinariamente como bricolaje refinado en los métodos constructivos del artista holandés Joel van Lieshout.

Profesionalidad arquitectónica

Debido al creciente interés por las cuestiones energéticas, ecológicas y biológicas, la construcción actual con madera cobrará en el futuro una importancia aún mayor. Aunque tan sólo serán competitivas las soluciones compactas y con funciones múltiples, pero el conocimiento en la síntesis de las diferentes exigencias no se limitará al desarrollo y dominio del saber hacer tecnológico. En primera línea se mostrará mediante estrategias competentes e inteligentes en el proyecto arquitectónico, única garantía de la profesionalidad arquitectónica y, con ello, de la "sostenibilidad". Lo que no ha de exigirse tanto a los especialistas o tecnólogos de la madera y de la energía, o biólogos de la construcción, sino, y en primer lugar, a los arquitectos.

Extraído de *werk, bauen + wohnen*, 1/2, 2001, págs. 10-17.

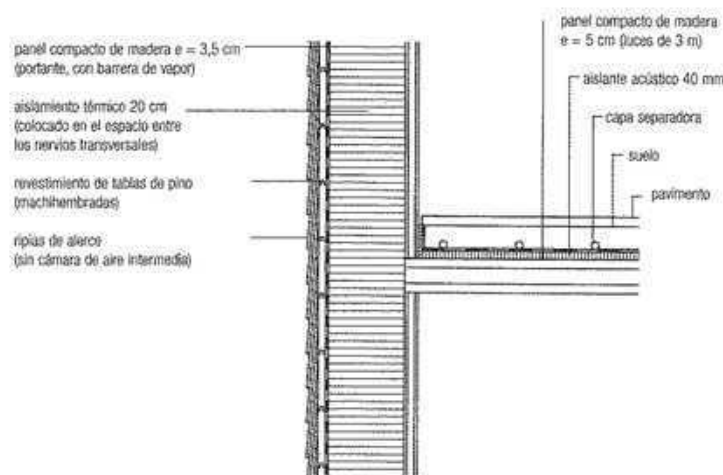


Fig. 4: Encuentro entre fachada y forjado
Beath & Deplazes: casa Beath-Candinas, Sumvitg, Suiza, 1998



Fig. 5: Sección en planta de la fachada
Beath & Deplazes: casa Beath-Candinas, Sumvitg, Suiza, 1998

El material

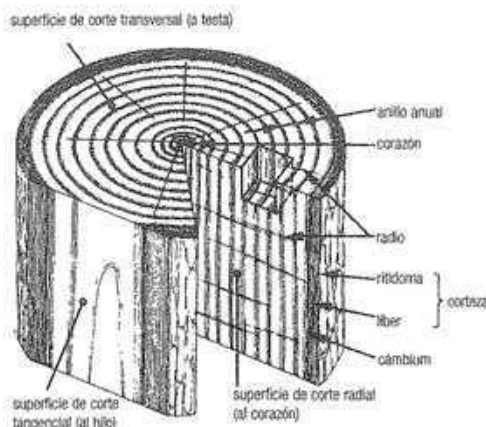


Fig. 6: Las capas de la madera

La constitución de la madera

La estructura porosa de la madera es producto de las células y de los vasos de savia, encargándose esta última de abastecer al árbol de agua y alimento. En las capas que forman su tronco, los árboles frondosos muestran tres tipos de células diferentes: las que conducen la savia, las que sirven de sostén y las que almacenan el alimento. Las coníferas, por el contrario, poseen sólo un tipo de célula, que sirve de vaso conductor, de sostén y al mismo tiempo de elemento de almacenamiento, una característica que eleva claramente la elasticidad de su madera.

En el centro del tronco se encuentra el corazón, la parte más antigua del tronco alrededor del cual han ido creciendo las células de la madera. Normalmente el corazón está seco y no asume función alguna de abastecimiento. En una sección transversal, el tronco muestra el desarrollo radial de sus anillos que, junto con el color y las incrustaciones de resina que algunos árboles presentan, conforman su aspecto característico y proporcionan una clara explicación acerca de la edad y de las enfermedades que ha sufrido. La estructura de los anillos depende de las distintas fases de crecimiento y de la zona climática en que ha crecido el árbol. En el clima continental, la fase de crecimiento comienza en los meses de abril/mayo y termina en los de agosto/septiembre. En primavera surge una capa delgada y porosa de células de madera joven para el rápido abastecimiento del tronco. En otoño se forman las células que forman las paredes compactas de la madera tardía y que sirven para dar estabilidad al árbol. Bajo la corteza se encuentra el *cambium*, que por medio de la división celular forma hacia fuera el *liber* y hacia dentro las células de madera.

Árboles de duramen, de albura y de madera pálida

Muchas clases de madera son de coloración homogénea, otras muestran en el interior de la sección transversal del tronco una coloración diferente. La zona de los anillos interiores y oscuros está rodeada de "albura" clara. En la madera de albura se encuentran las células activas, vivas, de la madera; en el corazón, las que van muriendo conti-

nuamente. La formación del núcleo de un árbol comienza aproximadamente entre los 20 y 40 años, cuando la albura es lo suficientemente ancha, capaz para la conducción de fluidos. Dado que el núcleo ya no debe asumir esta función, sus conductos se bloquean químicamente. Residuos de tanino, colorantes, resinas y grasas oscurecen el interior del tronco, aumentando al mismo tiempo su estabilidad y resistencia frente a los parásitos.

Árboles de duramen

El corazón y la albura del núcleo se diferencian cromáticamente: pino, alerce, roble, cerezo, robinia, fresno.

Árboles de madera pálida

El corazón de estos árboles tiene un contenido en agua menor que la madera de albura: abeto, picea, haya roja.

Árboles de albura

El núcleo o corazón se conforma con retraso o se forma a edad más tardía: abedul, aliso, arce, chopo, carpe.

Cualidades materiales

Las propiedades físicas fundamentales de la madera dependen de su densidad. Ésta se sitúa, para las diferentes maderas, en una escala que va de los 0,1 a los 1,2 g/cm³, y depende básicamente de la estructura anisótropa de la madera, importante en el interior del tronco. Además, la densidad de la madera depende también de su contenido de humedad, por lo que ambos datos se proporcionan siempre conjuntamente.

A causa de su estructura formada por finos poros, la madera es un material aislante relativamente bueno. El coeficiente de transmisión de calor es de 0,13 W/mK en maderas de coníferas y de 0,2 W/mK en maderas de árboles frondosos (frente al 0,44 del ladrillo o el 1,8 del hormigón). La dilatación térmica es tan pequeña comparada con la del acero o la del hormigón, que no alcanza significación alguna para la construcción.

La madera resiste extraordinariamente bien los esfuerzos a tracción en el sentido de las fibras y sólo aceptablemente los de compresión. Por el contrario, su resistencia disminuye considerablemente en el sentido transversal a las fibras. Los componentes principales de la madera son la celulosa (40-50 %, responsable de la resistencia a tracción). La madera se compone entre un 20 y un 30 % de semicelulosas (materiales que acompañan a la celulosa), que como materiales aglutinantes o de relleno mejoran la resistencia a compresión. En igual cantidad se encuentran la lignina y la urea, que contribuyen igualmente a determinar la resistencia a compresión. Otros componentes son las resinas, las grasas y las ceras, los taninos o colorantes, las proteínas, los hidratos de carbono y las sales minerales, responsables del color, el olor, la resistencia y la consistencia. Las maderas blandas proceden de árboles de crecimiento rápido, las duras de los de crecimiento lento.

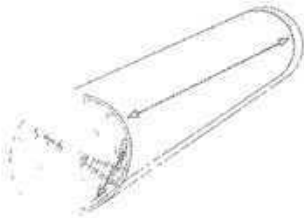


Fig. 7: Retracciones e hinchazón de un tronco

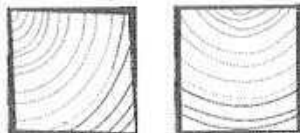


Fig. 8: Deformación de maderas escuadradas durante el proceso de secado



Fig. 9: Deformación de tablas durante el proceso de secado

A diferencia del acero o el hormigón, la madera no se encuentra afectada en un amplio espectro del pH. Su elaboración requiere un bajo consumo energético, debido entre otras cosas a la reutilización del material. Existen alrededor de 40.000 formas diferentes resultantes del trabajo con la madera, de las que 600 están comercializadas.

Humedad de la madera

A causa de sus propiedades higroscópicas, la madera modifica su humedad dependiendo de la humedad ambiental. Cuando la madera absorbe humedad, se ensancha, cuando la cede, se contrae. Estos movimientos del material se especifican como medidas de contracción. La madera reciente tiene un grado de humedad del 60 % y el punto de saturación de las fibras se sitúa en torno al 30 %. El descenso de la humedad por debajo de este porcentaje conduce a su contracción. La madera empleada en construcción debe estar básicamente seca, ya que una humedad alta disminuye su resistencia, y puede influir en su dimensión y estabilidad formal. Además, la humedad excesiva entraña el riesgo de parásitos y hongos. Para evitar la putrefacción de la madera es preciso prever la ventilación de sus elementos constructivos. El contenido de humedad de la madera secada al aire, destinada a construcciones exteriores, debe ser de entre el 15 y el 18 %, en espacios con calefacción de 9 al 12 %; una sequedad mayor implica la formación de grietas, que la hacen inservible. Las maderas que están cortadas en el sentido de la sección transversal del tronco, pueden deformarse a causa de una sequedad excesiva. A ello contribuye el diferente grado de humedad de las zonas correspondientes al duramen y a

la albura. En los rollizos y maderas aserradas se forman con frecuencia grietas. Aunque su comportamiento portante no se vea afectado por ello, en las construcciones exactamente dimensionadas y en las uniones de las piezas de madera se debe en todo caso prestar atención a las deformaciones producidas.

Rollizos

Se trata de troncos desbastados y descortezados. Se emplean normalmente, sin ser posteriormente trabajados, en andamios, puentes, pilotes, mástiles y puntales. Como cortes transversales de la madera, los rollizos tienen una gran consistencia, ya que en ellos la madera no ha sido afectada en lo que se refiere al decurso natural de sus fibras.

Piezas de madera aserrada

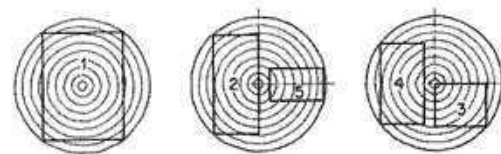
En general, la forma de corte con relación a la sección transversal del tronco es de crucial importancia para su consistencia. Es especialmente importante en los siguientes casos:

Contracciones y abombamientos: la deformación de la sección transversal por modificaciones de la humedad depende de la disposición de los anillos.

Formación de grietas durante el secado de la madera: puede afectar a la resistencia al cizallamiento en su núcleo.

Resistencia a los esfuerzos transversales: depende de la disposición de los anillos. Por lo general no requiere consideración alguna.

Resistencia biológica: es posible conseguir piezas de elevada resistencia mediante un corte que no afecte a la zona de la madera correspondiente a la albura.



- 1 Pieza de corazón
- 2 Pieza cortada atravesando el corazón, con el núcleo dejado como banda continua en toda la vertical (núcleo del tronco dividido en dos)
- 3 Pieza doble cortada a través del corazón, con éste como canto
- 4 Pieza sin duramen, que no contiene el núcleo
- 5 Pieza de albura

Fig. 10: Formas de corte para maderas y tablones

(según las normas suizas SIA 265/1 punto 5.3.6.1: Construcción con madera, determinaciones complementarias)

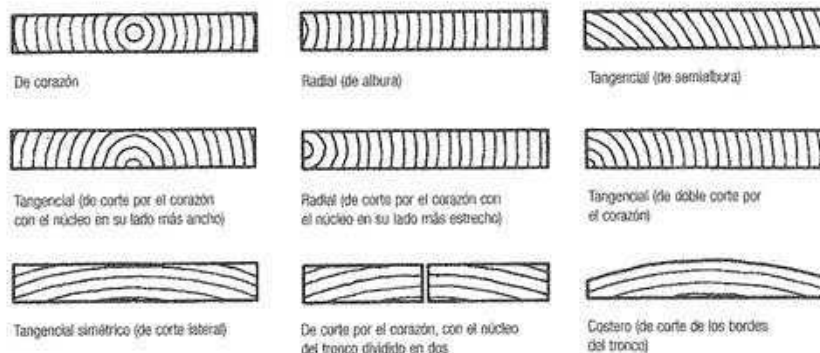


Fig. 11: Formas de corte para tablas

(según las normas suizas SIA 261/1 punto 5.3.6.2: Construcción con madera, determinaciones complementarias)

Piezas de madera a escuadra o canteadas

Las dimensiones más frecuentes en cm, indicadas escalonadamente de 2 en 2 cm, en el momento del corte son: 6/14 ... 6/20, 8/12 ... 8/24, 10/10 ... 10/28, 12/12 ... 12/28, 14/14 ... 14/28, 16/16 ... 16/28, 18/18 ... 18/28

Listones

Dimensiones habituales en mm de listones aserrados, secados al aire:

24/30, 24/48, 30/48, 30/60, 50/50, 60/60, 60/80, 60/100, 60/120, 80/80, 80/100

Tablas

Los grosores comunes en mm, de tablas aserradas y secadas al aire son:

12, 15, 18, 21, 24, 27, 30, 33, 36, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 80

(según la norma suiza SIA 265:2003 y 265/1:2003)

Materiales elaborados a partir de la madera

Compendio

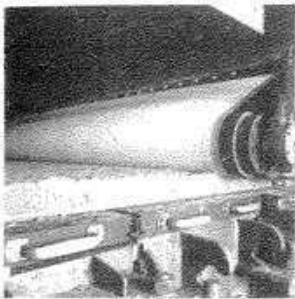
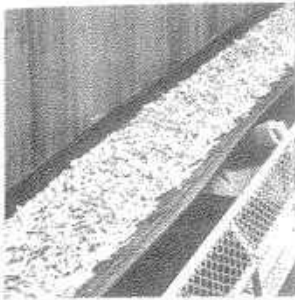


Fig. 12: Fabricación de tableros de fibra
1 Maderas aserradas
2 Cinta transportadora con virutas de madera
3 Anisado de las fibras en la máquina de conformado
4 Elaboración final

Al plantearse el futuro de la madera surge la cuestión de cómo puede ser cubierta la creciente necesidad que se tiene de un material cuyas reservas naturales disminuyen y que cada vez presenta además una peor calidad (en maderas de crecimiento rápido). En este sentido, adquieren una gran importancia los materiales elaborados a partir de la madera. El aprovechamiento rentable de la madera y del material sobrante por medio de su transformación ha conducido al desarrollo de un gran número de nuevos derivados de la misma.

Los materiales transformados de la madera se obtienen por el prensado de piezas distintas de gran tamaño, como tablas, listones, chapas, virutas y fibras, realizadas con materiales adhesivos de resinas sintéticas o aglomerantes minerales. En algunos casos se emplean también aglomerantes propios de la madera (la denominada lignina). Junto a aquellas partes mayores de la madera, pueden utilizarse también para su fabricación restos o productos sobrantes, obtenidos en el proceso de su elaboración. Gracias a ello, se mejora la calidad del producto inicial, homogeneizando las propiedades irregulares de la madera, inevitables como consecuencia de su crecimiento natural (ramas, fisuras, crecimientos deformes) que degradan su consistencia pero que, en los productos transformados de la misma, alcanzan sólo una importancia secundaria, ya que se neutralizan en gran medida gracias al empleo de las partes contiguas a las que se encuentran en mal estado. Como consecuencia de ello, los productos transformados de la madera presentan unas propiedades estáticas afectadas únicamente por pequeñas disgregaciones, lo que permite establecer para las tensiones admisibles el índice favorable del 5 %.

Gracias a la disposición prevista de los distintos partes con que se cuenta de la madera, puede determinarse la capacidad de carga en una dirección determinada. Por lo general, las deformaciones por retracción o hinchazón de los productos derivados son claramente menores que las de la madera maciza. Otra ventaja de los productos derivados en forma de tableros es la posibilidad de fabricar grandes paneles o vigas de dimensiones teóricamente ilimitadas. Por lo general, los límites reales los imponen las máquinas para la elaboración y el transporte de las piezas. Todos los elementos transformados de la madera se producen y comercializan en dimensiones estándar, lo que facilita su planeamiento y disponibilidad.

La amplia gama de productos cubre las necesidades de ámbitos de aplicación muy dispares. Además, casi todos los derivados admiten una elaboración muy sencilla. Dado que la familia de los derivados de la madera ha llegado a ser enorme, y además está sujeta a un continuo desarrollo, la siguiente lista no pretende ser completa, sino que se limita exclusivamente a enumerar los productos que en la actualidad son de uso corriente, y que se describen con detalle en las páginas siguientes.

Maderas en capas

- madera en láminas;
- madera contrachapada;
- madera contrachapada en hojas;
- tableros contrachapados de alma enlistonada;
- tableros laminados;
- tableros de tres y cinco capas;
- tableros con entramado interior de listones.

Tableros conglomerados

- tableros de virutas prensadas;
- tableros prensados OSB;
- tableros prensados con listones.

Tableros de fibras

- tablero bituminoso flexible de fibras;
- tablero de fibras de densidad media (llamado tablero DM).

Materiales inorgánicos elaborados con madera

Para la elaboración de productos inorgánicos o minerales se emplea el yeso o el cemento como conglomerante. Las fibras de madera embebidas en yeso o en cemento cumplen la función de armadura. Productos de esta clase de lo más diferente se usan como protección térmica, acústica o antiincendio, pero también como placas que dan rigidez y contribuyen a la estabilidad. En lo que sigue no se hará un gran hincapié en estos productos.

Productos elaborados a partir de la madera

Tableros laminados



Fig. 13: Composición de la madera laminada

Madera en láminas

Composición y elaboración

Los tableros de láminas se componen de más de dos láminas, con los lados más anchos de cada lámina superpuestos horizontalmente y encolados, y cuyo grosor no debe superar por lo general los 30 mm. Para elementos constructivos verticales se pueden alcanzar los 40 mm, siempre y cuando se ponga un especial cuidado en el secado de la madera y en su selección, y los elementos constructivos no estén expuestos a cambios climáticos extremos. Por lo general se encolan láminas desbastadas hasta un máximo de 20 cm, de manera que se solapen pegadas sólo por sus caras "derechas" o "izquierdas", y que en las caras exteriores sólo descansen caras "derechas" (véase la figura donde se muestra la composición de la madera dispuesta en láminas). Esta disposición es necesaria para que los esfuerzos transversales de tracción provocados por los cambios climatológicos sean, tanto en las juntas de pegado como en la madera, lo más pequeños posible. Para anchuras que sobrepasan los 20 cm deben utilizarse al menos dos tablas juntas y capas superpuestas sucesivas compuestas de tablas, dispuestas en sentido contrario y de un grosor mínimo de 2 cm. Los tableros de más de 20 cm de ancho deben estar provistos por ambas caras de dos ranuras de descarga que discurren en la dirección longitudinal de mismo.

Los tableros de láminas de madera pueden fabricarse prácticamente en cualquier longitud y altura. La longitud de los elementos constructivos está condicionada por la longitud practicable de los talleres, de la bancada para el encolado o por las posibilidades de transporte, mientras que la altura está limitada por las dimensiones de las máquinas aplanadoras disponibles. Por encima de las dimensiones de estas máquinas (de unos 2 m y que pueden llegar hasta los 2,3 m), se han sobrepasado también las alturas de las secciones transversales, por medio del encolado de dos piezas cortadas colocadas de través. Por lo general son posibles longitudes de 30 a 35 m y alturas de hasta 2,2 m.

Los tableros laminados sólo pueden fabricarse por empresas que cumplan las prescripciones exigibles, que disponen de espacios adecuados para su producción y que pueden garantizar una humedad ambiental lo más constante posible y una temperatura adecuada para el encolado durante el proceso de elaboración.

Dependiendo de las exigencias climáticas que requieran las piezas acabadas, para el encolado se utilizan colas de resinas sintéticas de relleno sobre una base de resorcina o resina de urea, que por medio del procedimiento de aplicación del pegado sobre ambas caras de las tablas, cepilladas y ensambladas en cuña, se curan a una determinada humedad. En la bancada para la encoladura, las tablas se agrupan en secciones transversales rectangulares y, durante el tiempo prescrito de prensado, se mantienen presionadas por el empuje de la prensa indicada. Después de un endurecimiento suficiente del enco-

lado, las piezas en bruto se cepillan en sus dos o cuatro caras y, en caso necesario, se trabajan de nuevo (se hacen taladrados, agujeros para tacos, etc.). Para el contenido de humedad de la madera, el tiempo preciso de encolado tiene una importancia fundamental por lo que se refiere a su estabilidad y a la prevención de grietas en el mismo.

Secciones transversales y configuración

Por lo general, los tableros de madera laminada para pilares, vigas y entramados se fabrican con sección rectangular. La relación entre anchura y altura para vigas sometidas a flexión se sitúa normalmente en la proporción de 3:8 y no debe sobrepasar la de 3:10. En casos excepcionales pueden plantearse también elementos con sección en I o vigas cajón, en las que un posible ahorro de material implica un mayor gasto de trabajo de producción, pero que puede compensarse a menudo por un menor peligro de pandeo o vuelco.

Las buenas condiciones para ser trabajada que presenta la madera, permite lograr una gran variedad de formas con capacidad portante, en piezas con cantos de sección rectos. Se pueden fabricar fácilmente alturas de sección variable por medio del vaciado o eliminación de capas del tablero, aunque las inclinaciones producidas por las incisiones deben ser relativamente planas, debido a los esfuerzos cortantes y transversales que se producen en la zona de los bordes. Una ligera curvatura del tablero antes de su encolado permite la realización de formas curvas en los tableros de madera laminada.

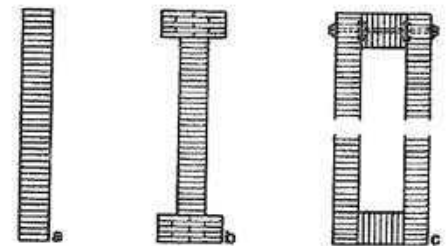
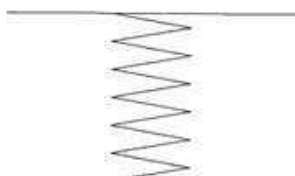
Fig. 15: Secciones transversales de piezas de madera laminada
a Sección rectangular
b Sección en I encolada
c Sección de viga cajón atornillada o encoladaFig. 14: Unión de ensambladura en cuña (en boca de lobo)
Junta encolada en cuña



Fig. 16: Superficie (en crudo) de madera contrachapada. Para la fabricación de chapas de madera se corta, entiendo y enrolla el tronco. Así surge una superficie relativamente homogénea con vetas irregulares y poco contrastadas. Por el contrario, para la producción de chapas bouchilladas, se corta el tronco en láminas delgadas.

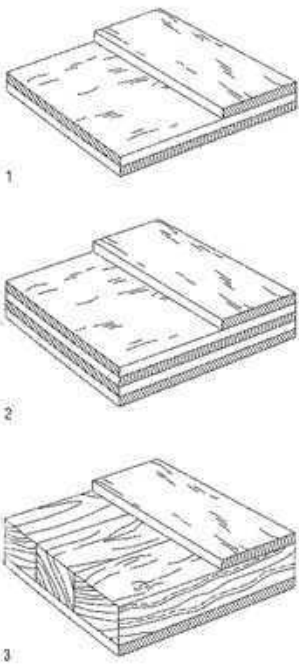


Fig. 17: Composición de la madera contrachapada.
1: Madera contrachapada de tres hojas o capas.
2: Madera contrachapada de varias hojas o capas.
3: Madera contrachapada de alma enlistonada de tres capas.

Madera contrachapada

Se denomina madera contrachapada a paneles compuestos por al menos tres hojas o chapas de madera, superpuestas y encoladas, con la dirección de sus fibras colocadas alternativamente en sentido contrario. Las hojas encoladas se presan con resina de fenol a prueba de agua, bajo la acción del calor y del prensado, hasta convertirse en paneles contrachapados. A continuación se procede al canteado de los bordes y al tratamiento de las superficies. A la madera contrachapada también se le puede dar forma bajo la acción conjunta de la humedad y el calor.

Existen múltiples posibilidades de aplicación para esta clase de madera. Se usa, por ejemplo, como revestimiento de refuerzo de fachadas, como recubrimiento de cubiertas, como aplacado de paredes o en el acabado de interiores.

La madera contrachapada absorbe humedad y se hincha tanto en la superficie del panel como en su grosor. Si el material no se trata posteriormente, adquiere una coloración gris, por la acción de los rayos UVA y la lluvia racheada, que puede ser muy irregular sobre todo en las partes más expuestas a la intemperie. Una fachada de madera contrachapada puede protegerse con imprimaciones difusoras y barnices hidrófugos. En especial, los cantos deben estar muy bien sellados con un barniz hidrófugo de alta calidad.

Madera contrachapada en hojas

La madera contrachapada en hojas se compone de varias hojas o chapas, presionadas de forma cruzada. En comparación con otros paneles de maderas transformadas, son especialmente apropiados para sistemas constructivos portantes, ya que admiten los módulos E y la estabilidad más elevados y, con ello, también las mayores tensiones admisibles.

Tableros contrachapados de alma enlistonada

Cuando la hoja central de la madera contrachapada se compone de listones de madera, se habla de tableros contrachapados de alma enlistonada.

Tableros laminados

Las maderas contrachapadas de al menos cinco hojas y grosores de 0,8 a 2,5 mm, se tratan dentro del grupo de los tableros laminados. Las distintas capas se chaparan perpendicularmente unas respecto de las otras. Los tableros laminados pueden colocarse para revestimientos interiores y exteriores, también en condiciones climáticas desfavorables. Por su gran capacidad de carga, se usan con frecuencia en sistemas constructivos portantes.

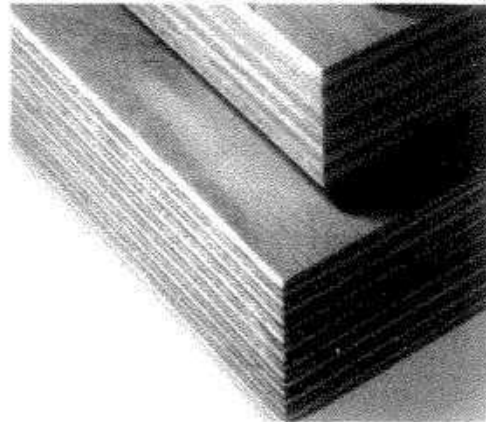


Fig. 18: Frente de un tablero laminado

Tableros de tres o cinco capas

Estos tableros se componen de capas de tablas encoladas y colocadas de forma cruzada, con grosores de 4 a 50 mm. Las hojas de tablas, así como los listones de las hojas centrales que los llevan, se encolan entre sí y por capas. Estos tableros encuentran una aplicación preferente como tablazón estructural y de refuerzo en construcciones de madera o para encofrados de hormigón.

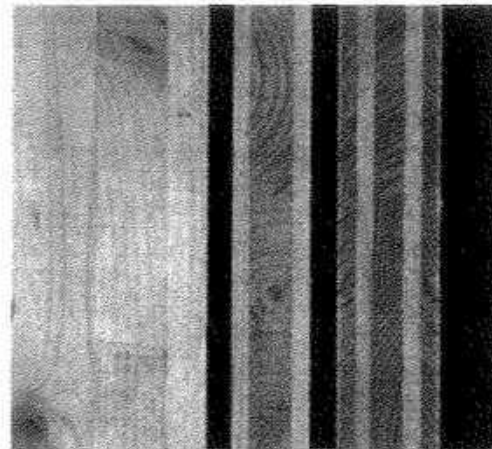


Fig. 19: Superficies (serradas) y cantos de dos tableros, uno de tres hojas y otro de cinco

Tableros enlistonados (con un entramado interior de listones)

Los tableros de tres o más capas de listones de madera encolados de forma cruzada, sin chapado exterior, se denominan tableros enlistonados. Pueden emplearse como placas portantes, pero solo en ámbitos no expuestos a condiciones climáticas desfavorables.

Materiales transformados a partir de la madera

Tableros prensados

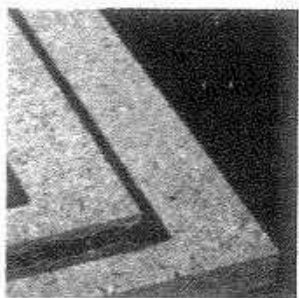
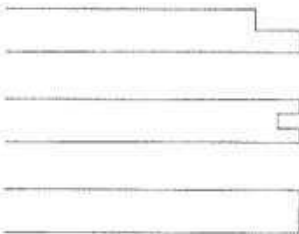


Fig. 20: Canteados diversos en paneles de virutas prensadas

Tableros de virutas prensadas

Los restos de madera procedentes de explotaciones forestales y aserraderos constituyen la materia prima para la fabricación de paneles conglomerados. De los bosques se extrae madera industrial de árboles de hoja perenne y caduca, con un diámetro a partir de unos 8 cm y una longitud de 1 a 6 m. De los aserraderos proceden astillas y costeros, los denominados productos procedentes del corte de la madera, sobrantes de la industria de la madera, piezas, virutas y serrín. Los tableros conglomerados aprovechan al máximo los restos de esta valiosa materia prima, literalmente hasta la última astilla. Los tableros aglomerados se elaboran a partir de estas partículas de la madera con conglomerantes orgánicos, mediante el prensado y bajo la acción del calor. Se diferencia entre los paneles prensados en plano y los extruidos. En los primeros, las partículas se alinean en paralelo a la superficie del tablero. Se fabrican en una, tres o más capas o con una gradación continua en su estructura. Normalmente se distribuyen en el mercado con sus superficies ya lijadas. En los tableros extruidos, las fibras se disponen en perpendicular a su superficie.

Los tableros de partículas prensadas se usan para revestir y reforzar techos y paredes, y para tabiques y encofrados. También son idóneos como elementos portantes para chapados y recubrimientos.

Por lo general, estos tableros presentan un grado medio de consistencia. Su estabilidad frente a la humedad es menor que la de los tableros de varias capas, pero varía con la clase de conglomerante utilizado. Cuando es el cemento, pueden usarse en lugares con alta exposición a la humedad o que requieren una elevada exigencia de la normativa antiincendios.

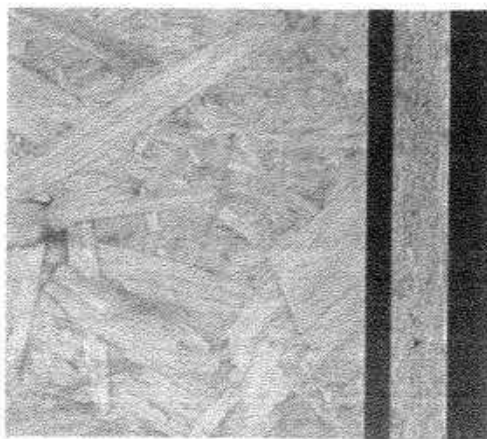


Fig. 21: Superficie y canto de un tablero prensado

Tableros prensados con listones

Estos paneles se fabrican con virutas de álamo encoladas y prensadas, con unas dimensiones aproximadas de $0,8 \times 25 \times 300$ mm. Las virutas se pegan y prensan bajo la acción del calor. Un tamaño mayor de las virutas da como resultado un producto de mayor consistencia.

Tableros prensados OSB

Los tableros OSB (*Oriented Strand Board*: tablero de fibras orientadas) son tableros encolados, compuestos de grandes virutas dispuestas en grandes superficies, ordenada y paralelamente respecto de la superficie del tablero. Tienen unas dimensiones de 0,6 mm de grosor, 75 de longitud y 35 de anchura. Cuando el tablero se compone de tres capas, las fibras de las superficies exteriores se orientan longitudinalmente y las de la intermedia transversalmente. Su uso fundamental es como revestimiento de tabazón para elementos portantes o como refuerzo. Por su bajo contenido de conglomerante, los procesos de descomposición biológica son prácticamente como los de la madera maciza.

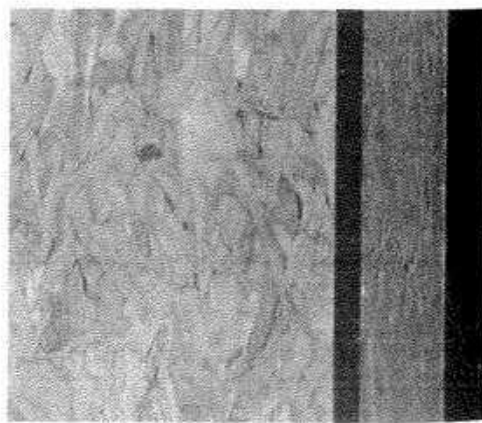


Fig. 22: Superficie y canto de un tablero prensado OSB

Productos elaborados a partir de la madera

Tableros de fibras

Tableros de fibras

Se componen de una mezcla de largas fibras de madera elaboradas (restos de madera como los desechos sin tratar procedentes de aserraderos y talas forestales, en su mayor parte astillas de coníferas) y materiales de relleno, que, sin otros aglomerantes, se prensan a altas temperaturas con ayuda de agua. En el producto final no se puede reconocer la estructura de la madera. Dependiendo de la densidad se obtienen tableros de fibras que pueden tener desde una consistencia mínima hasta una elevada.

En el mercado se comercializan tanto los tableros blandos de fibra, aislantes, como los de fibra de dureza media y alta. Los primeros muestran una gran capacidad de absorción acústica y acumulación térmica, mientras que los segundos presentan una alta dureza superficial con gran resistencia al rozamiento. Los tableros de fibras son adecuados en la construcción para acabado de interiores, aislamientos térmicos y acústicos, formación de cubiertas, embalajes y rellenos.

Los tableros de fibra de madera se diferencian de los tableros análogos de fibras de densidad media (DM) por el proceso de fabricación. En el proceso de humedecimiento, se aprovecha las fuerzas de cohesión propias de la madera, extrayendo las fibras con un procedimiento térmico y mecánico, y aglomerándolas nuevamente bajo la acción de la presión y del calor, con lo que no se necesita agregar ningún aglomerante químico adicional.

Tableros de fibras bituminosos

En el proceso de producción de los tableros de fibras, puede agregarse una emulsión bituminosa para obtener un tablero impermeable: los denominados tableros de fibras bituminosas que se emplean como aislamiento térmico exterior, en fachadas y cubiertas ventiladas, o como aislamiento acústico en forjados frente al ruido producido por las pisadas sobre el pavimento.

Tablero de fibras de densidad media (DM)

Hace unos treinta años se desarrollaron por primera vez en Estados Unidos los tableros de densidad media (MDF: *medium density fibreboard*). En su proceso de producción, las fibras se secan, se rocían e impregnan de cola y, finalmente, mediante un trabajo continuo de prensado, se llega a la conformación de los paneles. El producto obtenido puede trabajarse como la madera maciza, es decir, los tableros de suficiente grosor permiten una configuración tridimensional de los mismos.

Los tableros DM se emplean sobre todo en acabado de interiores y fabricación de muebles; así como de fondo o base en trabajos de recubrimiento, chapado o esmalado. No deben utilizarse en exteriores debido a su baja capacidad de consistencia frente a la humedad.

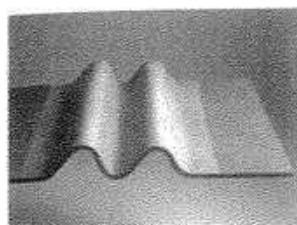


Fig. 23: Tablero de DM conformado
Este producto puede conformarse en moldes bajo la acción conjunta del calor y la humedad

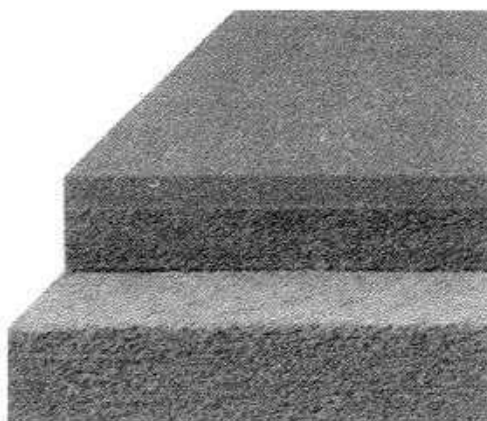


Fig. 24: Tablero de fibras aislante

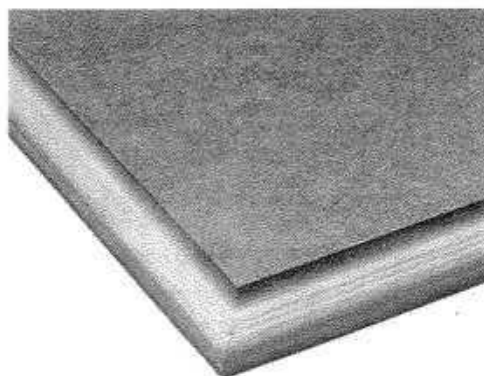


Fig. 25: Tablero de DM

Principales sistemas prefabricados

Compendio

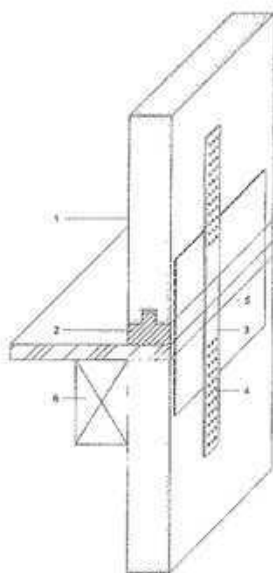


Fig. 26: Homogen80: detalle del encuentro entre pared y forjado
 1) Sistema Homogen80 para paredes
 2) Travesaño de madera
 3) Chapa de sujeción
 4) Chapa de sujeción perforada
 5) Cierre hermético de las juntas del tablero
 6) Viga perimetral

Homogen80

Composición

Homogen80 es un tablero de virutas prensadas de madera de coníferas con un grosor de 80 mm. Los tableros están compuestos por varias capas, alcanzando así una consistencia mecánica propia. Las caras externas constituyen a su vez una buena base para tratamientos superficiales directos. Los tableros se producen con una dimensión máxima de 537×203 cm y pueden encolarse mediante ensambladuras de ranura y peine hasta llegar a conseguir planchas mayores.

Proceso de proyecto

El proyecto no está necesariamente ligado a la unidad básica normalizada de producción, puede planificarse libremente y parcelarse en elementos, desarrollándose en colaboración con la empresa fabricante. La estabilidad y homogeneidad del producto, tal y como sale del proceso de producción, permite una gran libertad en el corte de grandes elementos y de sus huecos, con formas que se aproximan a las que se habían proyectado.

Por lo que se refiere a la "prefabricación dura", el sistema es muy parecido a la construcción maciza tradicional por lo que se refiere a su estructura, a las posibilidades de planeamiento y a sus propiedades fisicoconstructivas. La masa de estos tableros presenta una gran capacidad de almacenamiento térmico, por lo tanto, con unas condiciones de acondicionamiento climático del espacio parecidas a la de un sistema constructivo de carácter macizo.

Comportamiento portante: el tablero es indiferente al sentido de su orientación.

Conformación: el material puede conformarse básicamente en el proceso de producción.

Aplicación: en forjados y cubiertas el sistema debe combinarse con otros sistemas, pues para luces convencionales la capacidad de carga del tablero de virutas prensadas no es suficiente para satisfacer las exigencias de elemento tendido de cubierta.

Fachada: es posible realizar una fachada compacta sin necesidad de emplear una barrera complementaria de vapor.

Aislamiento: el aislamiento se coloca exteriormente.

Superficie: la superficie de los paneles de virutas prensadas está producido de tal manera que puede enlucirse, revestirse de papel o alicatarse directamente. Su carácter perfectamente macizo favorece la realización de trabajos de carpintería a partir del proyecto de ejecución.

Leno (sistema constructivo macizo)

Composición

El LenoTec es un tablero macizo de láminas de madera contrachapada, compuesto por varias capas de madera de pino encoladas y superpuestas entrecruzadamente. Este elemento homogéneo, de dimensiones estables y resistente a la torsión, se produce con dimensiones que llegan hasta los $4,8 \times 20$ m. Hay tableros que tienen de 3 a 11 capas, con grosores que oscilan por tanto entre 50 y 300 mm.

Proceso de proyecto

El sistema Leno de construcción maciza no está supeditado al módulo o unidad básica normalizada, permitiendo pues gran libertad de planeamiento. Todos los elementos fabricados en taller están listos para su montaje. El acabado mecánico permite el corte de formatos específicos de tableros, aptos para practicar en ellos huecos, rebajes y perforaciones para la configuración de encuentros constructivos y el tendido de instalaciones eléctricas. Es posible también la realización de elementos redondos con un diámetro mínimo de 7 m.

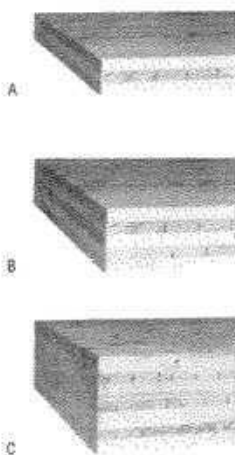


Fig. 27: Tablero LenoTec
 A) De 3 capas, 81 mm
 B) De 5 capas, 135 mm
 C) De 7 capas, 216 mm

Comportamiento portante: el tablero es indiferente al sentido de su orientación.

Conformación: pueden fabricarse tableros curvos en una dirección.

Aplicación: para paredes, forjados y cubiertas.

Fachada: es posible realizar una fachada compacta sin necesidad de emplear una barrera de vapor.

Aislamiento: el aislamiento se coloca exteriormente.

Superficie: la superficie de los tableros se realiza con un acabado de calidad industrial o vista. También es posible realizar capas de madera contrachapada, así como superficies especiales.

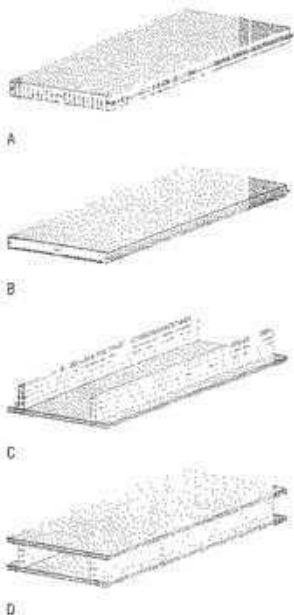


Fig. 28: Tableros con armado interior de listones Schuler
A) Tablero de una capa
B) Tablero de 3 o 5 capas
C) Tablero nervado
D) Tablero cajón con capacidad portante



Fig. 29: Bresta, elementos de tablas por capas ensambladas

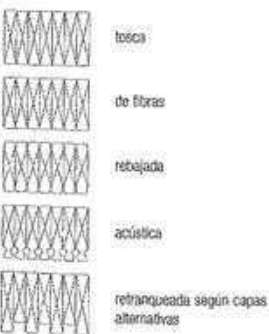


Fig. 30: Bresta, elementos de tablas por capas ensambladas
Variación de la sección transversal

Schuler, tableros con armado interior de listones

Composición

El fundamento de este sistema es un tablero armado interiormente con listones estriados, compuesto por delgadas capas de madera de pino encoladas cruzadamente y tablas laterales de abeto, con un grosor que varía entre 20 y 26 mm. Es posible fabricar tableros de 1 a 5 capas, con grosores variables y dimensiones de un máximo de 3×9 m. Para aumentar la resistencia al pandeo, los tableros se arman con nervios transversales del mismo material, gracias a los cuales pueden ensamblarse las diversas piezas hasta conseguir grandes módulos muy consistentes. Siguiendo este mismo principio surgen, por medio de la tablazón lateral, a ambos lados de los nervios, elementos cajón con capacidad portante.

Proceso de proyecto

El proyecto no está necesariamente ligado a la unidad básica normalizada de producción, puede planificarse libremente y segmentarse en elementos, desarrollándose en colaboración con la empresa fabricante. Pueden abrirse huecos en los tableros con una gran libertad. Los nervios pueden servir como elementos de apoyo para revestimientos y tablazones.

Comportamiento portante: el tablero es indiferente al sentido de su orientación.

Conformación: los elementos no pueden conformarse.

Aplicación: para paredes, forjados y cubiertas.

Aislamiento: el material aislante se aloja idóneamente en el plano donde se encuentran los nervios y entre ellos.

Fachada: es posible la composición de una fachada compacta, sin necesidad de emplear una barrera de vapor.

Superficie: la superficie de los tableros se presenta con un acabado de calidad industrial o vista, y también uno fruto de su realización estándar por un aserrado en crudo. Asimismo, es posible realizar superficies de madera contrachapada o con una capa de tablas como revestimiento.

Bresta, elementos de tablas por capas ensambladas

Composición

El material básico para los elementos de tablas, constituidos por capas ensambladas, son tablas laterales de 3 cm de grosor, como las que se pueden encontrar en cualquier aserradero en grandes cantidades y a un precio muy económico.

En el curso de un proceso de producción totalmente mecanizado, las tablas de madera, colocadas en posición vertical, se ensamblan mediante uniones sucesivas en espiga. Esta solución mantiene la consistencia de las distintas capas de madera, así como su unión, gracias a la solidez de este tipo de ensambladura, evitándose el uso de colas o elementos metálicos de atado. Por medio de este procedimiento se obtienen elementos portantes de madera tendidos según un eje, de la anchura deseada y con un grosor de 8 a 12 cm para paredes y 18 a 26 cm para forjados, dependiendo de la luz a cubrir. Las espigas discurren en transversal a la dirección de la madera, con lo que se consigue que los movimientos debidos a retracciones o hinchazones se reduzcan prácticamente del todo.

ligeros, produce el efecto de una elevada inercia térmica. Su uso es especialmente indicado en forjados combinados de hormigón y madera. Para reformas, donde el espacio de trabajo es reducido, pueden encontrarse también elementos pequeños (de 27 cm), que pueden ensamblarse in situ en el tablero.

Comportamiento portante: el tablero no es indiferente al sentido de su orientación.

Conformación: los elementos pueden curvarse en sentido transversal (es posible realizar cubiertas abovedadas).

Aplicación: para paredes, forjados y cubiertas.

Fachada: las paredes compactas ejecutadas con este sistema necesitan una barrera de vapor, que puede colocarse entre los elementos y el aislamiento si la superficie interior no está revestida.

Aislamiento: el material aislante se coloca exteriormente.

Superficie: para superficies revestidas se utilizan tablas provenientes del aserrado en crudo. Para superficies vistas, las tablas se lijan en sus cuatro caras. Dependiendo de las exigencias acústicas y estéticas, las superficies pueden configurarse libremente modificando su sección transversal.



Fig. 31: Elementos para paredes Lignotrend
A) con sus dos caras abiertas
B) con sus dos caras cerradas
C) con una cara cerrada

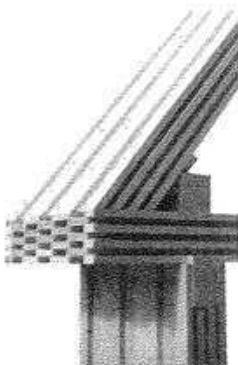


Fig. 32: Ligu, elementos constructivos de madera.
Pared – forjado – cubierta

Lignotrend

Composición

El Lignotrend está formado por diversas capas de madera de coníferas, encoladas y entrecruzadas, con cámaras de aire interiores de varios centímetros. Como material en bruto se utilizan exclusivamente maderas apropiadas para el revestimiento de paredes o de poca consistencia. Está compuesto de tres a seis capas entrecruzadas. Los elementos para paredes se producen industrialmente con una anchura de hasta 62,5 cm. En los talleres dedicados al tratamiento de la madera para la fabricación de entramados y travesaños, se ensamblan elementos con la altura de una planta. La unión de los elementos individuales entre sí, o de los mismos con el forjado o con las vigas, se lleva a cabo mediante procedimientos mecánicos. Gracias al entrecruzado de la madera, sus abombamientos y retracciones son mínimos. Las deformaciones se absorben en las juntas.

Proceso de proyecto

La unidad básica normalizada de 12,5 cm no está ligada al proyecto y éste puede planearse con relativa libertad antes de definir el despiece concreto con la empresa fabricante. También posibilita una gran libertad para la apertura de huecos en el tablero. Los elementos para forjados y cubiertas muestran una composición muy similar. El tendido de instalaciones eléctricas puede llevarse a cabo, sin dañarlo, en el hueco intermedio del tablero.

Comportamiento portante: el tablero es indiferente al sentido de su orientación.

Conformación: los elementos no pueden conformarse.

Aplicación: para paredes, forjados y cubiertas.

Fachada: es posible realizar una fachada compacta sin necesidad de emplear una barrera de vapor.

Aislamiento: las cámaras existentes entre las distintas capas podrían rellenarse con aislante. En todo caso, se han realizado ensayos al respecto, puesto que el procedimiento técnico empleado para ello resulta costoso.

Superficie: dependiendo del tipo de elemento, es posible una calidad vista de la superficie de acabado.

Ligu, elementos constructivos de madera

Composición

Los elementos constructivos de madera Ligu se componen de varias capas de laminas de madera maciza contrapuestas unas respecto de las otras y encoladas (tablas laterales de diferentes maderas de coníferas) y fijadas con sólidos tacos de madera en la zona de su solape. De este modo surge una construcción portante con las uniones de sus piezas pegadas y estructura de cajón, con cámaras de aire entre ellas. Al igual que una viga de madera laminada, puede salvar grandes luces. Se producen con grosores que oscilan entre los 140 y 240 mm (es decir, con una composición de 7 a 12 capas), y en módulos normalizados de 62,5, 41,6 y 20,8 cm. Los elementos individuales pueden ensamblarse mediante lengüetas de madera para llegar a constituir piezas mayores. En los ángulos es necesario el ensamble de un montante de madera.

Proceso de proyecto

Es conveniente adaptar el módulo normalizado del proyecto al elemento más pequeño. Dado que su máxima anchura es de 62,5 cm, los huecos no deben colocarse en los elementos, sino entre ellos. Por otro lado, en sus encuentros no pueden absorber esfuerzos cortantes, lo que tiene como consecuencia la inserción de una viga-dintel.

Comportamiento portante: el tablero no es indiferente al sentido de su orientación.

Conformación: los elementos no pueden conformarse.

Aplicación: para paredes, forjados y cubiertas.

Fachada: es posible la composición de una fachada compacta sin necesidad del uso adicional de una barrera de vapor.

Aislamiento: dependiendo del grosor de los elementos y de las exigencias térmicas, las cámaras de aire cerradas (57 % de madera, 43 % de espacio intermedio hueco entre los elementos), pueden producir un aislamiento térmico suficiente.

Superficie: los elementos se revisten con tablonés.

Elementos laminares, planos y en cajón Lignatur

Composición

Los elementos Lignatur son elementos constructivos de madera acabados industrialmente, de carácter celular, desarrollados para su uso como estructura de cubiertas y forjados portantes. Estos elementos contruidos modularmente se ensamblan mediante una doble unión machihembrada y pueden montarse previamente en el taller hasta constituir grandes elementos transportables. Los elementos cajón tienen una anchura de 200 mm y una longitud máxima de 12 m, si bien es posible la fabricación especial de piezas de mayor longitud. La altura de los elementos varía libremente en función de las exigencias estructurales y constructivas.

Los elementos planos Lignatur se fabrican con unas dimensiones de 514 y de 1.000 mm de anchura, y una longitud máxima de 16 m. Los elementos laminares están sobre todo pensados para su uso en cubiertas.

Proceso de proyecto

Los elementos Lignatur se ensamblan ya en el taller para formar placas de gran superficie. Es conveniente ajustarse en el proyecto a la unidad básica normalizada determinada por la anchura del elemento. Al colocarlos verticalmente para su uso en paredes, hay que tener en cuenta que las juntas de los elementos no pueden absorber esfuerzos cortantes, lo que exige la introducción de una viga en dintel o cargadero.

Elemento con cámara Wellsteg

Composición

El elemento constructivo básico con cámara Wellsteg configura una viga con alas de una anchura de 16,6 cm y una altura entre 19 y 51 cm. La viga se compone de dos plequinas de madera maciza de picea o abeto, formadas por tablas machihembradas y almas onduladas de madera de abedul. En una instalación especial de producción se practican ranuras cónicas con forma ondulada. Las almas se encajan y encolan a lo largo de las alas de madera maciza. Después se efectúa el prensado. Los elementos individuales se unen por medio de travasas dispuestas interiormente para configurar elementos planos.

Proceso de proyecto

Conviene respetar en el proyecto el módulo normalizado determinado por la anchura de las vigas. Los elementos se prefabrican en las dimensiones requeridas, que pueden llegar hasta los 15 m de longitud. Las conducciones para instalaciones eléctricas, sanitarias y de calefacción se introducen en el taller. En el caso de instalaciones transversales, resulta sencillo taladrar el alma de las vigas.

Debido al reducido peso del elemento Wellsteg, su uso es especialmente indicado para ampliaciones en altura de edificios preexistentes. A igualdad de cargas, altura constructiva y luces, este elemento alcanza únicamente un 7 % del peso propio de un forjado de hormigón armado.

Comportamiento portante: el tablero no es indiferente al sentido de su orientación.

Conformación: los elementos singulares Lignatur pueden configurarse para formar cubiertas curvas.

Aplicación: para forjados y cubiertas.

Aislamiento: las cámaras de aire de los elementos pueden rellenarse en taller con diferentes materiales aislantes.

Superficie: se dispone de tres tipos de superficies para forjados vistos: industrial, normal y selecta.

Comportamiento portante: el tablero en esencia no es indiferente al sentido de su orientación. La prolongación de ambas alas con respecto al alma permite, con una madera de relleno como elemento de articulación intermedio, la adición de diferentes direcciones portantes. Siguiendo el mismo principio, se practican huecos o rebajos en los forjados, realizados en el taller.

Conformación: las vigas en alma pueden ensamblarse de modo que configuren un panel curvo.

Aplicación: para paredes, forjados y cubiertas.

Fachada: una composición compacta de la fachada exige emplear una barrera de vapor adicional.

Aislamiento: las cámaras de aire situadas entre las almas pueden rellenarse con materiales aislantes en el taller.

Superficie: existen tres tipos de superficies para forjados vistos: industrial, normal y selecta.

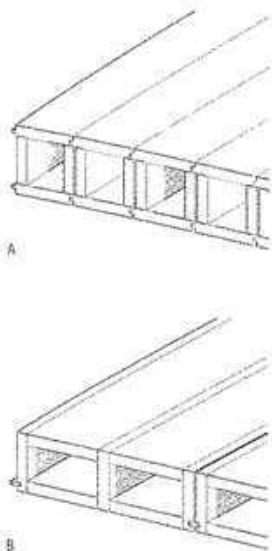


Fig. 33: Elementos Lignatur
Elementos cajón
Elementos planos



Fig. 34: Elemento con cámara Wellsteg

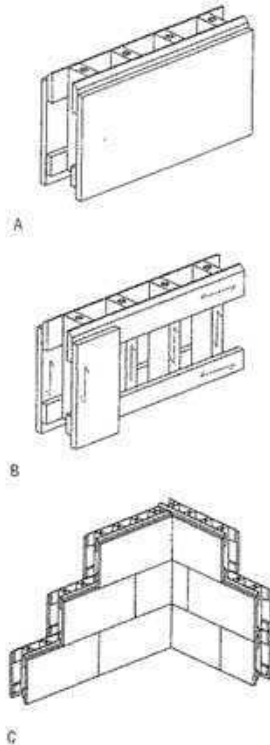


Fig. 35: Sistema de pared Steko

A) Módulo básico Steko

B) Composición de un módulo y orientación de las fibras

C) Composición de la pared

Sistema de pared Steko

Composición

Steko es un sistema de cajas constructivas formadas por módulos estandarizados, fabricados industrialmente, de madera maciza. Los distintos módulos se acoplan unos a otros por medio de un ensamble especial que permite un encaje óptimo tanto de las esquinas como de los encuentros de las paredes interiores. Completan el sistema determinados elementos para cierres o remates, dinteles y vigas de los diferentes tipos de huecos. Los módulos manejables se componen de cinco capas de madera maciza, entrecruzadas y encoladas. En la pared, gracias a su acoplamiento, los módulos forman una unidad modificable y también estática desde el punto de vista conceptual.

Proceso de proyecto

El sistema se basa en un módulo básico de 16 cm. Dentro de las dimensiones del módulo básico, de longitud, altura y grosor de 64/32/16 cm respectivamente, se contienen también los formatos de 1/4, 1/2 y 3/4. El módulo básico en altura está establecido con 8 cm, que se alcanza por medio de la combinación de las dos alturas constructivas de 32 y 24 cm. Hay elementos estructurales de unión, perimetrales y de dintel, adaptables a la retícula. En el interior de los módulos pueden conducirse instalaciones por medio de tubos flexibles. El sistema de pared Steko puede combinarse también con los sistemas de forjado y cubierta habituales, así como con puertas y ventanas normales.

Comportamiento portante: el tablero no es indiferente al sentido de su orientación.

Conformación: los módulos no pueden ser conformados.

Aplicación: para muros.

Fachada: es posible realizar una fachada compacta sin necesidad de emplear una barrera de vapor.

Aislamiento: tras el montaje de los módulos, las cámaras intermedias pueden rellenarse con un material aislante adecuado. Dependiendo del grado de aislamiento deseado y de la composición de la fachada, se coloca en la cara exterior una capa aislante complementaria.

Superficie: los módulos se expiden con una capa de revestimiento vista, o placas de una capa que discurren en vertical o, si se desea expresamente, placas de tres capas que discurren en horizontal.

Sistemas constructivos de tableros

Desarrollo actual



Fig. 36: Montaje de un tablero
LegnoTec, paneles de madera contrachapada

Durante los últimos tiempos se observa un cambio en los procesos constructivos y de proyecto, y con ello también en el papel del arquitecto que, ante la enorme oferta de sistemas y materiales, se ve obligado a conocer los procedimientos específicos con que cuenta la industria, que ofrece siempre soluciones basadas en sistemas globales, en los que tanto el conocimiento especializado como la garantía de su rendimiento se sitúan del lado de la empresa fabricante.

En el campo de la construcción con madera, los actuales desarrollos e impulsos innovadores son de naturaleza estructural y, en consecuencia, el sector de la madera asume una posición especial en el interior de la industria de la construcción. También aquí el conocimiento tecnológico corre a cargo de los especialistas de las empresas. Para los arquitectos esto significa, desde luego, una simplificación en la medida en que no deben ya pensar en muchos de los detalles inherentes al proceso de construcción, pero a su vez este abandono de competencias representa a largo plazo una pérdida tanto para el oficio de arquitecto como para el conocimiento constructivo.

Producción de materiales transformados y semifabricados a partir de la madera

Esta dinámica se desató en Europa Central y Escandinavia a consecuencia de una crisis en la industria maderera de la construcción. Para recuperar sectores de mercado invadidos por la construcción en serie y aprovechar el problema de la madera procedente de los árboles abatidos en poco tiempo por dos fuertes huracanes (el *Vivian* en 1990 y el *Lathar* en 1999), se tuvo forzosamente que innovar. Las innovaciones tuvieron lugar en el ámbito de la producción de materiales transformados y semifabricados. La elaboración tradicional de la madera necesita elementos provenientes de su corte que sean lo más homogéneos y estables posible, lo que significa que para la obtención de postes, maderas canteadas y tablas sólo se empleen troncos de crecimiento sano y derecho y restos desprendidos de su corte de menor calidad. En la actualidad, éstos se utilizan en el siguiente escalón del proceso de reducción de la madera, láminas, laminas y listones. La conclusión de esta cadena de transformación de la madera la constituyen el serrín y las virutas.

El proceso de reducción de la madera se acompaña de otro contrapuesto de ensamble. Cuanto menores son las partes que componen un producto, más homogéneas son sus cualidades físicas y, por tanto, más intensamente puede influirse en ellas por medio del ensamble o conjunción de sus partes, y de la elección de los procedimientos mecánicos o químicos de su unión. Para el aprovechamiento de las virutas y el serrín se emplean, según la zona de aplicación, materiales como la cola o el cemento. Los productos semifabricados de laminas y listones suelen estar encolados, lo que se eleva su capacidad ante las sollicitaciones estáticas y abre nuevas posibilidades constructivas.

La búsqueda de los conglomerantes adecuados y de la proporción a aplicar en las piezas de la madera abre la vía en la dirección de los productos semifabricados, donde para alcanzar unas propiedades óptimas se difumina la frontera entre los materiales transformados y otros como los plásticos. Dentro de esta línea apuntan intentos actuales con el objetivo de conseguir ensambles de madera innovadores, como, por ejemplo, el procedimiento denominado "soldado de madera", donde conglomerantes termoplásticos se introducen en la estructura porosa de la madera, bajo el efecto de la vibración de ondas ultrasónicas. El procedimiento de "soldado de madera" produce una "soldadura" estable y resistente al instante.

Por sus propiedades físicas, mucho más homogéneas que las de la madera natural, y sus hasta ahora desconocidas dimensiones, los sistemas surgidos a partir de estos productos abren nuevas posibilidades constructivas. Por ello, fue sólo una cuestión de tiempo que llegasen al mercado los primeros sistemas constructivos de madera con nuevas y completas propiedades estáticas y físicas.

Prefabricación individual

Gracias al desplazamiento de la producción de la obra al taller, donde puede alcanzarse una elevada precisión debido a la atención que se presta a las condiciones de fabricación y a su desarrollo, los constructores de la madera mantienen la mayor parte de ese proceso bajo control. Casi todos los sistemas actuales son lo suficientemente flexibles como para ofrecer respuestas individuales a cada proyecto. La necesidad de adaptar el proyecto al módulo normalizado de un sistema constructivo en madera pertenece al pasado. Como mucho, la disposición en planta está condicionada por luces amplias. El procedimiento clásico de planeamiento de la carpintería de armar ha sido invertido: la obra puede proyectarse de un modo relativamente libre para, en un paso posterior, descomponerla en partes individuales apropiadas o elementos (prefabricación individual). Aquí, el tamaño de los elementos supone aún grandes dificultades por las limitaciones que plantea su transporte.

Sistemas *blackbox* o *sándwich*

En la actualidad es posible solicitar ofertas de los fabricantes con un proyecto a escala 1:200. Han quedado atrás los tiempos en que el arquitecto diseñaba un sistema constructivo en madera realizado exigentemente con todo detalle y en su totalidad. Ahora son los fabricantes encargados de la realización de sistemas los que asumen este trabajo, y son ellos quienes se responsabilizan del dimensionado y de la satisfacción de sus exigencias físicoconstructivas. Los detalles específicos del proyecto se resuelven con el arquitecto, en todo caso ligándolos retrospectivamente al sistema. En obra se suministran y montan los elementos *blackbox*, que satisfacen todas las exigencias y que, dependiendo del sistema, se revisten aún interior y/o exteriormente.

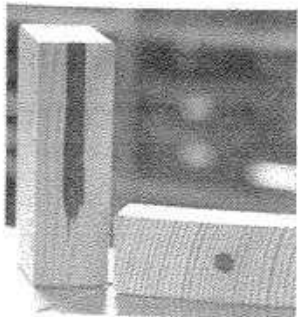


Fig. 37: Ensamble de "soldado de madera"
Bajo la acción de ondas ultrasónicas, el plástico se une a la madera dentro de un área de poros microscópicos (tecnología "soldado de madera")

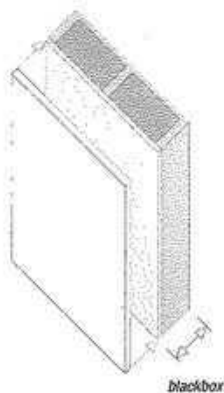


Fig. 38: Sistema blackbox con el ejemplo de una placa nervada de madera maciza. Las placas sandwich acabadas se entregan en la obra con su "virtu interior" ya oculta.



Fig. 39: El tablero delgado. Montaje del sistema de tableros.



Fig. 40: El tablero apilado horizontalmente. Trabajo de los estudiantes de primer curso de la ETH de Zürich.

Tableros indiferentes al sentido de su orientación

Una característica determinante del proyecto para el sistema constructivo de tableros radica en si la estructura del tablero es o no indiferente al sentido de su orientación. Los tableros indiferentes son los procedentes de la transformación de la madera, cuya estructura en el interior del plano del tablero es neutra respecto a su orientación. Por su configuración natural, la madera tiene siempre una estructura orientada en un sentido. Ello hace posible los progresos en la producción de materiales transformados y semifabricados, en la medida en que, por ejemplo, se pegan entrecruzadas unas sobre otras capas de láminas o barras. Estos tableros muestran un alto grado de estabilidad y consistencia. Producen el efecto de una placa estructural y pueden ensamblarse y cortarse casi con tanta facilidad como en una maqueta. Esto se aprecia especialmente en la apertura de huecos, que pueden claramente perforarse a voluntad en las placas, sin necesidad de colocar dintel alguno, siempre y cuando exista suficiente material por encima del hueco.

¿Qué hacer con el tablero?

Como producto semifabricado, el tablero de madera maciza constituye una placa más o menos plana. Si fuera una estructura laminar, estaría curvada en una o dos direcciones y sería por lo tanto autónoma respecto de la planta.

Lo que hace constructivamente interesante al tablero, es su grosor variable —desde el grosor del tablero muy delgado al del tablero muy grueso—, que, en teoría puede llegar incluso a ser infinitamente grueso. La causa reside en su singular proceso de conformación, realizado a partir de unas determinadas condiciones dadas: una composición formada por finas capas de láminas superpuestas en paralelo, en diagonal o entrecruzadamente, unidas mecánicamente o encoladas y prensadas.

El tablero de grosor normal

Con el uso de los tableros de grosor normal, los sistemas adquieren las características de la construcción maciza. El grosor de los tableros se dimensiona en función de las solicitaciones a las que van a ser sometidos; una tectónica del tablero dentro de la construcción en bruto.

La composición por capas en la construcción de fachadas muestra un sistema complementario de capas monofuncionales, con una estricta división de dentro hacia fuera en capa portante (el tablero precisamente), aislante y de protección. Estas últimas deben fijarse a la capa portante con una construcción auxiliar. En este sentido, podemos hablar de composición de la fachada. La ejecución de la capa de protección exterior vista es entonces relativamente independiente de las condiciones que plantea el sistema constructivo en bruto del tablero.

En la construcción de forjados su comportamiento no es distinto, si bien debe calcularse la capacidad a flexión del tablero (capa portante) en función de la luz. En la cons-

trucción del suelo sigue la colocación de la capa de aislamiento (para protegerlo del ruido producido por impactos, objetos y aéreo) y la capa de protección o pavimento.

El tablero delgado

El tablero delgado por sí solo no es portante, pero con la inserción regular de nervios transversales, también de madera, se convierte en un elemento resistente al pandeo. Si el tablero acabado con nervios se sella con una segunda capa y se aísla, surge un sistema sintético de fachada donde las distintas capas de protección, aislante y portante, no se confunden, pero en esencia se encuentran fuertemente ensambladas entre sí. En la construcción con madera se habla a menudo de un sistema constructivo sandwich, en concreto de elementos cajón huecos.

La ventaja de este método de producción es el alto grado de prefabricación de los elementos y su desventaja la difícil resolución de las juntas. Estos elementos son muy ligeros, pero muy resistentes a las cargas de viento, por ejemplo. Como elementos cajón huecos ofrecen ventajas en la colocación de forjados de grandes luces. Los conductos de instalaciones pueden integrarse dentro de una medida determinada, pero su principal problema consiste en conseguir un adecuado comportamiento acústico.

Como paredes interiores portantes, los elementos cajón huecos ofrecen una posibilidad adicional: pueden rellenarse con una capa compacta de arena, una vez se hayan tendido los conductos de las instalaciones, de modo que no sólo se mejora su comportamiento acústico, sino también su capacidad de almacenamiento macizo con el fin de mejorar su eficiencia energética para el mantenimiento del edificio. El elemento cajón hueco permite, sobre todo al fabricante, una utilización de un sistema clásico realizado con madera dentro del campo de la tectónica de la construcción.

El tablero muy grueso

Los tableros pueden apilarse unos sobre otros horizontalmente. Con programas de corte, similares a los empleados en la industria textil, se ensamblan partes específicas del proyecto, con un aprovechamiento óptimo de las placas. Gracias al uso de fresadoras asistidas por ordenador, los cortes pueden discurrir no perpendicularmente a los tableros, sino seguir determinadas direcciones en ángulo, con una continuidad variable. Las superficies de corte de las piezas apiladas de los tableros dan como resultado un desarrollo superficial tridimensional, que produce la impresión directa de constituir una configuración espacial. Es decir, surge un concepto espacial macizo con una vida interior propia y orgánica. En este punto, la construcción con madera se aleja de todos los sistemas constructivos conocidos, pues el procedimiento da como resultado más bien un sistema constructivo escultórico antes que tectónico. El concepto de un sistema constructivo macizo en madera adquiere así un significado totalmente nuevo.

Sistemas constructivos de madera

Compendio

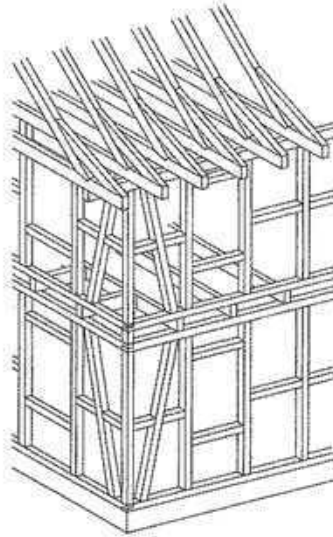


Fig. 41: Entramado, construcción con barras

Entramado, construcción con barras

Este sistema constructivo de madera tradicional, ya apenas se utiliza. Se basa en un módulo básico relativamente estricto de riostras diagonales. Se trata de un sistema siempre rígido en la superficie, constituido por vigas de madera y que supone uno de los primeros inicios de la prefabricación. La función portante y divisoria se encuentra unificada en el mismo plano de la pared. La construcción se realiza in situ ensamblando cada elemento uno a uno y planta a planta. La distancia entre los pies derechos se deriva de la capacidad portante de la sección de los elementos individuales, que antes de la industrialización se cortaban con medios técnicos sencillos (sierras, hachas). Los ensambles están sometidos a mínimas sollicitaciones y se realizan como puros ensambles de madera en forma de espigas, encajes o superposiciones. La transmisión de cargas verticales tiene lugar directamente en los puntos de encuentro de la madera.

Dado que en los antiguos sistemas constructivos de barras la sección de las vigas a menudo no se calculaba estáticamente, la dimensión de las mismas tendía a ser demasiado grande y por ello resultaba antieconómico, o sufría un considerable debilitamiento de las secciones en los puntos de ensamble. En la actualidad se emplean elementos de unión provenientes de la ingeniería, con objeto de poder dimensionar las diferentes secciones con criterios más económicos.

El relleno de los entramados tradicionales históricos se componía de barro, madera entretrejida o adobe, más tarde de obra de fábrica y revoco. Hoy en día el entramado se rellena con material aislante y se recubre con un revestimiento de protección frente a las inclemencias climatológicas.

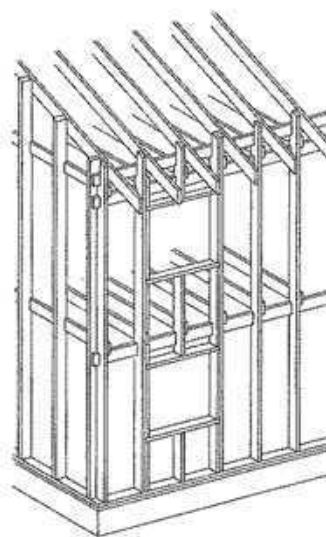


Fig. 42: Balloon frame, entramado formado por pies derechos

Balloon frame, entramado formado por pies derechos

El sistema *balloon frame*, de gran difusión en Norteamérica, se compone de pies derechos estrechos, canteados y de secciones normalizadas, con una medida básica de 2 x 8 pulgadas (unos 5 x 20 cm) y dispuestos con una gran proximidad. Para obtener secciones mayores y con más capacidad estática, se colocan mediante una sencilla clavazón varios maderos canteados iguales y situados unos junto a otros. El entramado formado por pies derechos clavados in situ discurre en general sobre dos o más plantas, que se arriostran diagonalmente por medio de tablazones de madera maciza o tableros de maderas transformadas.

La sencillez del sistema, en el que a menudo las barras suplementarias se clavan ad hoc en el entramado formado por los pies derechos, permite una rápida construcción por trabajadores no especializados, a pesar de su mínimo grado de prefabricación. El sistema se caracteriza también por una gran libertad de distribución en la planta, el volumen y el tratamiento de los huecos. Incluso permite también "practicar" posteriormente los huecos que uno desee, pues el sistema constructivo está estáticamente sobredimensionado. Por ello, el sistema presenta la desventaja, frente a los más innovadores, de un mayor gasto de material.

En Europa el entramado formado por pies derechos estrechos constituye el equivalente del *balloon frame* norteamericano. En todo caso, trabaja con maderos canteados normalizados y colocados muy próximos unos respecto de otros, que discurren asimismo sobre dos o más plantas. El grado de normalización es aquí en todo caso menor, y el modo de unión no se limita al clavado, como en el *balloon frame*, sino que se emplean también ensambles en espiga. Además se pretende un uso más económico del material.

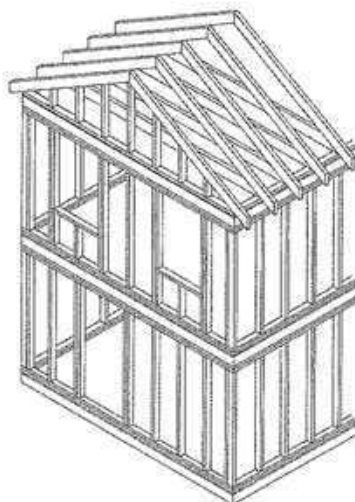


Fig. 43: Armazón

Armazón

El sistema de armazón, como amplio desarrollo del sistema de entramado de pies derechos, muestra un alto grado de prefabricación y es, por tanto, un sistema de amplia difusión. Los elementos portantes se componen de bastidores de madera de la altura de una planta, que se arriostran por medio de una tablazón diagonal o de un revestimiento de madera superficial. Este sistema se basa en un módulo normalizado estricto, donde la distancia entre sus elementos puede variarse en función de las necesidades, por ejemplo, del aislamiento térmico utilizado (con formato de tableros o relleno de borras). Los nervios portantes individuales se ensamblan en taller y se transportan a la obra, donde sólo deben montarse y eventualmente revestirse. La estructura tectónica de este sistema se basa en el principio de la superposición por plantas.

La ventaja fundamental del sistema constructivo de armazón radica en las múltiples posibilidades de aplicación, pues puede adaptarse a exigencias muy distintas del proyecto. Debido al empleo de perfiles de madera lo más semejantes posible, que por sus dimensiones reducidas se obtienen fácilmente, y a causa además de la sencillez de sus uniones clavadas y atornilladas, el sistema constructivo de armazón no resulta complicado y es económico.

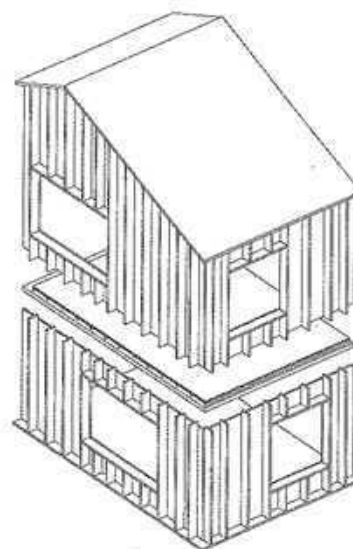


Fig. 44: Sistema con tableros

Sistema con tableros

La actual evolución de la construcción con tableros conduce a una inversión del principio del sistema constructivo de armazón. El elemento portante es un tablero y ya no la barra de madera. Este tablero debe mostrar gran consistencia y estabilidad para poder comportarse estáticamente como una placa estructural. Estas exigencias las satisface, por ejemplo, el tablero de madera maciza que se compone de capas pegadas entrecruzadas de listones cortados de madera. Frente al pandeo, los tableros de madera macizos se estabilizan por medio de nervios transversales del mismo material. En el mismo nivel de los nervios se encuentra el aislamiento térmico. Gracias al carácter plano, indiferente a su orientación, del tablero portante, surgen perspectivas totalmente nuevas, cualidades inhabituales desde el punto de vista estático y para la generación de proyectos en la construcción con madera. Desaparece el módulo básico normalizado, clásico en la construcción con madera, o el ritmo de los elementos portantes. Los huecos pueden abrirse a voluntad en los tableros.

Este principio constructivo permite una racionalización de su composición con varias capas. Los componentes individuales del sistema pueden desempeñar más de una función, lo que reduce el número de capas y con ello el carácter aditivo de la composición por capas. El tablero de madera macizo portante puede servir como superficie interior que, en todo caso, necesita aún una capa de pintura. Si el sistema se reviste con una piel homogénea, ésta puede incluso aplicarse directamente sobre la tablazón del elemento de fachada.

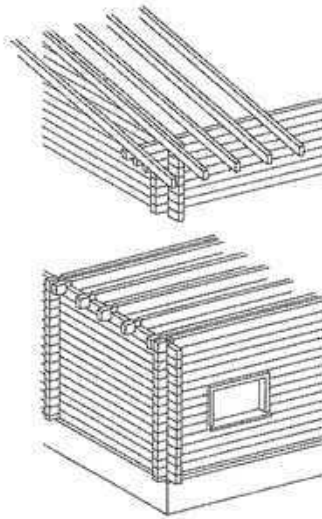


Fig. 45: Blockbau, sistema con troncos

Blockbau, sistema con troncos

El tradicional *Blockbau* y los sistemas constructivos que constituyen un precedente del mismo, como el *Strickbau* (compuesto de maderos redondos), son los únicos sistemas que pueden denominarse con propiedad sistemas constructivos de madera maciza. La envolvente del edificio se compone de una única capa de maderos horizontales apilados, fijados sólidamente en sus cruces, encuentros y esquinas mediante el gualdrapeado y que asumen a la vez funciones de revestimiento, portante y de cierre espacial. Su estabilidad es consecuencia de la resistencia al rozamiento de las juntas, y al gualdrapeado de los maderos en los puntos de encuentro de las paredes, lo que hace que la pared compacta de madera se comporte como una placa portante. Este sistema constructivo no necesita medios técnicos de unión y sus luces dependen de los maderos de que se disponga, si bien por lo general nunca superan los 4,5 m.

Al estar sometidos los maderos a cargas transversales en la dirección de las fibras, las construcciones de estas características experimentan movimientos por contracción o asentamiento de cierta magnitud. Hay que tener en cuenta estos movimientos en determinados detalles como, por ejemplo, en los huecos destinados a ventanas. La capacidad aislante de un sistema constructivo compuesto de troncos de árboles ya no satisface las exigencias actuales, por lo que las construcciones contemporáneas necesitan un aislamiento complementario. Un sistema de tal índole sólo es rentable allí donde exista la infraestructura correspondiente (aserraderos) y carpinteros cualificados.

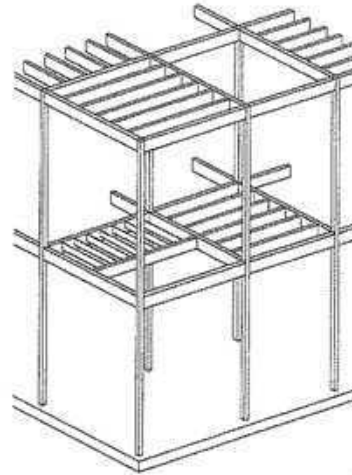


Fig. 46: Sistema reticular

Sistema reticular

El sistema reticular constituye el sistema más ligero que existe en la construcción con madera. La estructura portante se compone de barras verticales y horizontales (vigas) o placas (de un modo análogo a lo que ocurre con el sistema de placas sustentadas por pilares). La consistencia material de las barras verticales y horizontales (madera canteada o de láminas pegadas) y el tipo de nudos (encuentros) determinan tanto la dimensión de las luces a salvar como el carácter tectónico de la estructura. Junto a la madera maciza, en la actualidad entran en consideración sobre todo los tableros laminados y otros elementos constructivos pegados. Por lo general, la configuración de los nudos se lleva a cabo con uniones características de la ingeniería, como conectores y anclajes de chapa o tacos sólidamente ajustados, cuyos principios proceden de la construcción con acero. Las uniones propiamente artesanales, por el contrario, apenas se dan en los sistemas constructivos de esqueleto.

Como riostras se emplean estribos que absorben los esfuerzos a tracción o compresión, placas como paredes, unidas sólidamente al esqueleto, o núcleos macizos a lo largo de todas las plantas de la edificación.

Este sistema se diferencia de los anteriormente enunciados en que la estructura portante, totalmente independiente de los elementos de cierre del espacio, funciona como las paredes divisorias o los sistemas constructivos de fachada. Esta especialización de los elementos no es rentable a causa del gasto de material, pero permite una gran flexibilidad de organización en planta y de la configuración de la fachada, y posibilita salvar luces de grandes dimensiones.

Sistemas constructivos de armazón

Principio constructivo



Fig. 47: Elementos de un armazón de madera antes del montaje
Beath & Deplazes: casa Willmann, Sevelin, Suiza, 1998

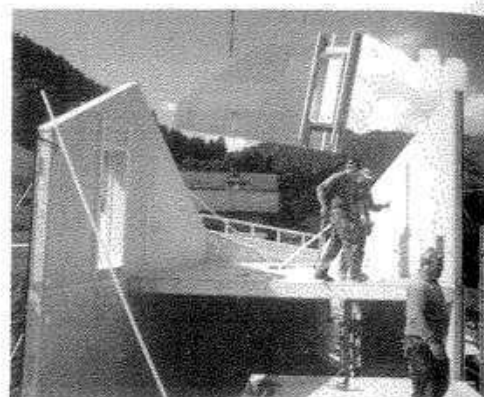


Fig. 49: Montaje de los elementos de un sistema constructivo de armazón de madera, revestido con tablazones por ambas caras
Beath & Deplazes: casa Willmann, Sevelin, Suiza, 1998

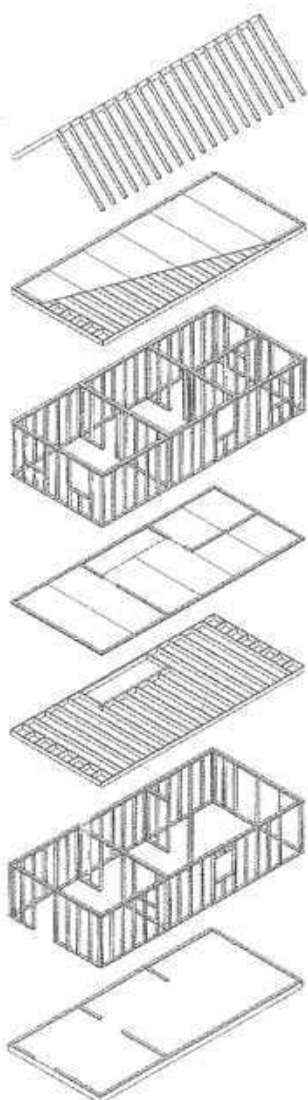


Fig. 48: Superposición de las diferentes plantas en un sistema constructivo de armazón de madera

Los sistemas de armazón gozan actualmente de una gran difusión en Suiza. Dicho fenómeno se remonta a una ofensiva de la industria maderera de la construcción desde el punto de vista del desarrollo técnico y del *marketing*, en la década de 1980, cuando se intentó que este sistema constructivo, que ya existía desde 1930 e inspirado en el *balloon frame* norteamericano, llevase a uno nuevo que presentara un mayor grado de prefabricación y normalización de sus elementos.

En este sentido, los sistemas constructivos de armazón entroncan con la tradición de mejorar y desarrollar, más amplia y adecuadamente, la carpintería de armar. La transmisión de cargas en este sistema se basa en una estructura de barras, optimizada y mejorada, y cuyo ensamblaje y acabado se realiza en su mayor parte en taller. El grado de prefabricación fue aumentando paulatinamente hasta alcanzar hoy los límites inherentes al propio sistema.

Gracias a su flexibilidad y al alto grado de prefabricación alcanzado, los sistemas constructivos de armazón se han impuesto con éxito. Sin embargo, en la actualidad, otras tendencias que emplean nuevos productos de maderas transformadas y se basan en elementos portantes de superficie, compiten con los sistemas de barras (véase "Sistemas constructivos de tableros de madera - Desarrollos actuales").

Los sistemas constructivos de armazón se basan en un estricto módulo básico de barras portantes, cuyas distancias varían en función de la geometría prevista, de las cargas y de los paneles aislantes colocados eventualmente entre ellas. Con perfiles de madera de idéntica sección se configuran los pies derechos y las correas superiores e inferiores que atan la estructura en cada planta, satisfaciendo casi todas las exigencias estructurales gracias a su disposición seriada. El refuerzo de todo el sistema lo asume el revestimiento interior, de manera que el conjunto se comporta estáticamente como si fuera un sistema constructivo de placas estructurales. Todas las uniones pueden realizarse con clavos, si bien en la actualidad también se emplean tornillos allí donde sea

necesario.

El uso de material constructivo estandarizado constituye una ventaja de los sistemas constructivos de armazón. Por lo general, la sección de los maderos empleados oscila entre los 60/120 y los 60/200 mm. Estas dimensiones relativamente pequeñas producen pocos restos de madera proveniente del corte y despiece, y pueden almacenarse de un modo sencillo, secarse con procedimientos técnicos y seleccionarse mecánicamente.

Resulta conveniente disponer un revestimiento de tabazón de los elementos del armazón, preparada ya de antemano. A este fin, se montan tablas delgadas, interior y exteriormente, donde es necesario también una tabla de refuerzo, sobre las que se coloca el tabazón, surgiendo así un elemento sándwich. Las cámaras de aire intermedias sirven exteriormente para la ventilación interior y para el tendido de las instalaciones. La elección de los materiales de superficie vistos apenas está condicionada por el sistema.

Prefabricación individual

A diferencia de los sistemas constructivos de prefabricación en serie, que se apoyan en un módulo básico fijo o en elementos normalizados, los sistemas constructivos de armazón suponen una prefabricación individual.

Esto significa que, partiendo de un proyecto específico, proyectado con la relativa libertad que permiten las condiciones habituales del sistema y de un trabajo conjunto de colaboración con la empresa de construcción de la madera, se lleva a cabo una adecuada división de los elementos, procediendo con ellos como si se tratase de una especie de "construcción de cajas".

Cada elemento individual de este "sistema constructivo de cajas" se fabrica como una construcción *blackbox* en taller, con lo que se entrega en obra como si fuera una placa de pared estable. Se forman con un armazón de barras de madera, relleno con un aislamiento térmico y revestido por ambas caras. La disposición de las barras en el interior de los elementos depende de las cargas efectivas y de su propia geometría, debiendo prestar atención en cualquier caso a la apertura de huecos en la placa de pared.

La elección y dimensiones del material aislante utilizado (formato y grosor de las placas) lo determinan por su parte tanto la separación conveniente de las barras de madera como su sección. Ésta oscila habitualmente entre los 6/120 y los 60/200 mm, pues el grosor del aislante varía a su vez entre los 12 y 20 cm.

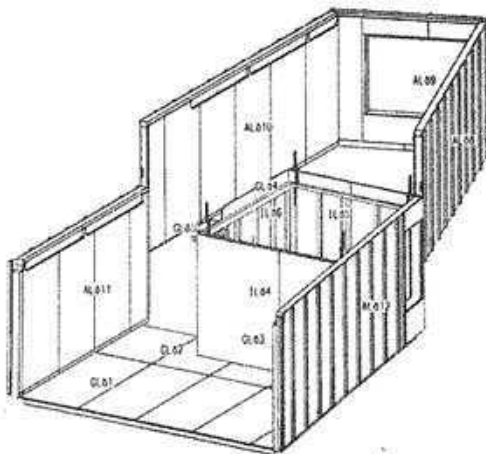


Fig. 50: Axonometría de los elementos de pared colocados en una planta
Beuth & Deplazes: casa Willmann, Sevelin, Suiza, 1998

Su composición en obra consiste en el montaje de estas placas estructurales ya acabadas. Para ello, según la situación, se clavan o atornillan los encuentros a tope. Lo normal es que los elementos tengan la altura de una planta, colocándose los forjados entre ellos o suspendiéndolos interiormente.

Las cajas constructivas ensambladas conforman ahora un armazón autoportante y aislado térmicamente, que precisa un revestimiento que lo proteja de las incle-

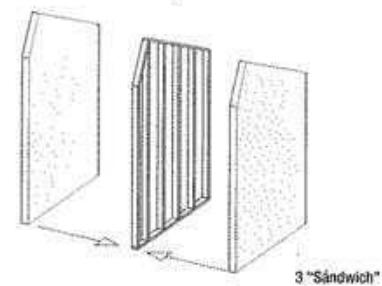
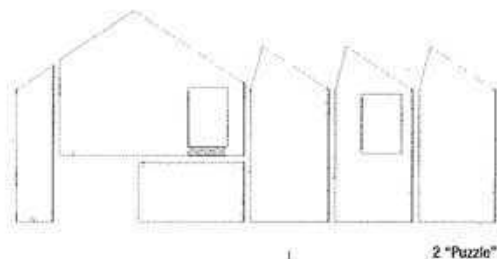


Fig. 51: Sistema de armazón de madera, compuesto como si se tratase de una construcción de cajas

- 1 Proyecto individual
- 2 División adecuada de las "cajas constructivas"
- 3 Elementos concebidos como sistemas cerrados *blackbox* o placas de pared estables

mencias meteorológicas. La clase de revestimiento puede ser la que se quiera, siempre y cuando permita que el sistema constructivo respire (ventilación interna). Por lo general, los sistemas constructivos de armazón de madera también se revisten con una tablazón interiormente. Con ello se protege la capa interior de revestimiento de *blackbox*, que debe ser estanca al vapor de agua (dependiendo del material aislante introducido), de lesiones mecánicas y de perforaciones. Este acabado interior permite una materialización específica de la superficie (enlucida, con tableros, paneles contrachapados, etc.) y la instalación oculta posterior del tendido eléctrico (pero que no puede ejecutarse en el plano del aislamiento térmico).

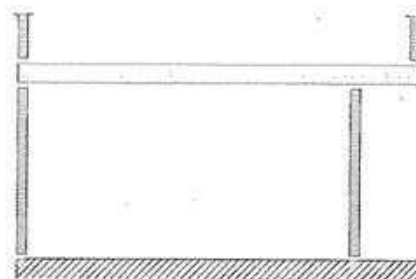
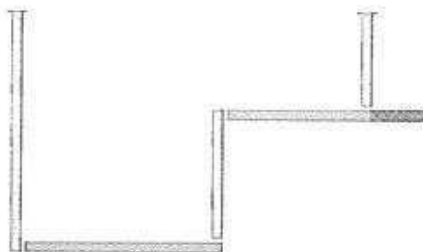
Fig. 52: Prefabricación individual: proceso de planeamiento y ejecución del sistema constructivo de un armazón de madera

Planta, esquemas 1-4

Sección, esquemas 1-4

División de un proyecto específico en las cajas constructivas adecuadas que componen los elementos de paredes y forjados

Trabajo conjunto de colaboración entre el arquitecto y la empresa fabricante y, en su caso, el ingeniero.

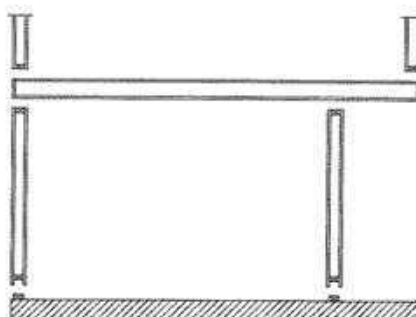
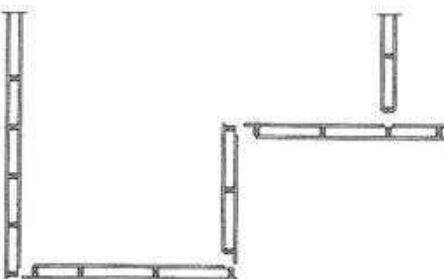


Producción industrializada en taller de los elementos como un sistema cerrado blackbox

Disposición de las secciones de las barras de madera en función de las cargas efectivas así como del formato de las placas aislantes (50/100, 60/120 cm).

Dimensiones de la sección de las barras de madera dependiendo del grosor del aislamiento (de 120 a 200 mm).

Observar la configuración de los encuentros entre las piezas (a tope con perfiles de sellado o solapadas como en el esquema).

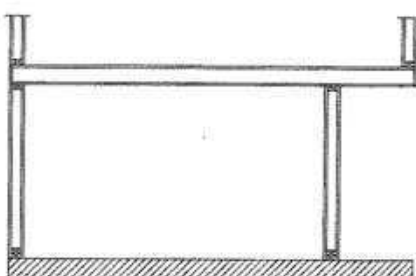
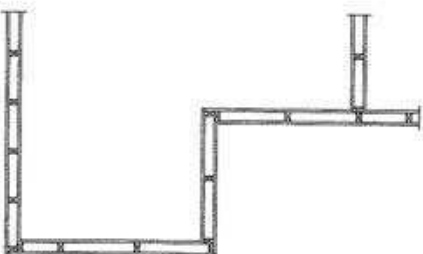


Entrega y montaje de los elementos en la obra

Planta: encuentros verticales de los elementos a tope, clavados (solicitados únicamente a compresión) o atornillados (solicitados también a tracción).

Sección: superposición de los elementos.

Para garantizar la continuidad de la barrera de vapor, deben sellarse convenientemente tanto las juntas verticales como las horizontales.



Colocación del revestimiento exterior (o interior)

El revestimiento exterior debe garantizar la "respiración" del sistema constructivo de madera.

El revestimiento interior posibilita la libre elección de la superficie interior y configura un espacio para el tendido oculto de la instalación eléctrica. En los elementos del armazón no se alojan instalaciones (eléctricas, de agua, de gas, sanitarias u otras) ya que tendrían que perforar en algún punto la barrera de vapor.

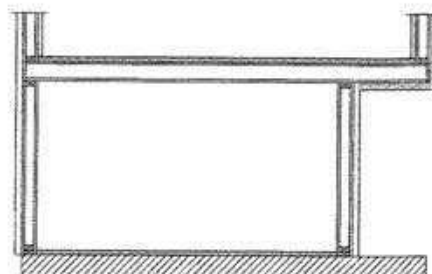
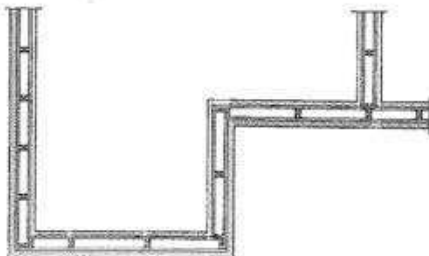
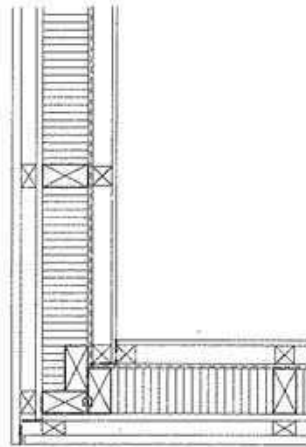
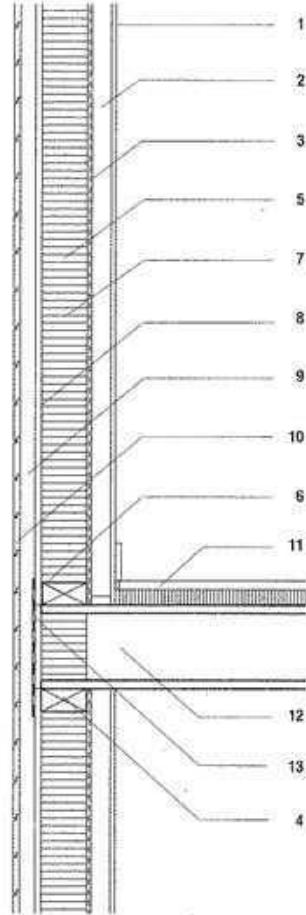


Fig. 53: Composición por capas y tablazón de los elementos de un armazón de madera

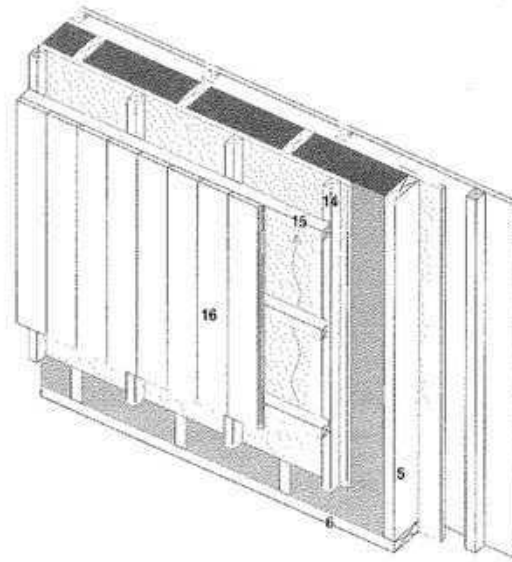
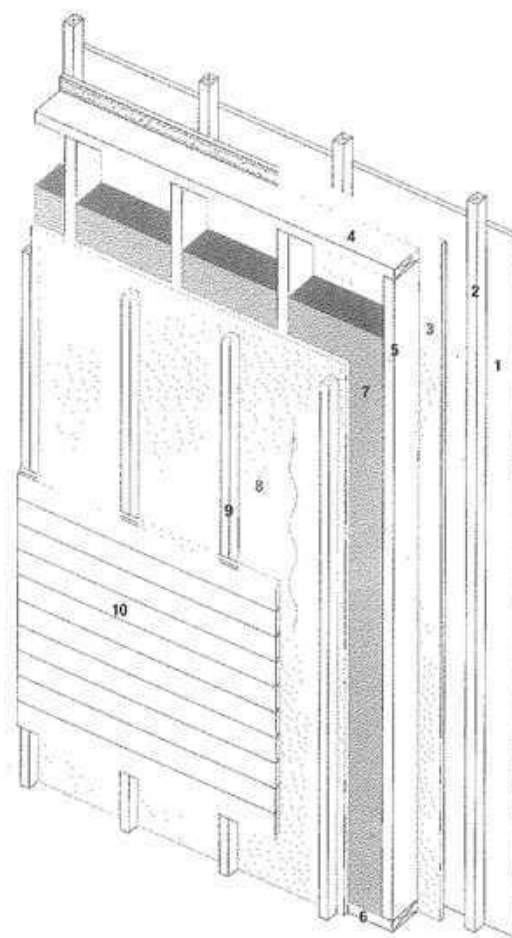
- 1 Tablazón interior, 12 mm
- 2 Emparrillado vertical de rastreles, instalaciones, 50 mm
- 3 Tablero de maderas transformadas (estanco al vapor de agua), 12 mm
- 4 Armazón: barra de atado superior, de entre 60/120 y 60/200 mm
- 5 Armazón: barras que constituyen su núcleo, de entre 60/120 y 60/200 mm
- 6 Armazón: barra de atado inferior, de entre 60/120 y 60/200 mm
- 7 Aislamiento térmico (por ejemplo, Isofoj), de entre 120 y 200 mm
- 8 Tablero blando de fibras bituminoso (estanco al viento), 18 mm
- 9 Emparrillado vertical de rastreles con cámara de aire ventilada, 40 mm
- 10 Tablazón horizontal, 24 mm
- 11 Tabla de tres capas machihembrada, con aislamiento frente a los ruidos de impacto
- 12 Elemento cajón hueco Lignatur
- 13 Sellado sobre los puntos de encuentro de los elementos
- 14 Emparrillado de fijación de rastreles de 40 mm (necesario para garantizar verticalmente la aireación interior)
- 15 Emparrillado vertical de rastreles, 24 mm
- 16 Tablazón vertical, 24 mm



Planta: encuentro en esquina
Tablazón de revestimiento horizontal



Sección: apoyo de los forjados
Tablazón de revestimiento horizontal



Axonometría: composición de las capas
Tablazón de revestimiento horizontal (arriba) y vertical (abajo)

Predimensionado de vigas de madera

Estimación de las primeras dimensiones en el proyecto

Altura del elemento
 h (m)

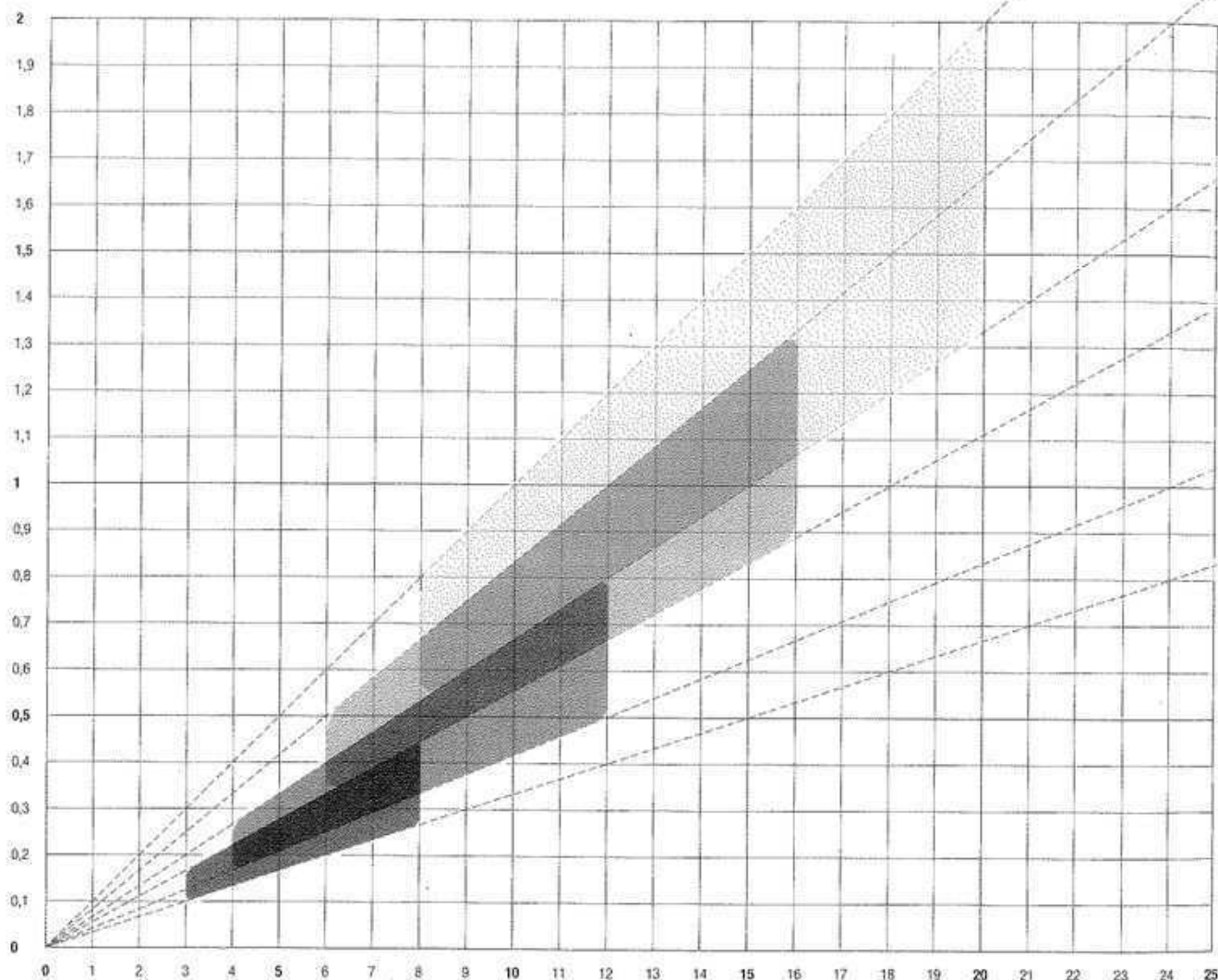


Fig. 54: Indicaciones para el uso de la tabla

En caso de grandes solicitaciones (peso propio y sobrecargas de uso), hay que aplicar los valores máximos propuestos en la tabla para la altura de los elementos, y viceversa para las cargas menores.

Las dimensiones y relaciones representadas no pueden verificarse de forma científica. Los trapecios deberían representarse realmente con límites imprecisos. En interés de una utilización racional de los elementos portantes, deben evitarse los valores límite representados en esta tabla.

Fuente: M. Dietrich, Escuela de Ingenieros Burdorf, 1990.

Elemento portante

Luz
 l (m)

h^*/l

Pares	– 8 m	1/18 – 1/30
Cabios, vigas	4 – 12 m	1/15 – 1/24
Vigas con alma	6 – 16 m	1/12 – 1/18
Cerchas	8 – 20 m	1/10 – 1/15

* para un primer dimensionado, realizado a grandes rasgos, puede introducirse una sección transversal de vigas con un valor $h^*/l = 2/1$. Las vigas de madera BSH son habitualmente más esbeltas (pueden llegar hasta una proporción aproximada de 5/1).

Corte de un tronco en la cultura tradicional japonesa de construcción con madera

Los talleres del gran santuario de Ise

Christoph Henrichsen

Gracias a la costumbre de reconstruir por completo los santuarios sintoístas cada veinte años, en los talleres del gran santuario de Ise se sigue haciendo uso hasta hoy de una tradición milenaria en el corte de la madera. Esta tradición da testimonio de unos profundos conocimientos de la madera y de un procedimiento que ilustra las reglas que se aplican para la obtención de un material de alta calidad, proveniente del corte de troncos de árboles de considerable altura, y acorde con las cualidades específicas de cada tronco. Ise es probablemente el único lugar de Japón donde todo el proceso, desde la explotación forestal hasta la construcción, pasando por la tala y corte de la madera, descansa en manos de un gremio artesanal.

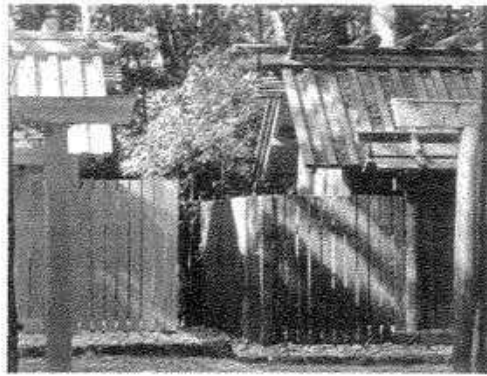


Fig. 55: Santuarios secundarios de Ise
Contraste entre un santuario nuevo y uno viejo

Tala y almacenamiento de los troncos

Los árboles previstos para la construcción de los santuarios se talan en los meses de invierno, de octubre a febrero (en la actualidad se utilizan, junto a los cipreses, los árboles *hiba* del norte de Japón, que han desplazado a los primeros por motivos económicos). A su llegada al taller, se coloca en el extremo de cada tronco un número de inventariado. Antes del despiece, los troncos se almacenan en estanques por un período de hasta tres años. Así no sólo se evitan grietas de secado, se extraen además determinadas sustancias que contiene la madera, con lo que se seca más rápidamente tras el corte. Con ayuda de un torno, los maderos se sacan del agua y se conducen sobre pequeñas vagonetas al aserradero, donde si es necesario se cortan para reducir su longitud. Entonces, el maestro carpintero les da la vuelta con objeto de investigar fallos de crecimiento o daños. Prepara los extremos de los troncos con la garlopa manual y eléctrica para que luego pueda trabajarse mejor sobre una superficie lisa. El proceso para indicar las operaciones de corte de los troncos (en japonés, disponer para ello la madera se llama *kidori*) con trazos, se comienza siempre efectuando un trazo en el corazón (*shinzumi*), en su extremo superior (*sue-koguchi*). Para ello el maestro emplea plomada y escuadra. El trazo central se traslada, con ayuda de un cordel (*mizuito*), al pie del tronco (*moto-koguchi*), con un diámetro aproximadamente 10 cm mayor que el



Fig. 56: Trazado realizado por un maestro carpintero
Trazo en el corazón de un tronco realizado con plomada

del extremo superior. En caso de necesidad, el trazo puede realizarse con una ligera excentricidad, con el fin de evitar los lugares del tronco donde quizá existan daños. Antes de marcar la sección, el maestro carpintero tiende por precaución otras cuerdas. Así se asegura de que puedan extraerse del tronco las piezas de madera deseadas, aunque existan leves arqueamientos del mismo. En la sección de la cabeza del tronco, el maestro no sólo traza las secciones de las maderas, sino que también señala toda la información necesaria para seguir ordenadamente las operaciones posteriores, es decir el nombre del edificio, la denominación de sus partes y elementos, y el número de ellos, así como el del tronco.



Fig. 57: Tres troncos con trazos depositados en el aserradero
En las secciones se aprecian trazos, así como informaciones complementarias que indican los nombres del edificio, denominación del elemento constructivo, número del mismo y número del tronco

Trazado

Para llevar a cabo el trazado, el maestro moja su cordel en el algodón empapado en tinta colocado dentro de una caña de bambú partida (cuyo extremo, con una profundidad de hasta unos 2 cm está astillado en muchos dientes delgados). Por lo general se comienza con el trazado de las secciones de mayor tamaño, del resto se señalan después las partes secundarias. Los troncos se marcan siempre por el maestro del taller. Conoce todos los edificios y sabe mejor que nadie las exigencias que plantea



Fig. 58: Tablas expuestas a la intemperie

cada parte específica. Además de un aprovechamiento máximo, debe observar especialmente que cada elemento constructivo proceda del corte de un tronco apropiado. Así, se cortan preferentemente vigas de troncos ligeramente curvos, en los que el lado curvado del tronco se coloca arriba. Los troncos con alto contenido de resina se trabajan para la elaboración de vigas y pares. En la lista de la madera existen calidades distintas para cada elemento constructivo. La de más alta calidad (*shihoake*), sin defecto alguno en sus cuatro caras, se utiliza para la fabricación de los relicarios que guardan objetos sagrados. Siguen las partes que no deben mostrar ramas en ninguna de sus dos caras (*nihoake*). Para elementos secundarios y partes no visibles (*jokobusi*) se aceptan ramas firmes con un diámetro de hasta 2 cm. En el listado de la madera se contienen también instrucciones para el caso de que la sección cortada deba reducirse más tarde en partes de menor longitud, o de que las distintas partes se ensamblen para constituir una sección mayor.

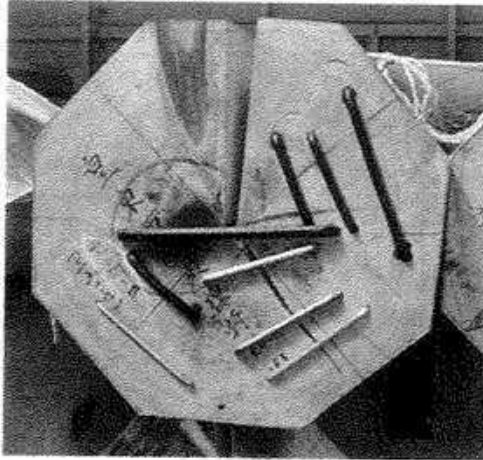


Fig. 59: Extremo de un pie derecho octogonal

El frente se impregna con una emulsión de cera. Numerosas abrazaderas evitan la aparición incontrolada de grietas durante el secado. Se aprecia perfectamente la profunda incisión efectuada hasta llegar al corazón del tronco.

Corte y almacenamiento

Los troncos se cortan de uno en uno con una gran sierra de cinta, para lo que se les da la vuelta varias veces. La tarea de un día comporta el corte de cinco a quince troncos. Después, las piezas se depositan sobre pequeñas vagonetas y se trasladan a uno de los muchos cobertizos. Aquí se impregna la madera con una emulsión de cera y los extremos se envuelven en abrazaderas para evitar posibles grietas. Las piezas se clasifican según los edificios, apilándose para el secado.

Proceso seguido con el corazón de los troncos

En las maderas extraídas del corazón del tronco (*shinmochi*), utilizadas por ejemplo para los pies derechos, vigas y pares, se efectúa una incisión lateral en la madera hasta el corazón (*sowan*). Inmediatamente después se colocan cuñas, introducidas paulatinamente a lo largo de varias

semanas. Si se trata de partes vistas o partes situadas en la zona cercana a las imágenes, se ajusta más tarde una banda cuneiforme, pegada lateralmente (*sewari wo umeru*), que después se trabaja hasta quedar enrasada con la superficie de la madera. Mediante este laborioso tratamiento se evita en gran medida la aparición incontrolada de grietas durante el secado.



Fig. 60: Vigas con una incisión hasta el corazón y cuñas encajadas

Este texto constituye una versión revisada y resumida del artículo de Christoph Henrichsen, "Die Werkstätten am Grossschrein von Ise", que apareció en la revista *Detail* (octubre de 2002).

Los hilos de la red

Urs Meister

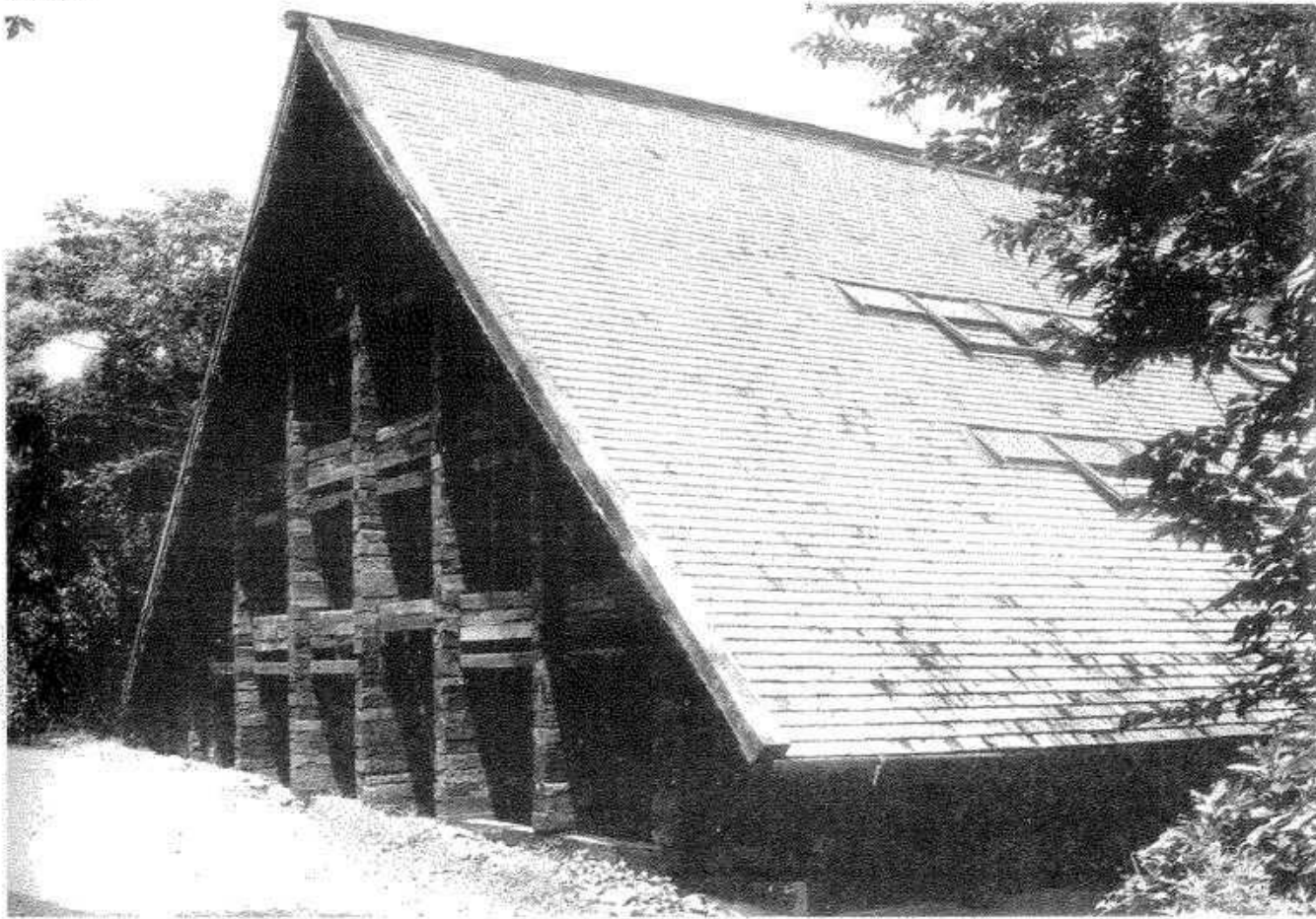


Fig. 61: Casa construida con traviesas de ferrocarril, vista desde el camino de acceso
Shin Takasuga: casa construida con traviesas de ferrocarril, antigua vivienda de la escuela Setogakushi, Miyakejima, Japón, 1960

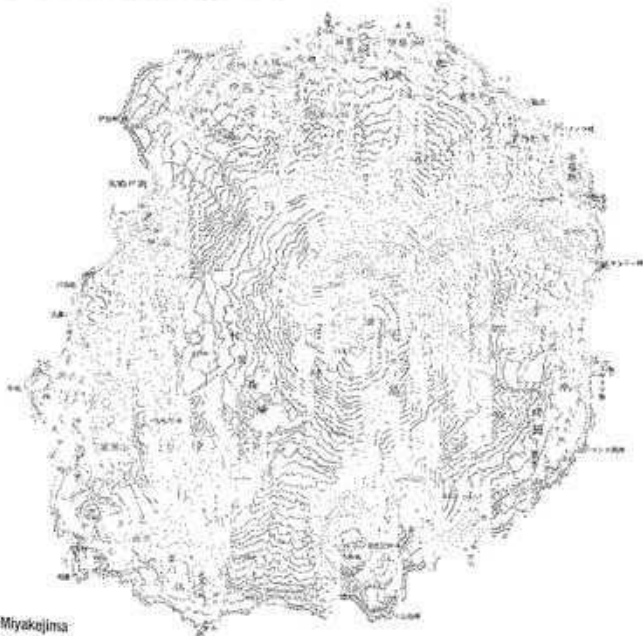


Fig. 62: Miyakejima
Plano topográfico

La lucha librada por los arquitectos japoneses en la década de 1970 a fin de encontrar una autonomía formal entre una tradición centenaria y la rígida y desenfrenada modernidad, se pone de manifiesto ejemplarmente en una casa que Shin Takasuga construyó con viejas traviesas de ferrocarril. En ella puede apreciarse que su contemporaneidad se encuentra ligada a la propia herencia cultural desde diversos planos.

Situada en la pequeña isla de Miyake, en el océano Pacífico, en medio de un bosque, la casa fue proyectada como vivienda colectiva y lugar de retiro por estudiantes de la Nueva Izquierda y militantes pacifistas en la década de 1970. Por motivos económicos, los moradores tuvieron que construir la casa con sus propias manos. Como consecuencia de la decisión de Shin Takasuga de utilizar traviesas usadas de ferrocarril para el edificio, el proceso constructivo duró cinco años. Lo innovador no fue el uso de las traviesas, sino el empleo universal de un único y singular elemento constructivo en todo el conjunto: desde las paredes, hasta el entramado del tejado y los muebles empotrados, pasando por los suelos y la estructura portante, pilares y vigas.

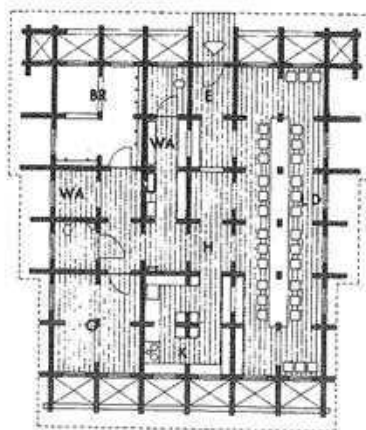
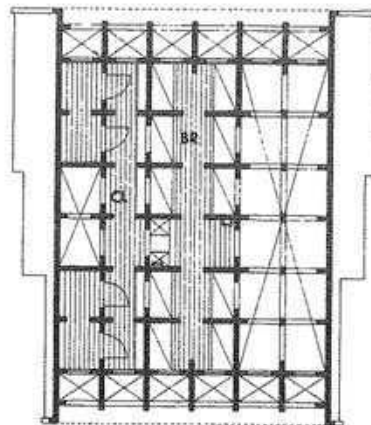
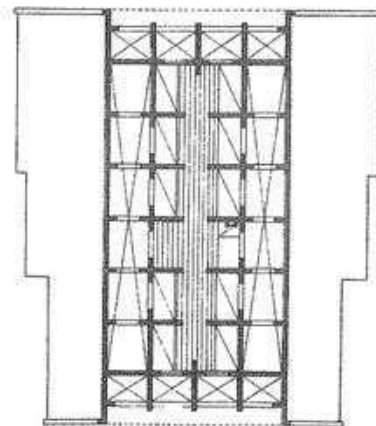


Fig. 63: Planta baja, planta primera y planta de la cubierta
Shin Takasuga: casa construida con traviesas de ferrocarril, Miyakejima, Japón, 1990

La casa, ubicada en una pendiente, se levanta sobre una estructura de hormigón y cuenta con tres plantas. Su planta compacta se caracteriza por una hábil disposición de los espacios. La planta baja alberga todos los espacios abiertos, como la cocina, los baños y un gran espacio para comer y de reunión, que mediante su apertura a las distintas plantas se convierte en el espacio central del edificio. Los dormitorios y los espacios secundarios, así como el espacio triangular bajo la cubierta, abierto, se encuentran en la parte superior de la casa y se llega a ellos sólo mediante escaleras de mano. La renuncia al uso de elementos convencionales de comunicación, como las escaleras, acrecienta el grado de abstracción de la configuración espacial y hace pensar en una auténtica estratificación de los espacios.

Si se intenta indagar en los fundamentos del origen de la vivienda tradicional japonesa, en cuanto sistema constructivo específico, uno tropieza con el posible tipo básico de una cabaña primitiva llamada *tateana*. Cuatro postes de madera clavados en el suelo soportan cuatro vigas que, con una estructura de varas de madera dispuestas de modo que definan un espacio circular, sostienen con una cubierta de hojas, hierba o paja, una envoltura en forma de tienda. En esta forma ancestral se reconocen ya dos temas arquitectónicos esenciales que caracterizan en adelante tanto la vivienda como la arquitectura sacra del Japón hasta el siglo xx, y que deben haber ejercido una influencia decisiva particularmente en la construcción de Takasuga: la casa como cubierta y como estructura.

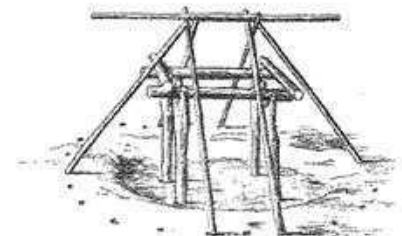


Fig. 64: *Tateana*, la cabaña primitiva japonesa
Sistema constructivo y envoltura.



Fig. 65. Revestimiento del tejado con ripias
Shin Takasuga: casa construida con traviesas de ferrocarril, Miyakejima, Japón, 1960

El tejado como cobijo

Si la arquitectura occidental se ha desarrollado en lo esencial a partir de la pared y de la fachada, en la arquitectura tradicional japonesa este papel le ha correspondido a la cubierta.¹ El edificio es ante todo un tejado que se erige justo después de construir la estructura portante, incluso antes de que se hayan levantado las paredes interiores. Amplios aleros protegen al edificio de las condiciones climáticas extremas y hacen que la propia fachada pase a un segundo plano. El significado del tejado como refugio y "la densa oscuridad que bajo él se extiende", ha fraguado en el escritor Junichiro Tanizaki en una estética de la sombra,² donde las mujeres en la casa japonesa, aún hasta el siglo xx, cultivaban la tradición de pintarse los dientes de negro, un refrenamiento del contraste entre claro y oscuro. El tejado, como forma escultórica autónoma y fenómeno esencial de la cultura japonesa, fue expresamente descrito por Bruno Taut en su libro *La casa y la vida japonesas* (junto a la explicación de las condiciones de índole técnico y constructivo).³

Cuando uno se aproxima al hoy sólidamente asentado edificio, lo primero que percibe es su nítido tejado reflectante, que se nos muestra como una superficie abstracta cuyo hastial da la impresión de haber sido dibujado en la vegetación con un lápiz grueso. Lo que permanece debajo se sustrae a la vista y se revela sólo al observarlo de cerca, como una construcción de madera maciza y sólidamente articulada. La cubierta de ripias de madera es de gran ligereza, y sólo las líneas de cumbrera y las que delimitan los faldones en su encuentro con el hastial están reforzadas con sencillas traviesas sobrepuestas, tal y como los sutiles tejados debían protegerse de la fuerza del viento. La fina articulación de la cubierta parece pues contradecir la sólida volumetría de la construcción que cobija, una casa construida con viejas traviesas del ferrocarril, que produce la impresión de que está reducida a la mínima expresión.

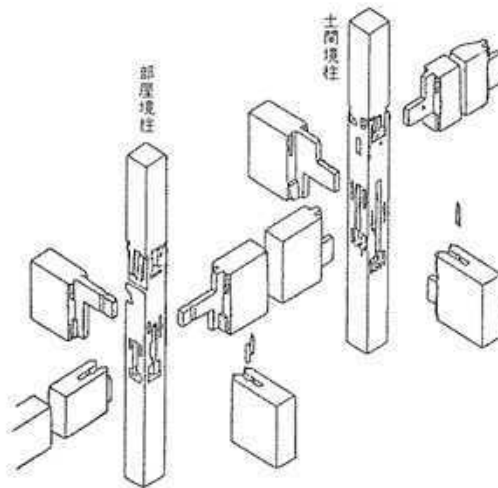


Fig. 66: Vivienda tradicional
Ensamblaje de pies derechos y vigas de madera



Fig. 67: Herramientas tradicionales de los carpinteros japoneses.
Descripción en una enciclopedia de 1712

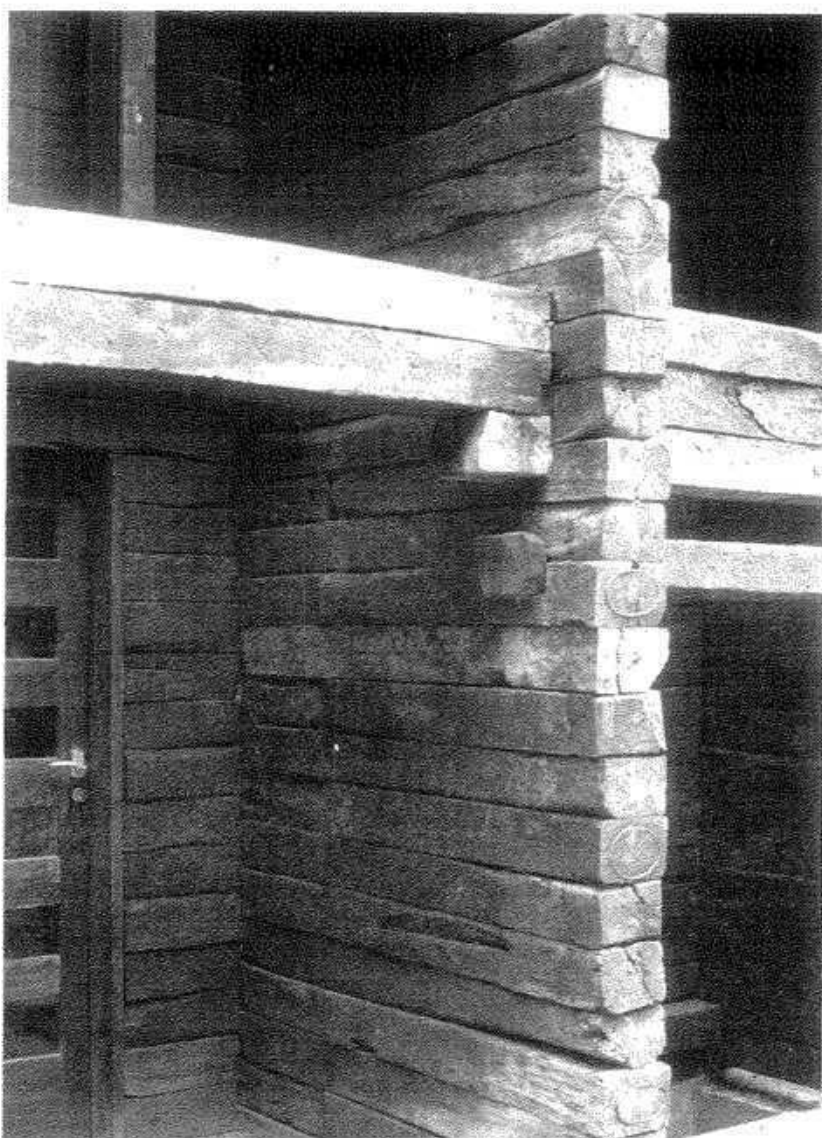


Fig. 68: Detalle de la composición de las traviesas de madera que sobresalen en la fachada de acceso Shin Takasuga: casa construida con traviesas de ferrocarril, Miyazajima, Japón, 1980

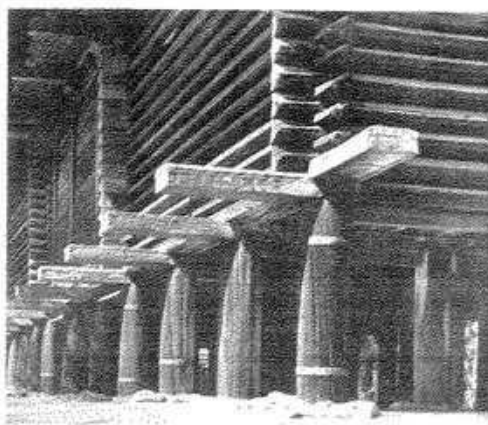


Fig. 69: Cobertizo del Todai-ji en Nara
Vista de la esquina

Masa y elasticidad

En todo caso, en las casas tradicionales japonesas esta relación es a menudo justo la contraria: la mayoría de sus tejados recubiertos de un espeso manto de paja contrastan de modo peculiar con el carácter tan ligero y articulado que posee el sistema constructivo que los soporta. El sobrepeso, que descansa sobre un frágil entramado, garantiza paradójicamente a todo el conjunto la mayor elasticidad posible, comparable a un pesado tablero de mesa que descansase sobre delgadas patas. Aspecto que, en un país con un permanente riesgo de terremotos, adquiere un significado de gran relevancia. La tradición occidental de los sistemas constructivos de madera con riostras diagonales, es conocida seguramente por los carpinteros japoneses, pero no está en consonancia con sus principios estéticos clásicos, y añadiría una rigidez al sistema que lo abocaría a su quiebra y fracaso. La estabilidad alcanzada en los nudos gracias a una técnica de ensamblaje extraordinariamente precisa, garantiza a su vez la estabilidad de la obra como un todo y la necesaria libertad de movimientos del conjunto.

El papel del carpintero en Japón abarca una mayor cantidad de facetas que en los países de nuestro entorno, cubriendo por una parte actividades propias del arquitecto y, por otra, algunas específicas del ebanista. Equipado con un repertorio increíble de herramientas específicas, el trabajo del carpintero se caracteriza por un elevadísimo grado de sutileza y complejidad, que se pone de manifiesto en la plétora de dibujos que detallan los ensambles de la madera. Con objeto de que las uniones en los extremos de las piezas parezcan lo más sencillas posible, la ingeniosa técnica que hace coincidir en un único punto la inserción de numerosas barras de madera, conduce a menudo a una casi inverosímil disolución de la sección de la pieza. A pesar de la perforación máxima de las barras en los nudos fuertemente solicitados, la unión llega a ser estable en sí misma, gracias a un ensamblaje extraordinariamente preciso, exacto y apropiado.

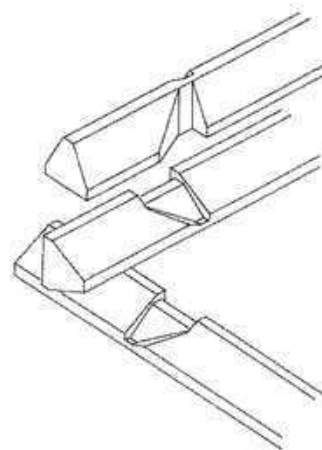


Fig. 70: Cobertizo del Todai-ji en Nara
Detalle de la unión de los elementos constructivos

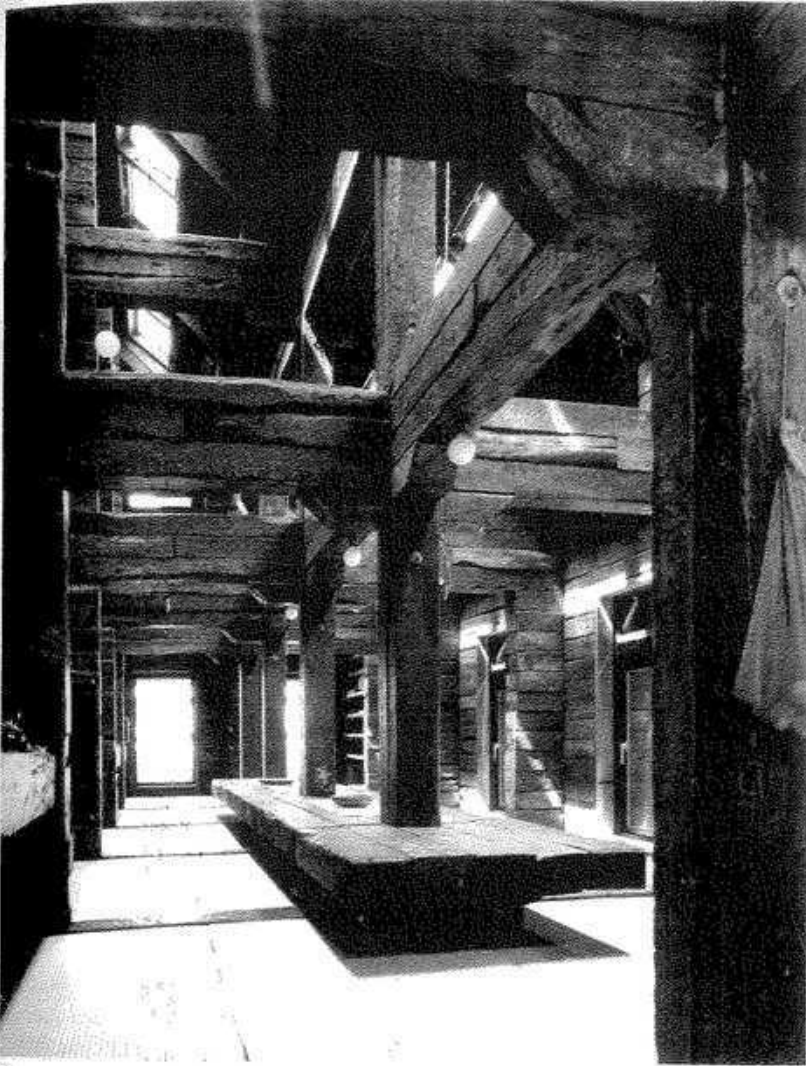


Fig. 71: El espacio sobreelevado del comedor
Shin Takasuga: casa construida con traviesas de ferrocarril, Miyakejima, Japón, 1990

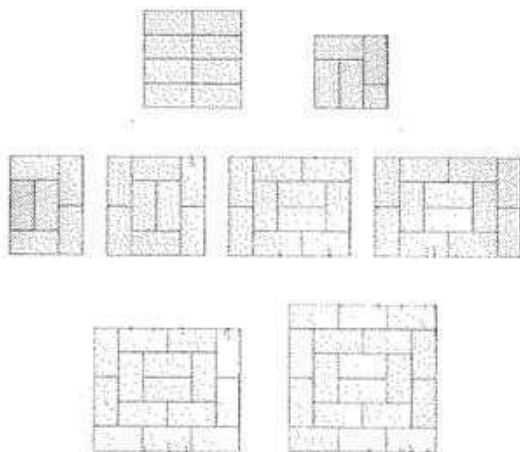


Fig. 72: Combinaciones clásicas de tatami

En la medida de lo posible, se evita el cruce de cuatro líneas. La combinación de ocho tatamis con líneas de cruce (arriba a la izquierda) se reserva para usos representativos, mientras que la de cuatro tatamis y medio (arriba a la derecha), se emplea en estancias destinadas a la ceremonia del té.

y adquiere su elegancia característica por no mostrar todos estos detalles a la vista.

En comparación, el sistema constructivo japonés de entramado macizo, reservado por lo general exclusivamente para almacenes y cobertizos, contradice la imagen de extrema disolución del sistema de armazón o esqueleto. En todo caso, el cobertizo de Todai-ji en Nara, con su masa, su unidad y el ensamble elemental de sus piezas, puede valer como un ejemplo impresionante. La atípica sección triangular de las vigas, colocadas de canto alto unas sobre otras, crea una fachada plásticamente articulada en el exterior del edificio, y en el interior, al contrario, paredes con las superficies totalmente lisas.

Aunque la colocación de un extremo sobre otro de las vigas no parece una solución resueltamente técnica, se persiguió con ello un objetivo preciso: la retracción de la madera en los periodos secos provoca pequeños resquicios entre las traviesas, que ventilan de forma sencilla el espacio interior. Por el contrario, la hinchazón de la madera en las épocas húmedas cierra de nuevo estas aberturas, impidiendo la penetración de la humedad.

La casa como estructura

La construcción de entramados macizos de madera se caracteriza por la disposición horizontal de las vigas que se entrecruzan en las esquinas con un ligero vuelo. Takasuga acentúa por así decir el carácter horizontal propio de este sistema constructivo, de singular espaciosidad, con la multiplicación de esta solución de esquina, y sabe crear una composición plástica abstracta, haciendo que los frentes de las traviesas sobresalgan decididamente en la fachada del hastial. La estabilidad de los maderos con extremos sobresalientes se garantiza mediante el ensamble de traviesas transversales, que contribuyen al sutil equilibrio de la composición horizontal y vertical de la fachada de acceso. En el interior del edificio, este mismo principio alcanza una dimensión casi monumental en el gran comedor, donde los potentes pilares y vigas, que se mantienen en un lábil equilibrio, se compactan hasta llegar a convertirse en una escultura espacial.

La pureza inherente a un sistema constructivo de armazón que poseen los elementos horizontales y verti-

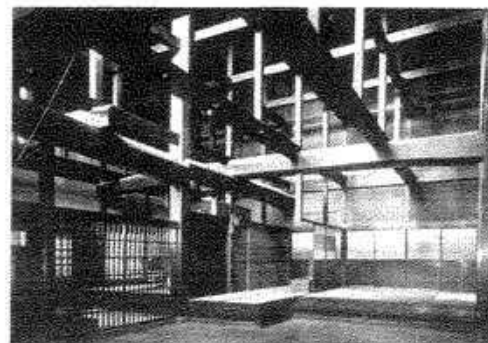


Fig. 73: Casa en Takayama
Espacio interior y sistema constructivo abierto del tejado



Fig. 74: La estructura de hormigón como infraestructura del edificio
Shin Takasuga: casa construida con traviesas de ferrocarril, Miyakejima, Japón, 1980



Fig. 75: Principio compositivo de los espacios por adición
Villa Imperial de Katsura

cales, constituidos por vigas pesadas y delgados pies derechos colocados sobre ellas, caracteriza la estructura abierta del tejado en el interior de las casas japonesas, y hace pensar en un juego de *mikado* sostenido en el aire. La predilección estética por las estructuras vistas de madera, con una disposición abierta, forma parte de la tradición japonesa, así como el tratamiento específico de las superficies. En el cálido y oscuro tono de las traviesas tratadas del edificio de Takasuga se refleja la clásica coloración que antes adquiría la madera en el interior de las viviendas, que se producía por la acción del hogar de carbón vegetal, y que se alcanzaba en las fachadas por el humo o el hollín. La madera presenta un aspecto tosco y en bruto, que denota en sus superficies, en sus incisiones abiertas, grietas y cantos mellados, el uso anterior, pero que también produce la impresión de que está revestida de una pátina homogénea, como si cada traviesa hubiera sido gastada y pulida de la misma manera.

La vivienda japonesa determina un rígido sistema de medidas, basado en las del tatami del suelo y el *shoji*, la puerta corredera de papel y que regula el complejo entramado de relaciones entre las partes. Este principio modular se lleva tanto a la planta como a la sección, lo que se traduce en una "gramática estructural" que alcanzó su más elevada expresión arquitectónica en el conjunto del palacio imperial de Katsura, en Kioto, construido en el siglo XVII. Además de la proporción y de la dimensión de cada espacio, las relaciones y lugares de paso responden a reglas estrictas y configuran una composición abierta en planta por adición una planta libre, retomada después en Occidente por el movimiento moderno.

Si la vivienda japonesa es una composición abierta y por adición de espacios independientes, la casa de traviesas de ferrocarril de Takasuga se apoya en un principio proyectivo sustractivo: los espacios se leen como ámbitos abiertos formados a partir de una estructura de maderos en cruz y cerrados por una rígida forma exterior.

La paradójica manifestación de Takasuga, de que este edificio no tuvo que proyectarse, sino que el uso de traviesas de ferrocarril generó la auténtica forma del mismo, resuena en este contexto como un eco sobre el concepto del arte minimalista de la década de 1960. La contundente-



Fig. 76: Hilera seriada en el arte de la escultura
Carl Andre: *Shlooh*, 1969 (91 x 563 x 563 cm)

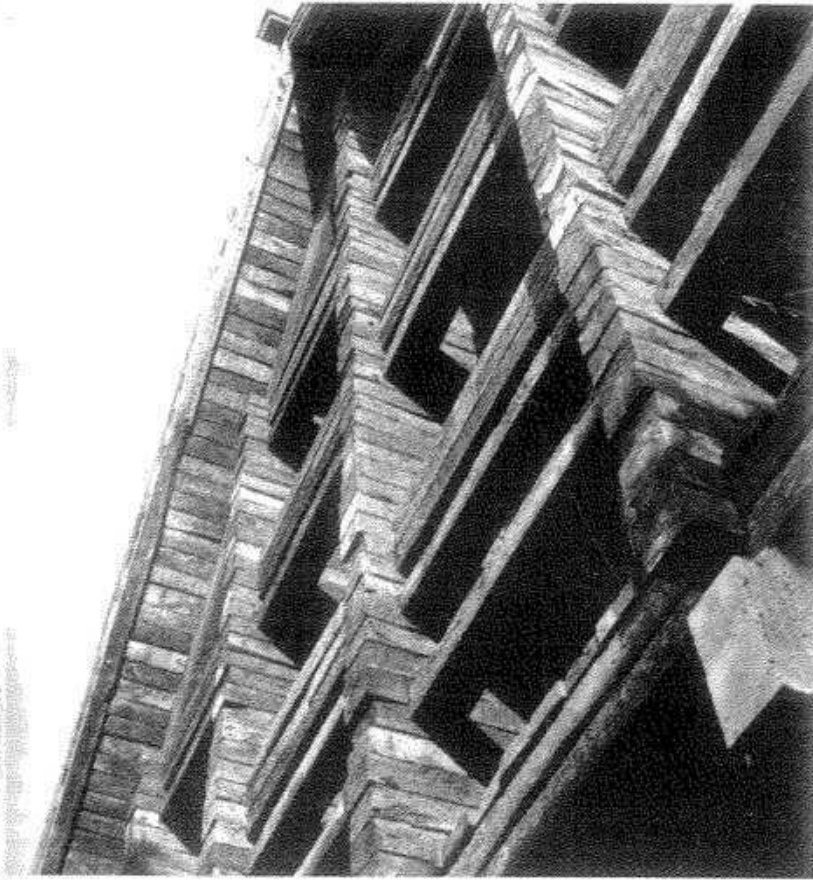


Fig. 77: Vista de la fachada del hastial orientada hacia el valle
Shin Takasuga, casa construida con traviesas de ferrocarril, Miyakejima, Japón, 1980

cia visual de la disposición seriada de un mismo material básico y la fascinación de su tratamiento en crudo, semejante a como se colocan, unas sobre las otras, las piezas de madera de un juego infantil, recuerda a las tendencias disciplinadas de la escultura minimalista.

Aunque alejado de la elevada técnica japonesa de construcción con madera, Takasuga ha sido capaz de crear una obra refinada que entronca a diferentes niveles, por su completa concentración de recursos, con la específica tradición de un país como Japón. Ya sea sobre un plano fundamentalmente figurativo (la casa como tejado), o sobre el complejo plano proyectivo de la configuración espacial, de la construcción y de su materialización (la casa como estructura): "Los hilos de la red"⁴ se tienden sutilmente en este singular proyecto, para entrelazarlos de muy diversas maneras con la tradición constructiva japonesa. Gracias a su radicalidad formal, destaca respecto de la arquitectura tradicional y conservadora que germinó en Japón en la década de 1970.

Publicado en *Wc21*, 21, 25 de mayo de 2001.

Notas

¹ Drexler, Arthur, *The architecture of Japan*, Museum of Modern Art, Nueva York, 1995, pág. 44.

² Junichiro, Tanizaki, *El elogio de la sombra* [1933], Siruela, Madrid, 2002¹¹.

³ Taut, Bruno, *Das japanische Haus und sein Leben* [1937], Gebrüder Mann, Berlin, 1998 (versión castellana: *La casa y la vida japonesas*, Fundación Caja de Arquitectos, Barcelona, 2007).

⁴ Así reza el título de uno de los capítulos del libro de Bruno Taut.

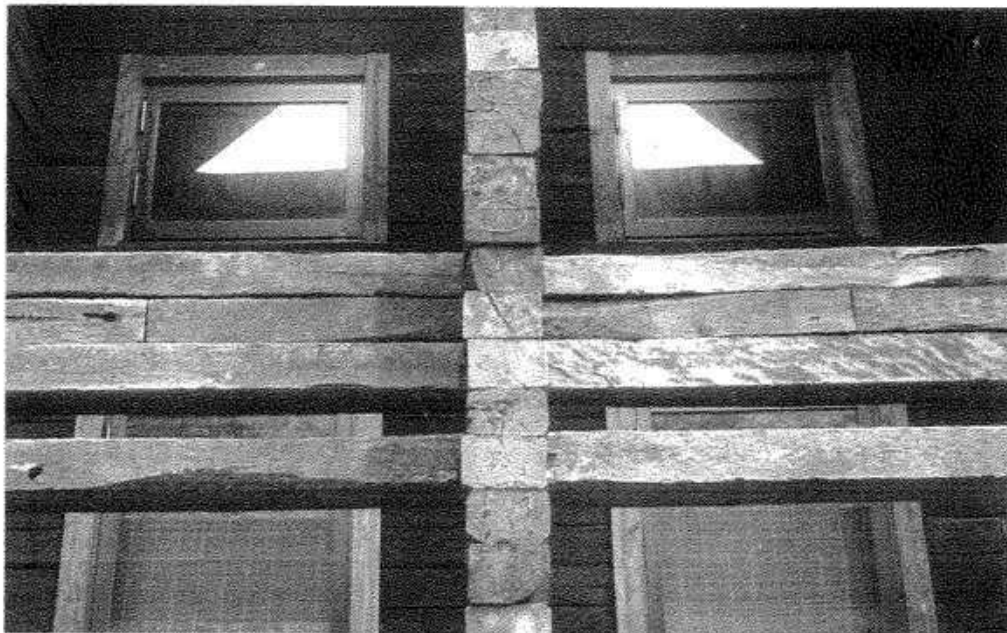


Fig. 78: Traviesas intercaladas que estabilizan los maderos entrecruzados que sobresalen de la fachada
Shin Takasuga, casa construida con traviesas de ferrocarril, Miyakejima, Japón, 1980

¿Para qué construir con acero?

Alois Diethelm

El acero tiene un problema: si bien este producto compuesto mineral abrió en su momento el camino a arquitecturas impensables hasta entonces, y en la década de 1920 se vanaglorió de ser uno de los materiales preferidos de la vanguardia, en las creaciones arquitectónicas actuales el acero produce una impresión ambigua. Por una parte, no se puede dejar de pensar en él como material en el conjunto de la producción arquitectónica, pero, por otra, los motivos para su uso, sobre todo como fundamento del

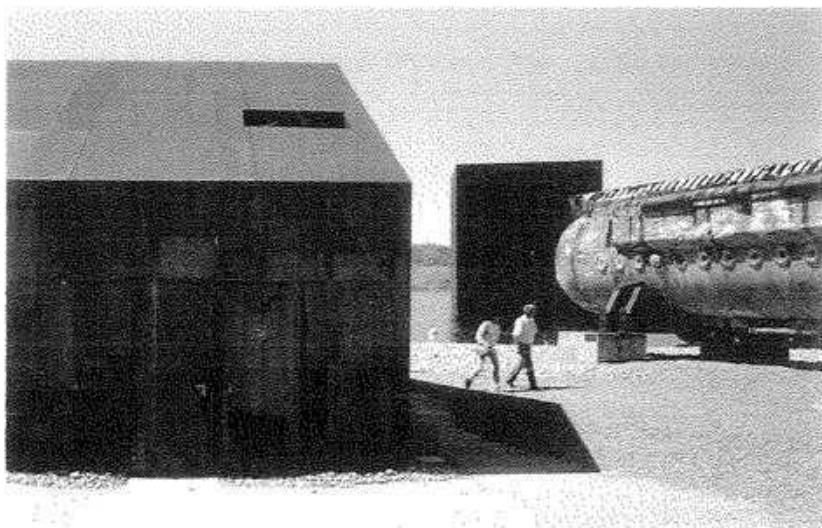


Fig. 1: Talleres de Jean Nouvel; presumiblemente la mitad de los pabellones fue realizado en acero
Exposición de los cantones suizos (Expo'02), Murten, Suiza, 2002

proyecto, no encuentran una justificación inmediata. La normativa de protección contra incendios, que hasta hace poco prescribía que en edificios de varias plantas la estructura de acero debía protegerse con un mero revestimiento, y exigencias técnicas de carácter térmico que dificultan una perforación de los límites climáticos (de la fachada), a causa de la gran conductibilidad frente al calor o al frío, pueden proporcionar una explicación al respecto. Además, el acero carece de los atributos de "natural, ecológico o acogedor", que tanta aceptación tienen en amplias capas de la población y se asocian a otros materiales como la madera. Sin embargo, apenas se conoce que un 90 % del acero empleado en la construcción es reciclado, procedente de materiales de desecho propios de la sociedad industrial (automóviles, frigoríficos, etc.).

Por otro lado, hay que tener en cuenta que aproximadamente la mitad de los pabellones para la Expo02 estaba acabado en acero; el balle abarcaba, desde los monolitos de Jean Nouvel en Murten hasta la Torre del Sonido de Coop Himmelb(l)au en Biel, pasando por el edificio Blur de Diller & Scofidio en Yverdon. Tampoco cesa la oleada de imágenes de los nuevos aeropuertos de todo el mundo, cuyas amplias y extendidas cubiertas se componen de vigas en celosía y pilares de acero que recuerdan a los árboles. Sin embargo, el acero empleado en un edificio no sólo es visible durante ese corto período

de tiempo en que el edificio se encuentra todavía en construcción (y con ello no ha de pensarse únicamente en el hierro de la armadura).

Transformaciones del material

Resulta interesante que, como producto de la industrialización, el acero se emplease simultáneamente en la fabricación de máquinas, vehículos y barcos, pero que el "cultivo" extendido a otras ramas del nuevo material apenas condujera a derivaciones tecnológicas procedentes en cada caso de otras disciplinas. Abstracción hecha de los sistemas constructivos utilizados en la ingeniería, cuya influencia aún no ha sido suficientemente valorada, hay que estimar, en el mejor de los casos, los paralelismos existentes entre la así llamada estética maquinista (que, sin embargo, poco tiene que ver con una determinada materialización, sino que más bien obedece a un proceso del proyecto con un ideal orientado a una reducción máxima del material, según la lógica del ingeniero, en el contexto sobre todo de la corriente suiza denominada Neues Bauen). Por ello, Le Corbusier escribe en *Hacia una arquitectura* (1923): "Los ingenieros hacen arquitectura, pues utilizan el cálculo emanado de la naturaleza y sus obras nos hacen sentir la armonía". Una explicación de su raro y escaso aprovechamiento es el hecho de que sólo en casos muy excepcionales la construcción de casas se realiza como producción en serie (pese a que en el campo de la actividad de la citada Neues Bauen se preconizase su acabado industrial). Además, el aspecto del montaje o desmontaje es de rango secundario (o, sólo ahora, se convierte en un criterio ecológico importante), y los edificios tampoco conocen solicitaciones dinámicas. La utilización de un único material que caracterizó a la producción de máquinas y medios de transporte (el metal sustituyó rápidamente a la madera, sobre todo allí donde



Fig. 2: Sistema constructivo de acero oculto tras un revestimiento de obra de fábrica
Diener & Diener, escuela Vogesen, Basilea, Suiza, 1994

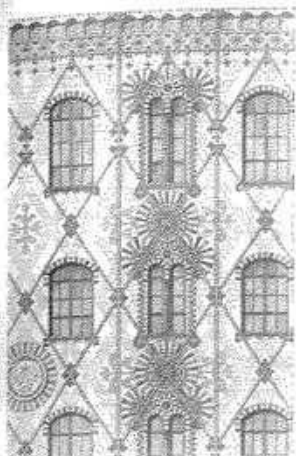


Fig. 3: Parentesco entre la arquitectura de hierro y la de madera
Jules Saulnier: fábrica de chocolates Menier, Nîmes-sur-Marne, Francia, 1872

se trataba de dar forma, no únicamente con el nuevo material, a un objeto) es ajena a la construcción. Los dos polos entre los que se mueve la arquitectura actual siguen siendo la construcción maciza y la ligera, al igual que en las primeras moradas humanas que, dependiendo de la región y la cultura, consistieron en cuevas o tiendas. A partir de esta dualidad tradicional, se explica que los nuevos materiales nunca den lugar a un auténtico proceso sustitutivo, sino que conduzcan más bien a transformaciones del material y de las mezclas. Así pues, lo mismo sucedió con el acero, y como más tarde sucedería con el hormigón armado, antes de que pudiera surgir el forjado plano lo único que hizo fue traducir los principios de la construcción con madera de pilares y vigas (véase el sistema constructivo de armazón de Hennebique). La muy apreciable fábrica de chocolates Menier (1871-1872), de Jules Saulnier, se basa en un entramado metálico que únicamente se diferencia de uno de madera por la menor sección de los elementos que lo componen. En la Biblio-

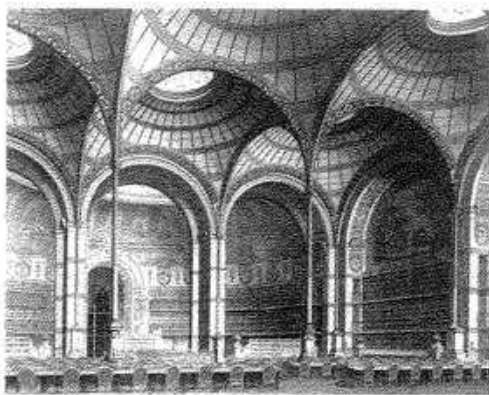


Fig. 4: Traducción de una estructura de piedra en otra de hierro de fundición
Henri Labrouste: Biblioteca Nacional de París, Francia, 1875

teca Nacional de París de Henri Labrouste (1875), los nervios de las cúpulas recuerdan a las construcciones góticas de piedra. En el campo de expansión situado entre la construcción maciza y la ligera, el acero engendró una especie de mixtura donde el material que acompaña ya no asume sólo su papel de relleno, sin función estática alguna, como sucede en el caso de las construcciones de obra de fábrica con entramado de madera, sino que, por el contrario, se convierte en un componente integral de la estructura portante. Se trata de la combinación de hormigón y acero, y, desde luego, de esa conjunción de vigas y pilares que, en el caso del acero, configura un esqueleto cuya estabilidad sólo se alcanza en su asociación estática con el hormigón. Ambos materiales se complementan, estableciendo así una relación de reciprocidad; las vigas de acero sustituyen a las de hormigón y planchas trapezoidales hacen las veces de encofrado perdido y de armadura. Además de los motivos estructurales, entre los que se cuenta también el reparto homogéneo de las cargas en los forjados, hablan asimismo a favor de los sistemas constructivos mixtos los argumentos físicoconstruc-

tivos (el hormigón aporta la masa necesaria para un buen aislamiento acústico) y, ante todo, la mejora de la protección contra incendios, pues la estabilidad frente al fuego del perfil de acero se calcula según la relación entre superficie no protegida y superficie de la sección. Todo contacto entre el hormigón y el acero supone una reducción de la superficie expuesta al fuego.

A causa de las ventajas mencionadas y de la racionalidad del propio sistema constructivo, las construcciones mixtas de acero y hormigón no pueden desecharse en la edificación actual (sobre todo en la arquitectura industrial y en los edificios en altura de oficinas) y remiten con ello a la gran difusión que alcanzan hoy los sistemas constructivos *no puros*. Se comprende que los sistemas mixtos hayan encontrado ese carácter que denota la que constituye una rama esencial del uso del acero en la arquitectura: el "medio auxiliar oculto". Junto a ello aparecen, como otras categorías, edificios sin exigencias físicoconstructivas (objetos efímeros y pequeñas construcciones), así como las obras de ingeniería con grandes luces.

Grandes luces: material de sustitución

Incluso antes de la aparición del hormigón armado, las extraordinarias propiedades estructurales del acero posibilitaron la construcción de edificios de grandes dimensiones que, comparados con una construcción de madera o piedra, superaron la altura de un par de plantas de los edificios existentes hasta entonces, con una cantidad similar o incluso menor de elementos portantes, y alcanzaron la altura de varios pisos más en ulteriores desarrollos. El acero sentó pues las condiciones de partida para la aparición de un nuevo tipo de edificio: el rascacielos, cuya planta está determinada por núcleos de ascensores y escaleras, capaces de transportar rápidamente una cantidad ingente de personas a las correspondientes plantas. A causa de sus grandes luces, la construcción con acero proporcionó la posibilidad de proyectar ventanas más grandes, como se demostró expresamente en Chicago en la segunda mitad del siglo XIX. Independientemente de que los rascacielos mostrasen el esqueleto de acero, o de que éste se ocultase tras un revestimiento de fachada, las ventanas de suelo a techo y de pilar a pilar delataban la estructura de acero situada detrás. Con un revestimiento pétreo y huecos abiertos en el mismo, las fachadas de estos edificios apenas se diferencian de las de una construcción maciza.

Asociado al pragmatismo propio de los edificios industriales, el acero pronto se entendió como un material que (especialmente en edificios de gran altura) podía asumir un papel de sustitución estructural: sustituto de la madera y de la piedra, cuya capacidad portante se agotaba a partir de una determinada altura y, después, también sustituto para determinadas partes de la estructura portante de hormigón, cuyo complejo proceso de fabricación, compuesto de muchos pasos (encofrado, armado, vertido) consume mucho esfuerzo y material.

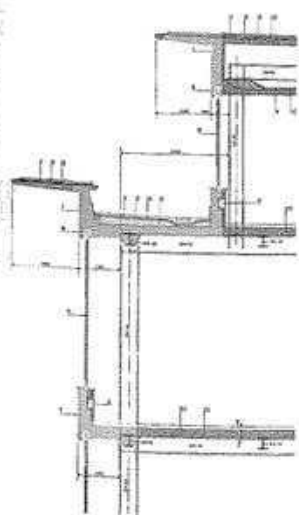


Fig. 5: Esqueleto de acero combinado con hormigón in situ
Roland Rohn: fábrica BBC, Baden, Suiza, 1952

El peso del acero como material de sustitución cobra en la actualidad una importancia cada vez mayor, como lo certifica el desarrollo que afecta hoy a la construcción (renovada) con madera y con acero. En efecto, la trasposición de los principios de los sistemas constructivos con madera a los de acero (pilares delgados y tabazón que

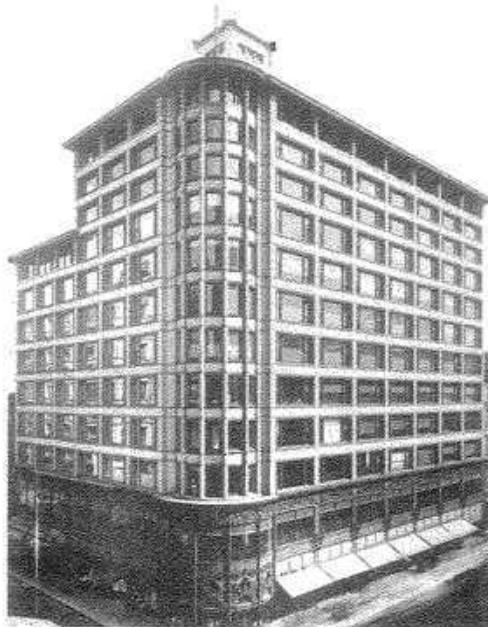


Fig. 6: El tratamiento de los huecos indica el sistema constructivo de esqueleto de acero
Louis H. Sullivan: grandes almacenes Schlesinger & Mayer, Chicago (Illinois), Estados Unidos, 1904



Fig. 7: Colocación de un sistema *platform frame* de acero
Analogía con la construcción de madera: perfiles de chapa en vez de barras de madera

da rigidez a la estructura), encuentra una enorme difusión en las regiones con mínimas reservas madereras que en las demás. Los sistemas de perfiles laminados muy delgados presentan ventajas inapreciables frente a los de madera, pues tienen una mayor resistencia al pandeo y su puesta en obra no requiere tanto tiempo. Ambas ventajas hacen que sean especialmente idóneos para ampliaciones de edificios en altura donde se trata de ahorrar peso, pero también, por idéntico motivo, para la construcción de nuevas obras. Dentro de su lógica estructural y tectónica, idéntica a la de la construcción con entramados de madera, los criterios de proyecto del *platform frame* de acero no son exclusivos de este material. Al menos, en la medida en que se observe como un amplio sistema sintético de partes, compuesto por placas que hacen las veces de pared y que, simultáneamente, aíslan y sostienen.

Pudiera parecer que la trasposición tecnológica siempre se desarrolla en una dirección (de la construcción con madera a la de acero). Sin embargo, un vistazo a las construcciones de ingeniería con madera muestra que las habituales construcciones axiales de barras, así como las uniones atornilladas, derivan directamente de la construcción con acero.

El acero todavía asume una posición destacada, casi singular, en los edificios con grandes luces. Las cubiertas de naves con amplias luces (de aeropuertos o salas de exposición), se realizan casi exclusivamente con este material. En ellas, la fina articulación de las piezas que componen la estructura portante se convierte en un motivo de caracterización espacial, creando un lenguaje formal sólo reservado a la construcción con acero. Puesto que se trata de edificios de una sola planta, no resultan necesarios revestimientos contra incendios, lo que supone por lo común un freno a la elección del acero como material de construcción y reduce las posibilidades de que el sistema constructivo aparezca a la vista.

Pequeñas secciones: el camino hacia la casa de vidrio

Si en los rascacielos fue determinante que las vigas y los pilares de acero, en comparación con los de madera o piedra de la misma sección, tuvieran una "capacidad portante mucho mayor" y pudieran salvar "luces más grandes", los artífices de la *Neues Bauen* encontraron en el acero un medio para llegar a construir sistemas más esbeltos. Entre los delgados pilares se colocaron habitualmente placas constructivas ligeras que suponían un gran ahorro de peso y material, y que se revocaban por sus dos lados y por encima del pilar. Elevados a menudo sobre el terreno, estos edificios, con sus ventanas colocadas a modo de bandas en la fachada, transmitían la imagen de volúmenes ingravidos, abstractos. Pocas veces se hacía evidente el esqueleto de acero de tales edificios "ligeros", en los que el concepto de "ligereza" debe entenderse tanto desde el punto de vista físico (en el sentido de tratarse de un material optimizado) como desde el punto de vista óptico. De este modo, el material se puso por una parte al servicio de la racionalización del proceso constructivo y, por otra, se convirtió en un medio para alcanzar una arquitectura purista, ampliamente desmaterializada. El característico relieve de los perfiles existentes de nervios y pletinas de acero, y los principios del sistema constructivo de armazón o esqueleto, permanecían ocultos tras los revestimientos interiores y exteriores. En efecto,



Fig. 8: Los pilares de acero apenas se destacan de los perfiles de las ventanas
Richard Neutra: casa Lovell, Los Ángeles (California), Estados Unidos, 1927-1929

si hablamos de un sistema constructivo de acero, se encontró en su esbeltez realmente una forma de expresión de la arquitectura (una esbeltez en la que, como sucede en la casa Lovell de Richard Neutra (1927-1929), los pilares apenas sobresalen de los marcos de las ventanas, permitiendo un tratamiento de los huecos capaz de formar bandas con grandes superficies acristaladas, y cuya posibilidad de apertura ya no es dependiente de la estructura portante.

Ya con el Crystal Palace de Joseph Paxton (1851) se puso de manifiesto que la combinación con el vidrio llegaría a dotar de un carácter formal extraordinario a la construcción con el acero o, por extensión, con el hierro. Las ligeras estructuras metálicas, resueltas con entramados de vigas y delgados perfiles metálicos entre los que se incluían las superficies de vidrio, permitían, tal y como demostraban los conocimientos derivados de la construcción de invernaderos, un paso de la luz que hubiera sido impensable con las construcciones de madera. Incluso

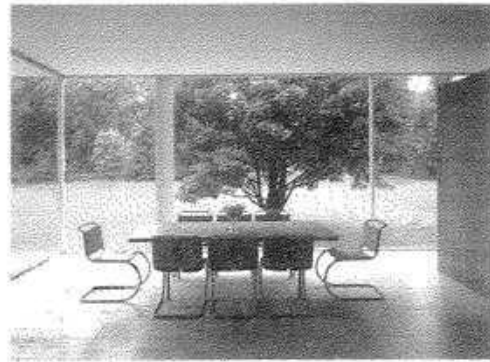


Fig. 11: La casa de vidrio es un tema continuamente retomado en la arquitectura del siglo xx
Mies van der Rohe: casa Farnsworth, Plano (Illinois), Estados Unidos, 1945-1950

calefacción y climatización parece certificarlo el hecho de que dejasen de construirse tras la crisis del petróleo y la creciente conciencia ecológica. Sin embargo, conceptos energéticos alternativos que utilizan el vidrio para aprovechar la radiación solar (también como "lente colectora"), las nuevas clases de hojas de vidrio (que presentan valores de aislamiento térmico de hasta $0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$) y la propia disposición de los arquitectos, encaminada a una mejor protección solar, hacen que las "casas de vidrio" sean más actuales que nunca. El vidrio de alto aislamiento térmico abre nuevamente un campo que parecía agotado: el del esqueleto de acero visible tanto interior como exteriormente. La capa aislante se envuelve ahora en el edificio como un velo transparente, acercándose a la arquitectura de huesos y piel que definió Mies van der Rohe, pero que él, por motivos técnicos, nunca pudo alcanzar hasta las consecuencias de la membrana lisa.

El tema de la colocación de ventanas o paneles entre los pilares vistos (que caracterizó expresamente al edificio



Fig. 12: Las ventanas se colocan como paneles entre el esqueleto de acero
Le Corbusier & Pierre Jeanneret: Immeuble Clarté, Ginebra, Suiza, 1932



Fig. 9: La estructura portante de acero desaparece tras el revoco
Wassili y Hans Luckhardt: casa en Rupenhorn, Berlín, Alemania, 1928

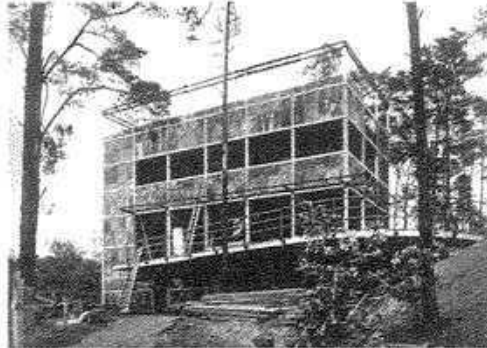


Fig. 10: Fotografía de la construcción del esqueleto de acero
Wassili y Hans Luckhardt: casa en Rupenhorn, Berlín, Alemania, 1928

ciento cincuenta años más tarde, y no sólo para los profanos, el doble concepto "vidrio/acero" sigue asociándose a espacios inundados de luz y son imagen de una construcción moderna. Efectivamente, la casa de vidrio ha inducido, como apenas ninguna otra tarea, la exigencia continua y siempre renovada, por parte de los arquitectos del siglo xx, de su específica materialización en un determinado tipo constructivo. Los proyectos más recientes de arquitectos de las más diferentes sensibilidades parecen, sin embargo, haber liberado al vidrio a principios de este siglo xxi, de la guerra de trincheras ideológica de la década de 1990, de términos programáticos como "el Berlín de piedra" y este material ha dejado de constituir una expresión de un concepto de arquitectura específico.

Aunque el proyecto de Mies van der Rohe para un rascacielos de vidrio en la berlinesa Friedrichstrasse (1922) fuese un proyecto visionario, la industria hizo muy pronto posible la fabricación de grandes hojas de vidrio que, libres de los cercos de las ventanas, permitieron la realización de superficies de fachada casi desmaterializadas. Que una gran parte de estos edificios sólo eran habitables con la costosa implantación de instalaciones de

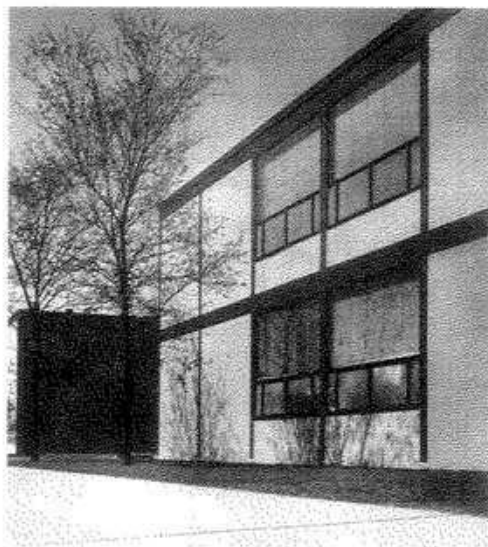


Fig. 13: Los pilares vistos de acero sujetan sólo el muro de fábrica
Mies van der Rohe: Illinois Institute of Technology (IIT), Chicago (Illinois), Estados Unidos, 1940-1950.

Immeuble Clarté de Le Corbusier, en Ginebra, así como a los edificios industriales surgidos en la primera mitad del siglo xx), hoy ya no es posible a causa de las exigencias de aislamiento térmico. A diferencia de la madera, que muestra un comportamiento aislante relativamente bueno, el acero se comporta como un conductor de calor. Además, no debe ignorarse que los pilares vistos en las fachadas de los edificios industriales mencionados, forman parte por lo general de una estructura secundaria que sólo constituye el soporte del revestimiento del edificio, por ejemplo, de una pared antepuesta a la fachada de ladrillo. En este sentido, la división exterior refleja sólo indirectamente la estructura portante situada detrás. La diferenciación entre entramado y revestimiento es poco precisa allí donde el tamaño de los elementos de vidrio coincide con el de la retícula estructural y, en consecuencia, pilares y vigas se recubren por los marcos de los

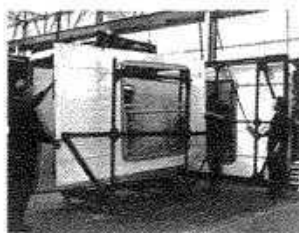


Fig. 14: Fabricación mecánica de elementos de fachada: elemento individual
Jean Prouvé: CIMT, París, Francia, hacia 1955.

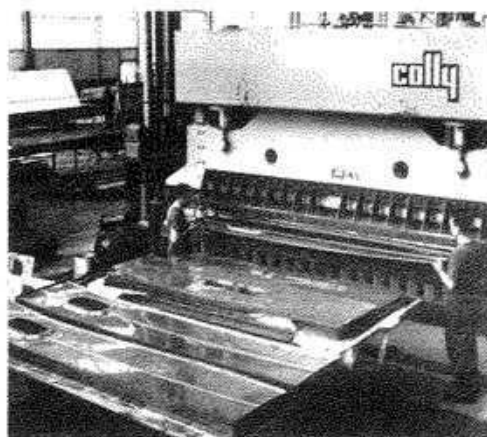


Fig. 15: Fabricación mecánica de elementos de fachada: piezas individuales del elemento
Jean Prouvé: CIMT, París, Francia, hacia 1955.

elementos (que según la misma configuración se muestran como partes de aquél). Con ello se satisfacen las expectativas de que el carácter del sistema constructivo elegido (en este caso, la delgada retícula espacial) quede disuelto en la expresión del edificio.

Prefabricación y "todo vale"

La construcción con acero se caracteriza por la prefabricación, más aún que la con madera. Dado que las condiciones en obra no son las mejores para soldar, y que el hecho de realizar ajustes durante el montaje implica que se dañe la protección contra la corrosión (el recubrimiento de polvo de cinc con la correspondiente pintura de cubrición o la galvanización al fuego), las uniones de los diferentes elementos se preparan siempre en la medida de lo posible para ser atornilladas. Este tipo de construcción permite a la vez un fácil desmontaje, lo que, entre otras cosas, puede explicar la gran difusión de la arquitectura del hierro en pabellones para exposiciones, como en la Expo02 mencionada anteriormente. El aspecto de la pre-

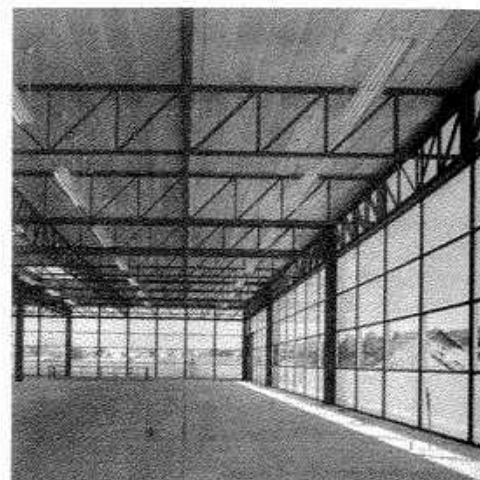


Fig. 16: Sistema constructivo de cajas MAXI, de Fritz Haller, montado en cuatro etapas
Fritz Haller: nave Industrial USM, Münsingen, Suiza, 1963-1984

fabricación no afecta sólo a la estructura portante, sino también a la envolvente del edificio, que precisamente en la ejecución de metal implica ya casi una prefabricación, pues el potencial de las delgadas chapas está ligado a la posibilidad de conseguir, mediante el plegado y el curvado, una estabilidad que sólo se alcanza con otros materiales utilizando nervios suplementarios o con una estructura secundaria. No se trata tanto de una diferenciación gradual, ni de si se suministran en obra paneles vistos para la fachada como elementos unitarios acabados, sino de si, precisamente, sólo se añaden a ella en el sentido de una prefabricación parcial (una prefabricación por capas individuales). Asimismo, resulta secundario que la prefabricación haga más fácil el transporte, reduzca el tiempo de ejecución y permita la seriación a gran escala.

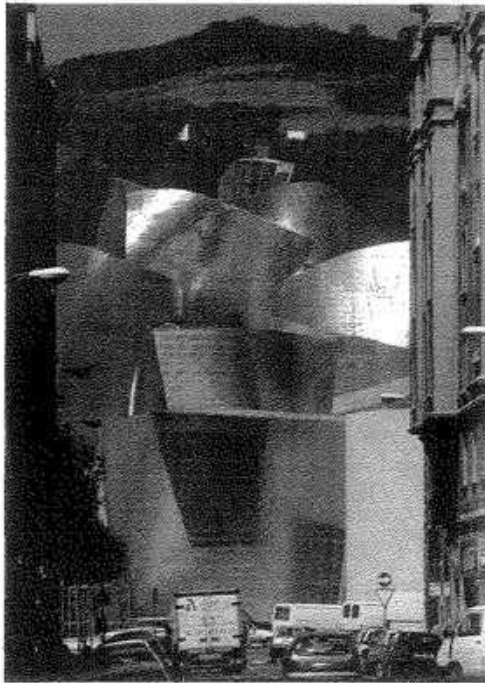


Fig. 17: Tras los volúmenes conformados plásticamente se esconde un esqueleto de acero
Frank O. Gehry: Museo Guggenheim, Bilbao, España, 1997

El plegado de chapas es sencillamente un proceso mecánico, asociado ineludiblemente al taller, y que, en todo caso, exige (por ejemplo, para la fabricación de artesonados) tratamientos posteriores como la soldadura y otros superficiales como el esmaltado al fuego o el anodizado.

Si se trata de la construcción con acero, o mejor con metal, puede hablarse por tanto de una producción de carácter exclusivamente industrial. Por ello, la construcción con este material tuvo desde el principio el objetivo de la estandarización, ya fuera para la realización de un edificio singular o para la de un sistema constructivo (por ejemplo, el USM Haller). En el primer caso, la fabricación en serie está asociada a los bajos costes, mientras que el segundo permite la sustitución de elementos específicos y ampliaciones sin soldaduras. Además, las cajas constructivas no están ligadas a un tipo constructivo determinado.

Por un lado, la construcción con acero tiene un carácter normalmente seriado y ortogonal; por otro, tiene la capacidad de crear los volúmenes que se desee, dándoles forma mediante un conjunto de barras atadas a la manera de un fardo. Los volúmenes plásticos, como los que utiliza Frank O. Gehry, pueden descomponerse en barras rectas, sus superficies curvas se traducen exactamente en una estructura reticular de carácter lineal, introduciendo deformaciones cóncavas y convexas, así como torsiones y estrechamientos, del modo más sencillo y económico. Dado que las barras, que se adaptan a formas de lo más diversas, no siempre están en consonancia con el flujo de

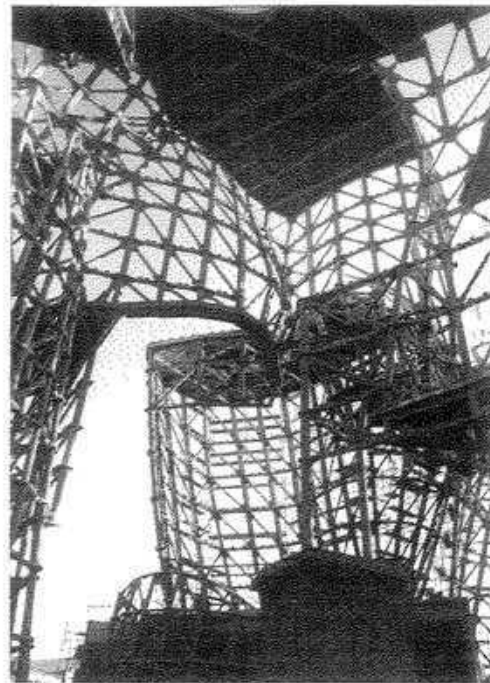


Fig. 18: Las formas dinámicas se traducen en una estructura reticular compuesta por barras de hierro
Frank O. Gehry: Museo Guggenheim, Bilbao, España, 1997

esfuerzos estáticos, se emplean otros elementos de articulación para absorber los esfuerzos a compresión y a tracción, como si se tratase de un bricolaje que se entrecruda, tras el velo de un revestimiento homogéneo, con el sistema constructivo del *balloon frame*. El acero se convierte también aquí en el material que lo hace todo posible, pues, por motivos económicos, sería casi imposible pensar en otro (por ejemplo, en un sistema constructivo como el del hormigón armado, que requiere encofrados costosos y que además sólo pueden emplearse una sola vez).

¿O debería dejarse de lado el bajo tono, teñido de negatividad, del entusiasmo suscitado ante estas realizaciones, en las que el acero (con el apoyo del ordenador para el proyecto y la producción) posibilita arquitecturas que modifican los criterios hasta ahora vigentes sobre la gravitación y la plasticidad, o al menos los amplían? El ordenador ha desterrado la ortogonalidad como criterio principal para la construcción de una estructura económica; los "nuevos" espacios son ahora posibles, pero, ¿nos proporcionarán también los edificios construidos para otros usos, distintos a los de los museos y salas de conciertos, una configuración formal comparable?

Ornamento constructivo

Como muestra una serie de edificios surgidos recientemente, o aún en construcción, a la caprichosa plasticidad y al orden cartesiano se les ha añadido una tercera forma: la diagonal o los soportes estructurales inclinados. El momento para el redescubrimiento de las diagonales no

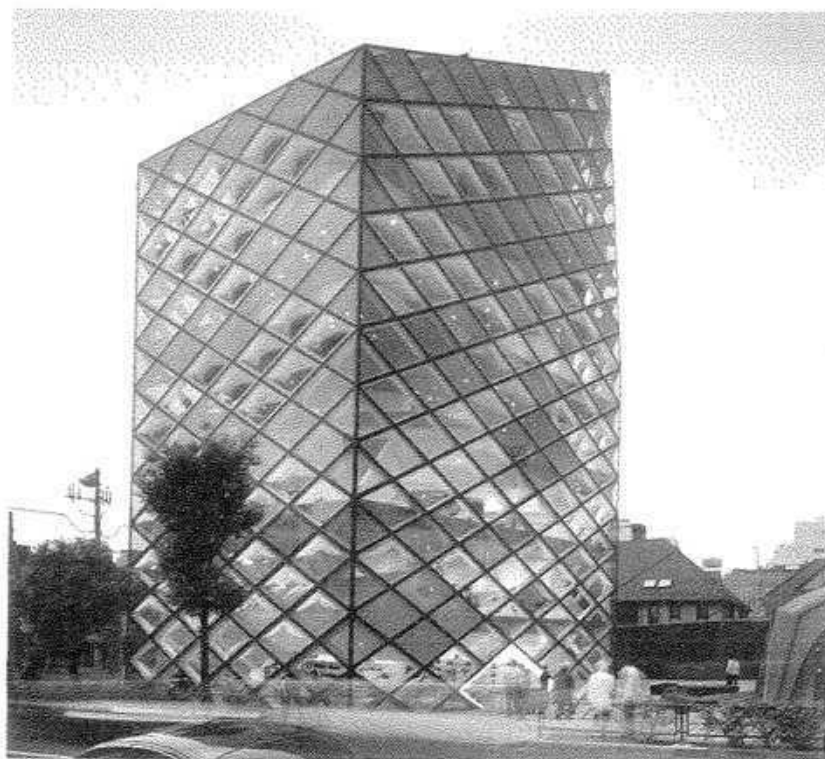


Fig. 19: La estructura portante y la división en campos del revestimiento de vidrio son coincidentes
Herzog & de Meuron: Epicenter Store Prada, Tokio, Japón, 2001

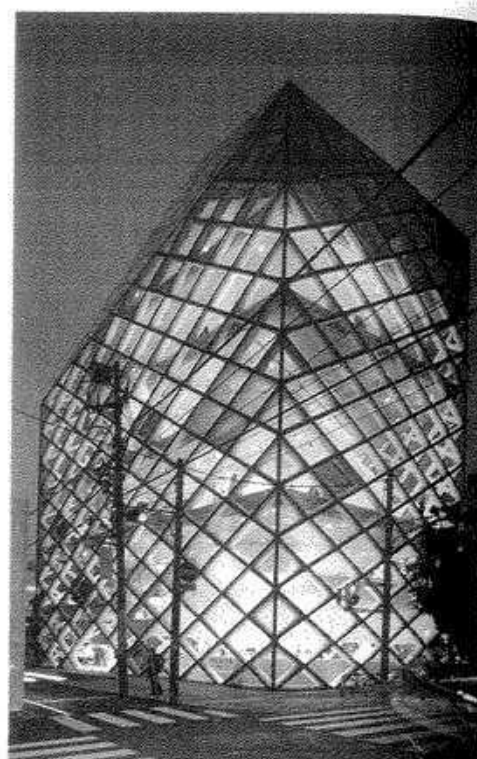


Fig. 20: Los rombos se cortan en las aristas del edificio
Herzog & de Meuron: Epicenter Store Prada, Tokio, Japón, 2001

parece casual. Tras los estrictos criterios del minimalismo de la década de 1990, y de las simpatías de que goza una opulencia en declive tras un golpe liberador, las estructuras no ortogonales poseen la capacidad de aunar a la vez una adecuada objetividad y la conquista de una nueva fruición por el ornamento. De manera semejante a lo mostrado en su día por la arquitectura del hierro, con aquellas ornamentaciones logradas por medio de uniones realizadas con roblones que fueron aceptadas incluso por los puristas, debido a su necesidad constructiva, la construcción con acero y el ornamento constructivo mantienen entre sí una relación renovada a comienzos del siglo XXI. En el núcleo de esa relación no se sitúan ya las uniones, sino las estructuras que abjuran de la primacía del ángulo recto y que, ya sea por motivos estáticos, económicos y/o arquitectónicos (por la esbeltez constructiva que procuran), se realizan primordialmente en acero. Estas estructuras no tienen por qué mostrar ya un carácter ornamental en sí mismas, sino que pueden suscitar, con su correspondiente tratamiento, las partes de que se compone constructivamente el edificio. Pues con ello se consigue la forma estructuralmente condicionada que modifica los habituales criterios dimensionales y que se percibe reiteradamente como ornamento. El hecho de que la repetición de superficies que no forman ángulos rectos (triangulares, alveolares, trapezoidales, romboidales), se atribuyan a cualidades irremisiblemente ornamentales, mientras que nos resulta imprescindible que en superficies rectangu-

lares aparezcan colores, texturas o materiales para que pensemos en la ornamentación o en la decoración, debería achacarse probablemente a nuestro conocimiento del vocabulario formal del ornamento artesanal o de las piedras preciosas talladas.

Como ejemplo valgan dos de los edificios más recientes, cuyas fachadas muestran huecos romboidales y cuya estructura portante está formada por pilares oblicuángulos. Aunque a primera vista parezcan muy semejantes, en el caso del Epicenter Store Prada (2003) en Tokio, de Herzog & de Meuron, la articulación en densa red de la fachada coincide exactamente con la retícula de la estructura portante situada detrás, mientras que en el caso de la torre Swiss Re (2000-2004) en Londres, de Norman Foster, se trata, dado el carácter del edificio, de una configuración escalonada. En el primer caso, el interior de cada planta lo ocupan dos rombos, mientras que en el segundo se necesitan cuatro plantas para que la estructura configure un rombo. Existen otras diferencias, pero un rasgo común a ambos edificios es que la retícula de la fachada constituya un corsé rígido, por lo que el núcleo no ha de asumir ya función rigidizadora alguna, y que se representen rombos aunque se construyeran triángulos. Norman Foster concibe la torre Swiss Re de Londres de color negro, para que los elementos de articulación horizontales aparezcan en segundo plano frente a la rotundidad de las diagonales blancas. En cambio, en el edificio de Tokio, Herzog & de Meuron ocultan las bandas metá-

licas horizontales de atado en los planos de forjado. En ambos edificios se busca una desconcentración: de carácter cromático en un caso, espacial en el otro.

Rombos y forma del edificio

Junto al comportamiento estático de las estructuras diagonales, se plantea la cuestión de su significado para la volumetría del edificio. Si nos fijamos en estos dos ejemplos anteriores, parece que tan sólo en la torre Swiss Re se da una relación entre estructura y forma. En la retícula romboidal que se extiende sobre toda la envolvente del Epicenter Store Prada, se optó por una estructura que establece una continuidad, tanto tectónica como formal, entre las superficies quebradas del volumen prismático. Si una arista del edificio no discurre en paralelo a la retícula de la fachada, la discordancia apenas se aprecia dentro de la envolvente dominada aún así por las diagonales.

Desde el punto de vista matemático, el rombo es un cuadrilátero, y su potencialidad reside en la versatilidad formal. Partiendo de un cuadrado que estira y encoge las diagonales, se modifican casi imperceptiblemente sus proporciones: otras deformaciones conducen al rectángulo o al trapecio. Dentro de esta categoría, el ángulo recto constituye la excepción y el ángulo agudo la regla. Un lenguaje formal, por tanto, donde fácilmente se inscriben triángulos que reproducen el comportamiento estático o tienen un fundamento estereotómico.

A diferencia de otras particiones ortogonales, donde el observador sólo establece una relación entre la vertical y la horizontal, los rombos configuran bandas oblicuas, incluso cuando están dispuestos juntos, colocados vertical y horizontalmente unos sobre otros, lo que dificulta la apreciación de una dirección clara.

En consecuencia, la estructura reticular del Epicenter Store Prada da la impresión de que carece de jerarquía y busca exactamente no entrar nunca en conflicto con el orden del volumen arquitectónico.

Se pueden producir pues, formas plásticas de carácter irregular, distintas a aquellas que utilizan sistemas constructivos hechos a la medida, que muestran por lo general su esqueleto a la vista y que requieren un revestimiento.

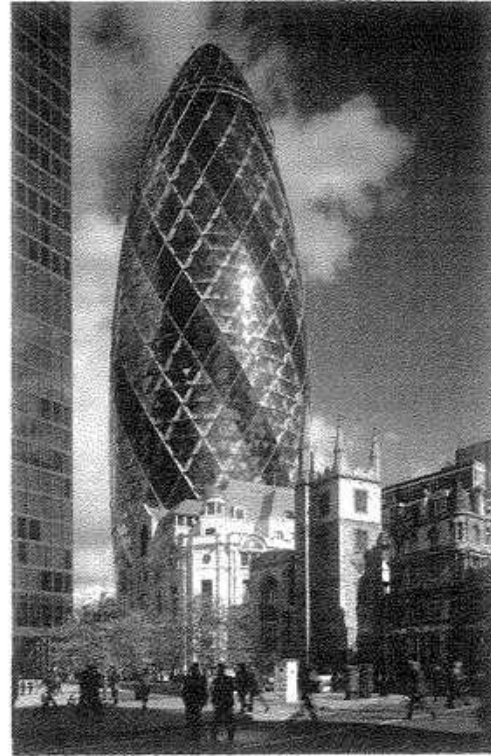


Fig. 21: La dimensión de los rombos se adapta a la forma del edificio
Foster & Partners: torre Swiss Re, Londres, Reino Unido, 2000-2004.

Bibliografía

- Giedion, Siegfried, *Bauen in Frankreich*, Klinkhardt & Biermann, Leipzig/Berlin, 1928.
- *Bauen in Stahl*, Schweizer Stahlbauverband, Zürich, 1956.
- Fritz Höller, *Bauen und forschen*, Kunstverein Solothurn, Solothurn, 1988.
- Schultz, Helmut C.; Sobek, Werner y Habermann, Karl J., *Stahlbau, Atlas*, Birkhäuser, Basilea, 2001.
- Allégret, Laurence, y Vaudou, Valérie (eds), *Jean Prouvé et Paris*, Picard, Paris, 2001.
- Gmjin, Friedrich, *Konstruieren mit Walz Profilen*, Ernst, Berlin, 2003.

Perfiles. Formas y aplicaciones

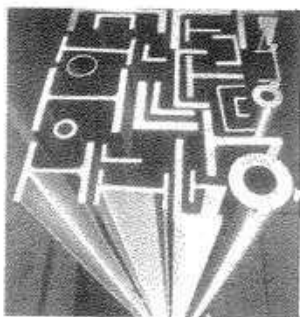


Fig. 22: Tipos de perfiles

Especificación	dimensiones pequeñas (h × b)			dimensiones grandes (h × b)		
<i>Perfiles de ala ancha</i>						
HEA serie de perfiles ligeros	HEA 100	(96 × 100 mm)	16,7 kg/m	HEA 1000	(990 × 300 mm)	272,0 kg/m
HEB serie de perfiles normales	HEB 100	(100 × 100 mm)	20,4 kg/m	HEB 1000	(1000 × 300 mm)	314,0 kg/m
HEM serie de perfiles reforzados	HEM 100	(120 × 106 mm)	41,8 kg/m	HEM 1000	(1008 × 302 mm)	349,0 kg/m
<i>Perfiles normalizados</i>						
INP	INP 80	(80 × 42 mm)	5,9 kg/m	INP 500	(500 × 200 mm)	166,0 kg/m
UNP	UNP 65	(65 × 42 mm)	7,1 kg/m	UNP 400	(400 × 110 mm)	71,8 kg/m
<i>Perfiles con alas paralelas</i>						
IPE	IPE 80	(80 × 46 mm)	6,0 kg/m	IPE 600	(600 × 220 mm)	122,0 kg/m
IPET	IPET 80	(40 × 46 mm)	3,0 kg/m	IPET 600	(300 × 220 mm)	61,2 kg/m
UPE	UPE 80	(80 × 50 mm)	7,9 kg/m	UPE 400	(400 × 115 mm)	72,2 kg/m
<i>Perfiles tubulares huecos</i>						
RRW / RRK cuadrados	RRW 40 × 40	(40 × 40 mm)	3,4 kg/m	RRW 400 × 400	(400 × 400 mm)	191,0 kg/m
RRW / RRK rectangulares	RRW 50 × 30	(50 × 30 mm)	3,6 kg/m	RRW 400 × 200	(400 × 200 mm)	141,0 kg/m
ROR circulares	ROR 21,3	(Ø 21,3 mm)	0,9 kg/m	ROR 813	(Ø 813 mm)	159,0 kg/m
<i>Perfiles macizos cuadrados y circulares</i>						
RND	RND 10	(Ø 10 mm)	0,6 kg/m	RND 500	(Ø 500 mm)	1540,0 kg/m
VKT	VKT 10	(6 × 6 mm)	0,3 kg/m	VKT 200	(200 × 200 mm)	314,0 kg/m

Forma del perfil

Fig. 23: Perfiles de ala ancha
HEA, HEB, HEMFig. 24: Perfiles normalizados
NF y UAPFig. 25: Perfiles con alas paralelas
IPE, UAP e IPETFig. 26: Perfiles tubulares huecos.
Cuadrados, rectangulares, circularesFig. 27: Perfiles mixtos circulares y cuadrados
RND y VKT

Aplicaciones, observaciones

Para grandes cargas (vigas y pilares).

Debido a las alas anchas, estos perfiles son adecuados para absorber esfuerzos oblicuos.

Atención: sólo en la serie HEB, la especificación se corresponde con la altura objetiva del perfil, por ejemplo, en el HEB 200.

Los perfiles normalizados son más económicos que los de alas paralelas. Son apropiados para construcciones soldadas. No suelen usarse en construcciones atornilladas debido a la superficie interior inclinada que presentan las alas.

Los perfiles IPE son perfiles esbeltos y se emplean como vigas resistentes a la flexión (a causa de la reducida anchura de sus alas, son poco apropiados como barras resistentes a los esfuerzos de compresión).

Los UPE y UAP se emplean frecuentemente combinados, porque la asimetría admite únicamente solicitaciones pequeñas.

Los perfiles IPE seccionados (IPET) se utilizan en cerchas y, por ejemplo, como cercos metálicos en cubiertas de vidrio.

Uso principal: como pilares y cerchas, ideales para cargas centradas.

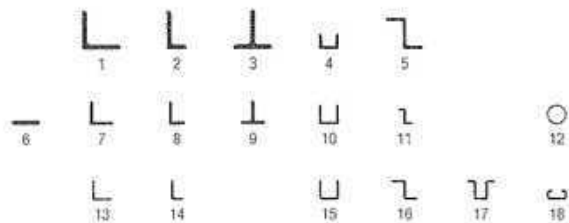
Comparados con los perfiles HEA, los tubulares presentan poca superficie (cuesta por lo tanto menos trabajo pintarlos).

El diámetro exterior de los perfiles permanece constante para grosores distintos de los mismos (combinaciones no viables).

Hay que diferenciar entre perfiles laminados en frío —RRK, ligeros y económicos— y en caliente, resistentes al pandeo gracias a sus ángulos recalcados o aplastados.

Se usan fundamentalmente como barras para trabajar a tracción o suspendidas.

Los perfiles de gran sección también pueden trabajar a compresión, por ejemplo, en el caso de pilares combinados con el hormigón (véase el apartado correspondiente a la protección contra incendios).

Fig. 28: Angulares y pequeños perfiles.
Perfiles habituales para trabajos de soldadura
(barandillas, marquelines, puertas y ventanas
simples, etc.)

- 1 angular de acero, cantos redondeados, alas de la misma dimensión
- 2 perfil en L, cantos redondeados, alas de distinta dimensión
- 3 perfil en T, cantos redondeados, T invertida
- 4 perfil en U
- 5 perfil en Z, normal
- 6 pletina de acero

- 7 angular de acero, aristas agudas, alas de la misma dimensión
- 8 perfil en L, aristas agudas, alas de distinta dimensión
- 9 perfil en T, aristas agudas
- 10 perfil en U, bastidor de acero
- 11 perfil en Z, aristas agudas
- 12 tubular para barandilla

- 13 angular de acero, laminado en frío, alas de la misma dimensión
- 14 perfil en L, laminado en frío, alas de distinta dimensión
- 15 perfil en U, laminado en frío
- 16 perfil en Z, laminado en frío
- 17 perfil tapajuntas, laminado en frío
- 18 perfil en C, laminado en frío

Protección contra incendios



Fig. 29: Pilares como elementos estructurales mixtos

- a) Perfil hueco relleno de hormigón: ante la acción del fuego, el núcleo de hormigón asume la función estructural
- b) Núcleo de acero embebido en hormigón, revestido de chapa de acero: el hormigón protege el núcleo de las altas temperaturas
- c) Perfil de acero embebido en hormigón, sin revestimiento de chapa de acero

Al igual que en la construcción con madera, la protección contra incendios tiene también una importancia crucial en la construcción con acero, pues, aunque este material no es combustible, su estructura se deforma bajo la acción del calor y, en consecuencia, su capacidad portante se modifica. Para que un elemento estructural de acero resista 60 minutos la acción del fuego (RF60) debe revestirse, a diferencia del hormigón o de la obra de fábrica. A la hora proyectar, las medidas que hay que tomar para que se reduzcan las exigencias técnicas de la estructura de acero frente al fuego están más presentes que en el resto de materiales. Los fundamentos para la protección de incendios son aquellos de carácter específicamente objetivo que el uso y el riesgo de incendio asociado a él tiene en cuenta, como el emplazamiento de personas, la clase de relaciones espaciales (abiertas o cerradas) y el número de plantas del edificio. De este modo, los edificios industriales de una planta presentarán exigencias menores, pues además de que exista una posibilidad de evacuación directa con el exterior, los trabajadores están familiarizados con la organización espacial del edificio y, por regla general, están instruidos sobre el comportamiento a seguir en caso de incendio. Muy diferente es el caso de los edificios públicos, ya que una mayoría de los usuarios no los conoce a fondo. Las construcciones de una planta, así como la planta más elevada de un edificio de varios pisos, requieren exigencias menos estrictas, porque no existen espacios sobre ellos que puedan presentar riesgos.

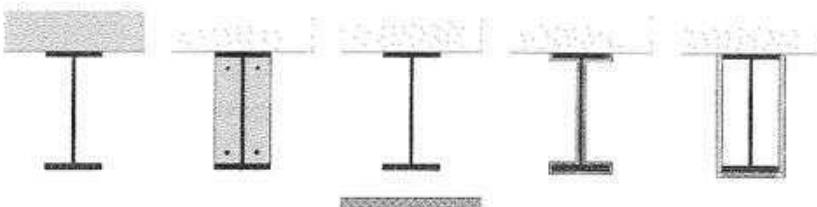


Fig. 30: Medidas constructivas pasivas para la protección contra incendios

- a) Perfil de acero sin revestir, unido a un forjado de hormigón. Índice de duración de resistencia al fuego hasta RF30
- b) Perfil con cámara rellena de hormigón
- c) Falso techo resistente al fuego
- d) Imprimación de protección contra el fuego o revoco
- e) Revestimiento

Al hablar de las posibilidades de evacuación se alude a la "protección de personas", que junto a la "protección de bienes" (el edificio y lo que contiene), constituyen los objetivos esenciales de un concepto que recoja la protección contra el fuego. En este sentido, resulta interesante saber que en lo que se refiere a una protección eficaz de las personas, la causa más frecuente de mortandad en caso de incendio es la asfixia debida a los gases de la combustión y no el desmoronamiento de los elementos constructivos. La posibilidad de evacuar rápidamente el calor y el humo, así como la renuncia a emplear materiales que al arder produzcan humaredas, alcanzan por tanto una importancia relevante. El empleo de medidas preventivas y la introducción de medios para la detección tanto

de un fuego apenas surgido (detectores) como para su rápida contención (extintores), sirven no sólo a la protección de las personas y de los bienes, que con frecuencia son de gran valor, sino que también permiten que no se necesite revestir la estructura. Tales disposiciones impiden el peligro de una propagación masiva y total del fuego. Como ejemplo puede servir un hangar, en el que el coste de los aviones que alberga supera con mucho el valor del propio edificio que los contiene.

Cuando las "medidas activas de protección" contra incendios no sean suficientes (nos referimos tanto a los medios técnicos como a los detectores) o cuando los costes para una instalación de esta clase sean demasiado elevados, debe construirse una estructura capaz de proporcionar una "protección pasiva"; es decir, una estructura que mantenga inalterable su capacidad portante en caso de incendio total (para valores térmicos que lleguen hasta los 1.000 °C, durante 30, 60 o 90 minutos). Existe la posibilidad de aplicar métodos en la construcción con acero donde la forma del perfil no experimenta cambio alguno (por ejemplo, con el sobredimensionado o con la aplicación de una capa de protección), con revestimientos colocados directamente o bajo la formación de los conductos para las instalaciones, incluso sistemas constructivos mixtos (donde las vigas y los pilares se embeben parcial o totalmente en hormigón). Este último procedimiento aumenta además la capacidad portante de la estructura. En este caso, los pilares se recubren habitualmente con una chapa de acero que hace las veces de encofrado a la hora de hormigonar (véase el rascacielos Swisscom de Burkard, Meyer & Partner, 1999). La envolvente de hormigón protege el perfil interior de acero del efecto producido por el sobrecalentamiento, al tiempo que puede desempeñar una función portante. Si, por el contrario, se rellena de hormigón un perfil hueco de acero, bajo la acción del fuego se produce un desplazamiento de la carga, de modo que el núcleo de hormigón asume la función portante del sistema.

Bibliografía

- Brandsicherheit im Stahlbau. Eine globale Betrachtungsweise, Eurofer Steel Promotion Committee, Bruselas, 1993.
- Brandsichere Stahl-Beton Verbundtragwerke, Schweizerische Zentralstelle für Stahlbau, Zürich, 1997.

Posibilidades de aplicación de los sistemas constructivos de acero

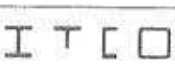
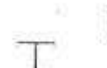
Acero visto	Resistencia al fuego RF 30	Resistencia al fuego RF 60	Resistencia al fuego RF 90
Pilares (1/2) 	SZS/EKS 89  (p/s < 50 m ²) (3) mín. Ø 80 mín. 60 × 120 mín. 150 × 150 mín. HHD 320 × 300	SZS/EKS N° 89  (p/s < 14 m ²) (3) mín. Ø 280 mín. 200 × 500 mín. 400 × 400 mín. 320 × 320	Ninguna
Vigas sobre las que se apoya el forjado (2) 	SZS/EKS 89 mín. HEM 300 	SZS/EKS 89 Acero macizo mín. FLB 150/300 	Ninguna
Construcciones con imprimación anticorrosión (4) 	Todos los perfiles http://bsronline.vkt.ch	Todos los perfiles http://bsronline.vkt.ch	No está permitido
Elementos mixtos de hormigón y acero			
Pilares 	SZS C2.3, SZS C2.4, EKS 32 mín. HEA 160, □ 140, Ø 139,7	SZS C2.3, SZS C2.4, EKS 32 mín. HEA 200, □ 160, Ø 159	SZS C2.3, SZS C2.4, EKS 32 mín. HEA 240, □ 180, Ø 177,8
Vigas con cámara rellena de hormigón y sobre las que se apoya el forjado (≥ 120 mm) 	SZS C2.4 mín. HEA 100, IPE 120 	SZS C2.4 mín. HEA 100, IPE 200 	SZS C2.4 mín. HEA 180, IPE 300 
Forjados mixtos de chapa perfilada y hormigón 	SZS C2.4, EKS N° 32 G _m ≥ 60 mm 	SZS C2.4, EKS N° 32 G _m ≥ 80 mm 	SZS C2.4, EKS N° 32 G _m ≥ 100 mm 
Acero revestido (5)			
Con placas ignífugas en forma de caja  (p. ej., para pilares)	SZS/EKS 89 http://bsronline.vkt.ch Todos los perfiles Grosor normal de las placas, unos 15 mm	SZS/EKS 89 http://bsronline.vkt.ch Todos los perfiles Grosor normal de las placas, unos 25 mm	SZS/EKS 89 http://bsronline.vkt.ch Todos los perfiles Grosor normal de las placas, unos 35 mm
Con enfoscado inyectado que se aplica siguiendo el contorno del perfil  (p. ej., para vigas)	SZS/EKS 89 http://bsronline.vkt.ch Todos los perfiles Grosor normal de la capa de enfoscado aprox. 20 mm	SZS/EKS 89 http://bsronline.vkt.ch Todos los perfiles Grosor normal de la capa de enfoscado aprox. 30 mm	SZS/EKS 89 http://bsronline.vkt.ch Todos los perfiles Grosor normal de la capa de enfoscado aprox. 40 mm
(1) Valores exactos válidos para pilares continuos con una altura de planta de 3 m (según las indicaciones del Euronormogramm EKS 89). (2) Posibilidad de adoptar secciones menores cuando no esté agotada del todo la capacidad portante del elemento. (3) Factor de perfil p/s (A _m /V según el Euronormogramm EKS 89). (4) Aplicación sujeta a licencia especial, según la normativa para protección contra incendios (véase VKF-Brandschutz-Erklärung 1008). (5) Productos para revestimiento conforme al registro de protección contra incendios VKF (la dirección de obra responde de su uso y de las condiciones constructivas para su aplicación, conforme a cómo se han experimentado y está permitida su utilización).			

Fig. 31: Posibilidades de aplicación del sistema constructivo de acero

Fuente: (con ayuda para el proyecto, editado por el Stahlbau Zentrum Schweiz SZS (Centro para la Construcción con Acero de Suiza), steeldoc, 03.06, Zürich, 2006).

Uniones

Una selección

Pilares continuos

uniones articuladas

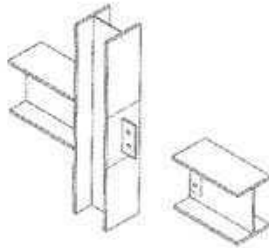
uniones empotradas

nudos prefabricados

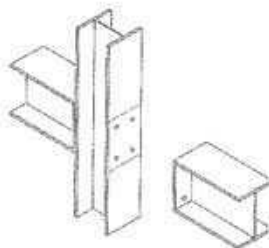
Vigas continuas

uniones empotradas

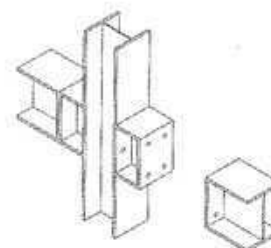
2D (x, z)



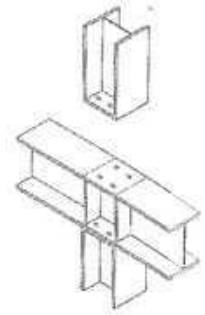
atornillada, pilar con pletina soldada



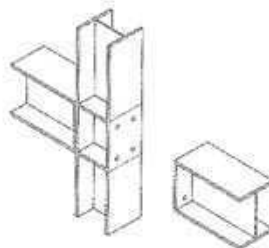
atornillada, viga con cabezal de chapa soldada



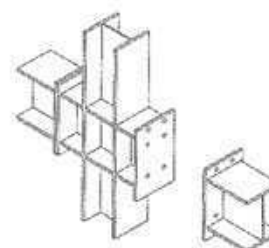
atornillada, pilar y viga con cabezal de chapa soldada



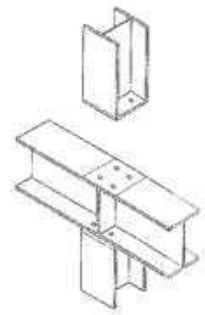
atornillada, con nervios soldados bajo las alas del pilar



atornillada, pilar con nervios a la altura de la viga

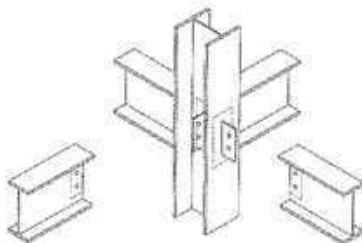


atornillada, con cabezales que sobresalen de chapa soldada; pilares con nervios a la altura de la viga

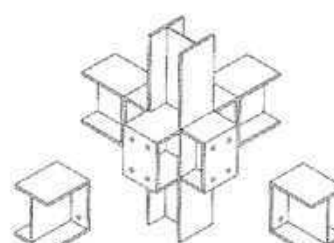


atornillada, con nervio bajo el ala del pilar

3D (x, y, z)



atornillada, con pletina soldada al pilar

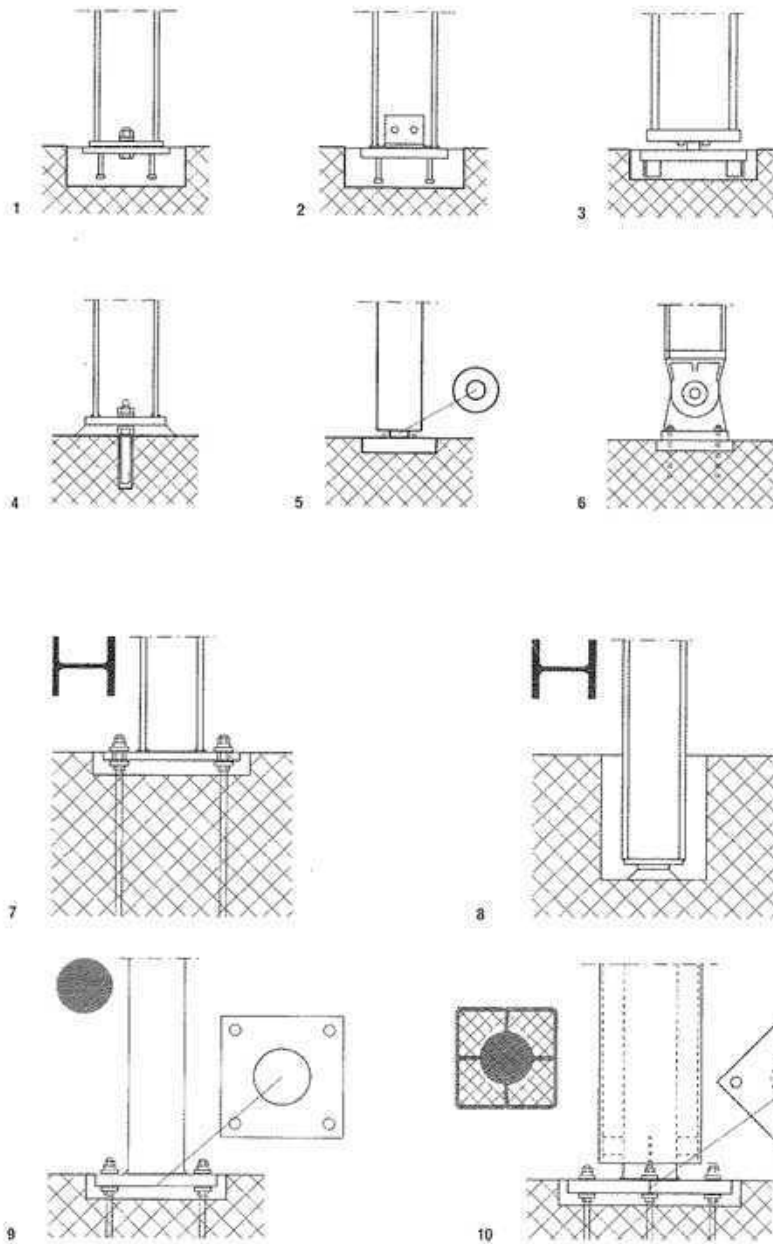


atornillada, con cabezal de chapa soldado

Fig. 33: Montaje de un pilar de acero



Fig. 33: Montaje de un pilar de acero

**Apoyos para pilares articulados**

- 1-2 sin solicitaciones a tracción
- 3 sometido a pequeñas solicitaciones a tracción; con platina anclada previamente
- 4 sin solicitaciones a tracción; con articulación giratoria
- 5 con varillas de rosca embebidas en el hormigón previamente
- 6 con platina anclada previamente; pilar soldado en obra

Apoyos para pilares empotrados

- 7-10 pilares con cimentación profunda para absorber grandes momentos flectores

Fig. 34: Apoyos para pilares articulados y empotrados

Fuente: shieldoc, 01/06, Stahlbau Zentrum Schweiz SZS (Centro para la Construcción con Acero de Suiza), Zürich, 2006.

Estructuras. Entramados con vigas en voladizo

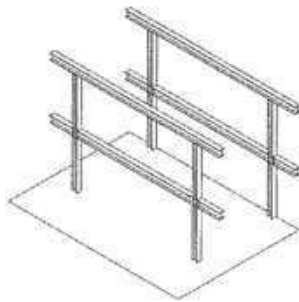


Fig. 35: Entramados con vigas en voladizo

La estructura portante se compone de una serie de pórticos alineados, con pares de pies derechos de apoyo que no están colocados en sus extremos. Dado que los pies derechos están interrumpidos, las vigas deben reforzarse con nervios para absorber cargas verticales. La figura muestra tres variantes de forjados, donde el conjunto se sostiene dispuesto sobre las vigas principales.

D1 tiene carácter de un envigado como estructura secundaria de viguetas apoyada sobre las vigas principales. Con las vigas secundarias colocadas a la misma altura que las vigas principales, este sistema permite el tendido transversal de instalaciones al entramado estructural. En función de las exigencias de uso, basta con que el revestimiento interior del suelo sea un sencillo entarimado de madera. En los casos D2 y D3 se prescinde de barras portantes como estructura secundaria. Unos perfiles trapezoidales de chapa plegada configuran esa estructura portante. En el caso D3, se cubre con una capa de hormigón armado, en el caso D2 con un tablero de madera conglomerada como soporte para el pavimento.

Forjado D1

Tarima	27 mm
Viga de acero IPE 160	160 mm
Total	187 mm

Forjado D2

Tablero de madera aglomerada	27 mm
Capa de separación (goma)	20 mm
Perfiles de chapa plegada	160 mm
Total	207 mm

Forjado D3

Capa de hormigón armado	120 mm
Chapa plegada Holorib	50 mm
Total	170 mm

Perfiles

- a) HAE 400, interrumpidos en los forjados
- b) HAE 400, vigas continuas
- c) Nervios de refuerzo para las cargas verticales

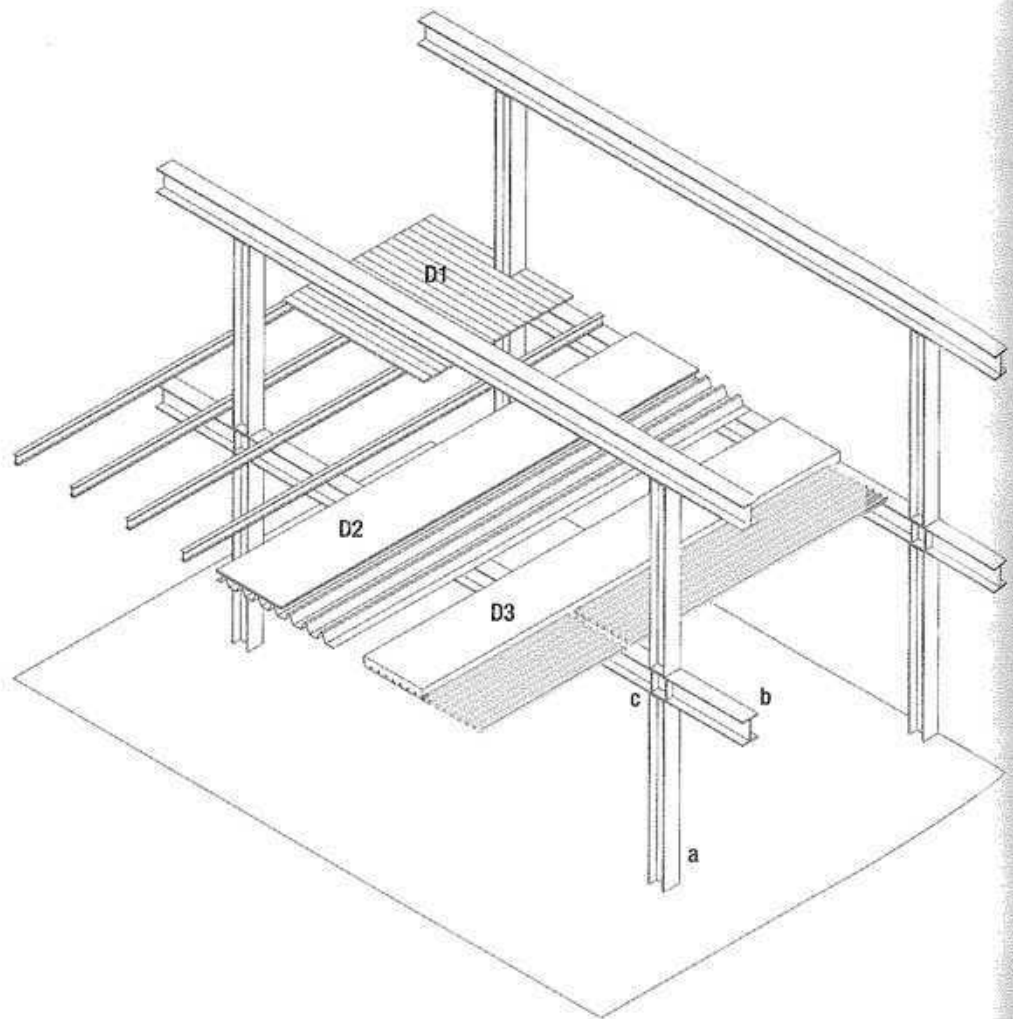


Fig. 36: Pórticos con vigas continuas

Representación de sistemas constructivos de forjado que descansan sobre la estructura principal

Forjados de acero

Los forjados de acero se componen de chapas perfiladas, cuyo grosor oscila entre 0,8 y 1,75 mm, y hormigón de cubrición. El perfil de las chapas tiene por lo general sección trapezoidal. Se fabrican por medio de un proceso de extrusión. Las chapas presentan parcialmente acanaladuras para su fijación, y su anchura varía entre los 0,3 y los 0,9 m.

Las chapas se usan con un recubrimiento de cinc (de 25 a 30 μ) o sin él. En este último caso, la cara inferior exige una protección contra la corrosión.

Forma de los perfiles:

- 1 Compendio de los perfiles habituales
1.1 y 1.2 Perfiles
1.3 a 1.7 Planchas perfiladas
1.8 y 1.9 Células de acero combinadas

Ventajas de los forjados de chapa de acero:

- peso más reducido del forjado
- rapidez de ejecución
- la losa de hormigón no necesita encofrado
- son transitables inmediatamente después del montaje
- protegen a los trabajadores de las plantas inferiores frente a la posible caída de objetos

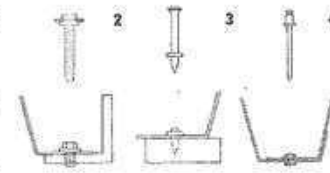
Inconvenientes de los forjados de chapa de acero:

- la chapa de acero constituye únicamente un encofrado perdido en obra o
- si es portante, precisa un revestimiento especial antir-ondulados en su parte inferior
- en comparación con los sistemas constructivos totalmente secos, el empleo de hormigón in situ aporta humedad al edificio

Tipo	Forma (medidas en mm)	
Perfil rehundido		1.1
Perfil resaltado		1.2
Chapa ondulada		1.3
Chapa en cola de milano		1.4
		1.5
Chapa nervada de sección trapezoidal		1.6
		1.7
Células de chapa nervada de sección trapezoidal y plano		1.8
Células de dos chapas nervadas de sección trapezoidal		1.9

Montaje de los forjados de chapa de acero:

Las planchas de chapas se disponen cortadas y se apilan según el plan de traslado y distribución de las mismas, de forma que su puesta en obra sea rápida, y de que el montaje pueda realizarse siguiendo la disposición de las vigas de acero. El corte se efectúa por medio de tijeras especiales para chapa que se adaptan al perfil requerido. Los cortes sesgados se realizan con herramientas manuales.



Las uniones

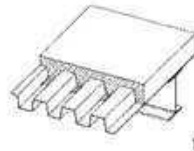
La unión entre vigas y chapa puede conseguirse mediante:

- soldadura según prescripción del fabricante
- tornillos autocortantes (dibujo 2)
- pernos disparados (dibujo 3)

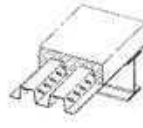
La unión entre las chapas se efectúa mediante:

- roblones que se sujetan sólo por una cara, sin una pieza metálica de sujeción por la otra, y que se introducen en la chapa por medio de una máquina (dibujo 4) o
- el estampado y ensamble de los bordes entre sí, según las indicaciones del fabricante.

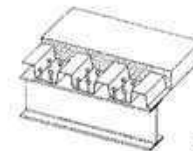
Forjados combinados o mixtos



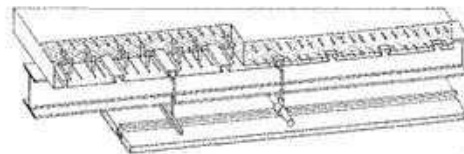
1 La chapa de acero constituye sólo un encofrado y permite una rápida ejecución (cubriendo enseguida las vigas). Para el armado se introducen redondos de acero. El forjado se comporta como una losa nervada de hormigón. Si la armadura está cubierta por una capa suficientemente gruesa de hormigón, la losa resulta consistente frente al fuego. La capa de hormigón procura además estanquidad ante el viento y las corrientes de aire.



2 Unión entre la chapa y la losa de hormigón. La chapa de acero forma junto con la losa de hormigón una unión solidaria. La chapa de acero constituye la armadura de la losa de hormigón. La transmisión de los esfuerzos de cisallamiento entre la losa de hormigón y la chapa de acero se produce a través de dientes o nervios extruidos. El sistema constructivo necesita una protección contra los incendios en su parte inferior.



3 Unión entre la losa de hormigón y las vigas. Pasadores que atraviesan la chapa de acero se sueldan al ala superior de la viga. Por medio de ellos, la losa de hormigón forma una unión solidaria con la viga. Tan sólo la capa de hormigón dispuesta sobre los nervios trabaja estructuralmente. La soldadura de los pasadores se realiza en obra siguiendo indicaciones especiales.



4 El forjado Holobit emplea una chapa con nervios de sección en cola de milano. La losa de hormigón es autoportante y por ello ha de armarse adecuadamente. En este caso, la chapa sirve sólo como viga de encofrado. Diversos experimentos han demostrado que en este tipo de forjados queda garantizada la suficiente adherencia entre la chapa metálica y el hormigón. En el dibujo se representan además los pasadores, que llevan a cabo el ensamble entre la losa de hormigón y las vigas de acero. Los nervios en forma de cola de milano sirven para la fijación del falso techo y la colocación de instalaciones. Este sistema constructivo es muy útil, sobre todo en edificios con muchas instalaciones.



Fig. 37: Forjado compuesto
Forjado cubierto parcialmente con perfiles de chapa antes del vertido de hormigón.

Fig. 38: Compendio de forjados de acero y de forjados combinados o mixtos

Extraído de: Hart, F.; Henn, W.; Sonntag, H., *Stahlbau Atlas, Geschossbauten*, Internationale Architektur Dokumentation, Munich, 1962.

Estructuras. Entramados con pilares continuos

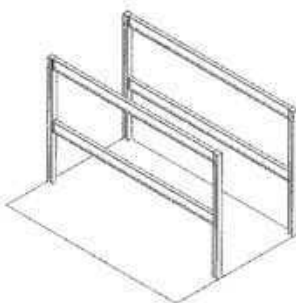


Fig. 39: Pórticos con pilares continuos

La estructura portante se compone de una sucesión de pórticos con pilares continuos colocados directamente en fachada, por lo que apenas "tocan" el espacio. En plantas con una superficie semejante a la del ejemplo anterior, las vigas deben sobredimensionarse porque la luz es mayor.

La mayor altura puede compensarse en parte colocando el sistema constructivo del forjado entre las vigas. La composición del forjado D4 se basa, análogamente a la del forjado D1, en una estructura de viguetas pero que ahora descansa entre las vigas principales y a su misma altura. El tendido de instalaciones exige huecos perpendiculares a los pórticos en las vigas, que se distribuyen ordenados parcialmente o repartidos en toda la longitud de la viga a distancias regulares. De ese modo, las vigas perforadas llegan a aligerar su peso hasta en un 30 %.

La figura D5 muestra un forjado con nervios donde los perfiles de chapa de sección trapezoidal cuelgan entre las vigas principales y se recubren de hormigón. Gracias a

los pernos soldados sobre las vigas, el sistema constructivo permite una unión rígida con la estructura primaria. El cuelgue de las chapas se consigue sobre perfiles cuadrados de acero, de 25×35 mm, que se sueldan a las vigas en el taller.

Forjado D4

Tablero laminado de madera, por ejemplo, impregnado de baquelita (resina sintética)

27 mm

Viga de acero IPE 160

160 mm

Total

187 mm

Forjado D5

Hormigón

120 mm

Perfiles de chapa plegada

200 mm

Total

320 mm

Perfiles:
HEA 200
IPE 600, representado parcialmente como viga perforada

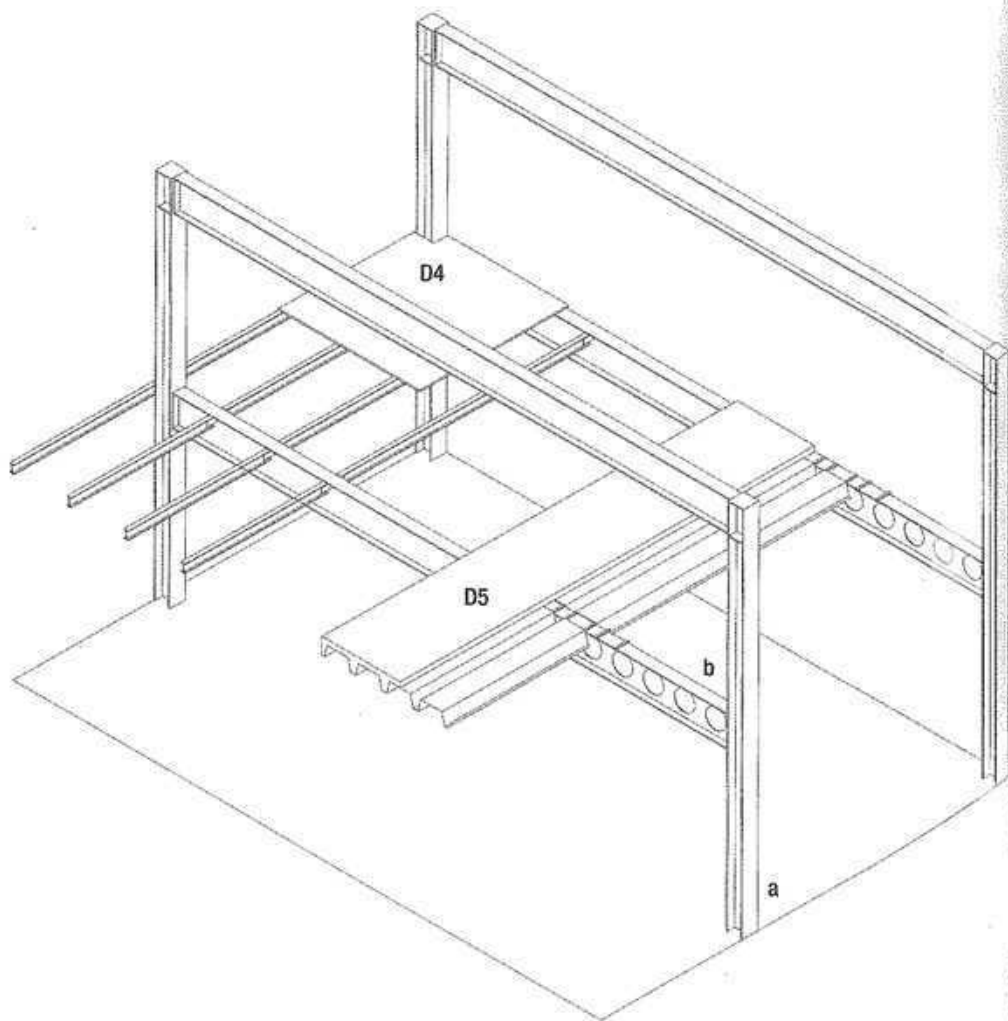


Fig. 40: Pórticos con pilares continuos
Representación de sistemas constructivos de forjado, de altura menor a la de las vigas

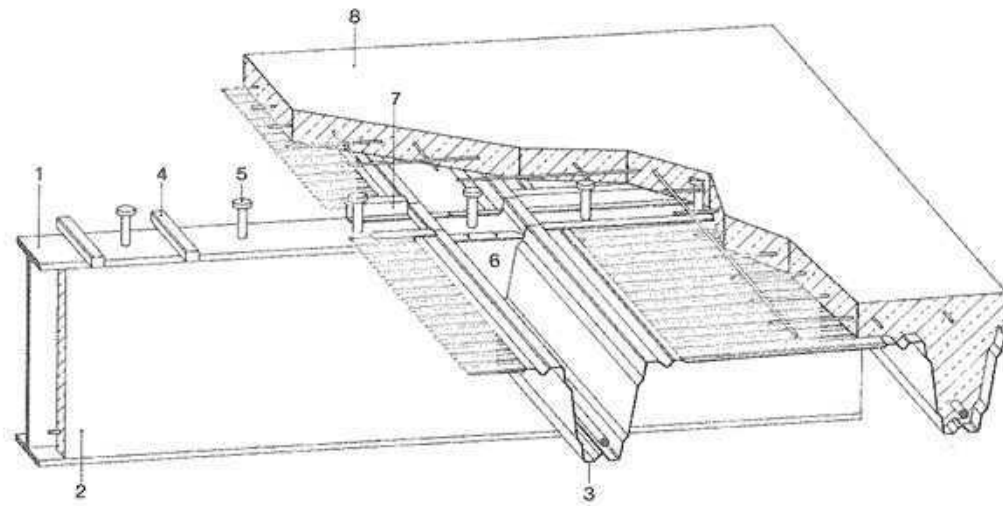


Fig. 41: Forjado de acero con perfiles profundos de sección trapezoidal

- 1 Viga de acero
- 2 Capa de hormigón
- 3 Perfil de chapa de acero de sección trapezoidal
- 4 Pieza de acero de refuerzo (25 x 35 mm)
- 5 Pernos
- 6 Sellado de plástico
- 7 Perfil en Z de sellado
- 8 Revestimiento de hormigón armado

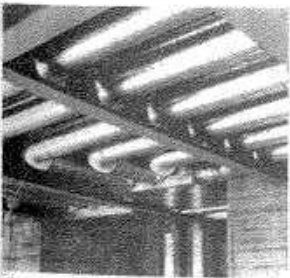
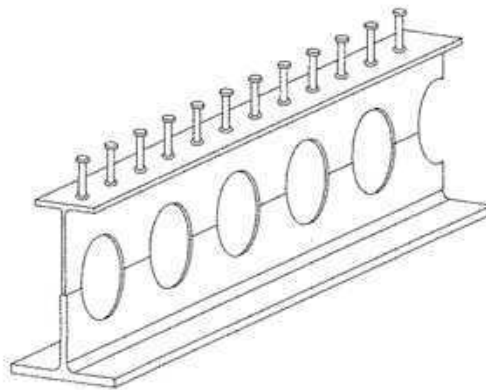
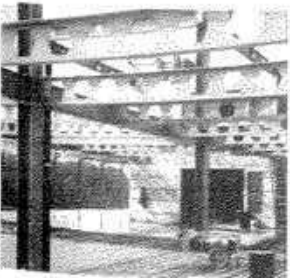
Fig. 42: Vigas aligeradas
Los huecos se usan para el tendido de instalacionesFig. 44: Vigas aligeradas de doble T
Ejemplo con los perfiles superior e inferior diferenciados para reducir el peso

Fig. 43: Vigas alveoladas

Estructuras. Esqueleto dispuesto en dos direcciones

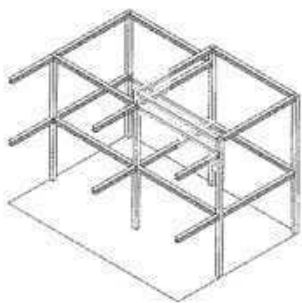


Fig. 45: Esqueleto dispuesto en dos direcciones

La estructura portante se compone de un esqueleto dispuesto en dos direcciones, con pilares de perfiles RRW, y donde las vigas (a diferencia de los perfiles en doble T) presentan la misma unión en todas sus caras. Dado que los pilares son continuos, es posible además la unión de las vigas a la altura que se desee, lo que hace posible un sistema de campos que se corresponden con las diferentes alturas espaciales. Para que todas las vigas estén sometidas a esfuerzos semejantes, debe alternarse la dirección de tendido de los forjados de campo a campo.

Los ejemplos de forjado muestran soluciones en las que éstos presentan una altura idéntica a la de las vigas (forjados Slimfloor, Integrated Floor Beam, etc.). En ambos casos, los elementos de apoyo son pletinas anchas de acero soldadas al alma inferior de las vigas. El forjado D6 se basa en placas prefabricadas aligeradas de hormigón pretensado que pueden salvar luces de hasta 12 m. La única finalidad de los huecos es la reducción del peso, pues las instalaciones deben tenderse en la parte inferior

del techo. Su gran ventaja reside en el hecho de constituir un sistema constructivo seco.

Como en el caso del forjado D5, el D7 es un forjado nervado en el que los perfiles de chapa de sección trapezoidal se colocan entre las vigas principales, vertiendo sobre ellos hormigón. Las instalaciones pueden colocarse en este caso entre los nervios. Al tratarse de un sistema constructivo combinado, los forjados sirven también como riostra horizontal del edificio.

Composición del forjado F6

Pavimento de cemento	80 mm
Aislamiento al ruido de impacto	20 mm
Losa aligerada de hormigón pretensado	220 mm
Total	320 mm

Composición del forjado F7

Hormigón	120 mm
Perfiles de chapa plegada	200 mm
Total	320 mm

Perfiles:

- a) Pilares de perfil hueco de sección cuadrada RRW 200, continuo (ROR de sección circular también posible)
 b) Viga HEB 200 con pletina soldada (tipo SFB), unida articuladamente

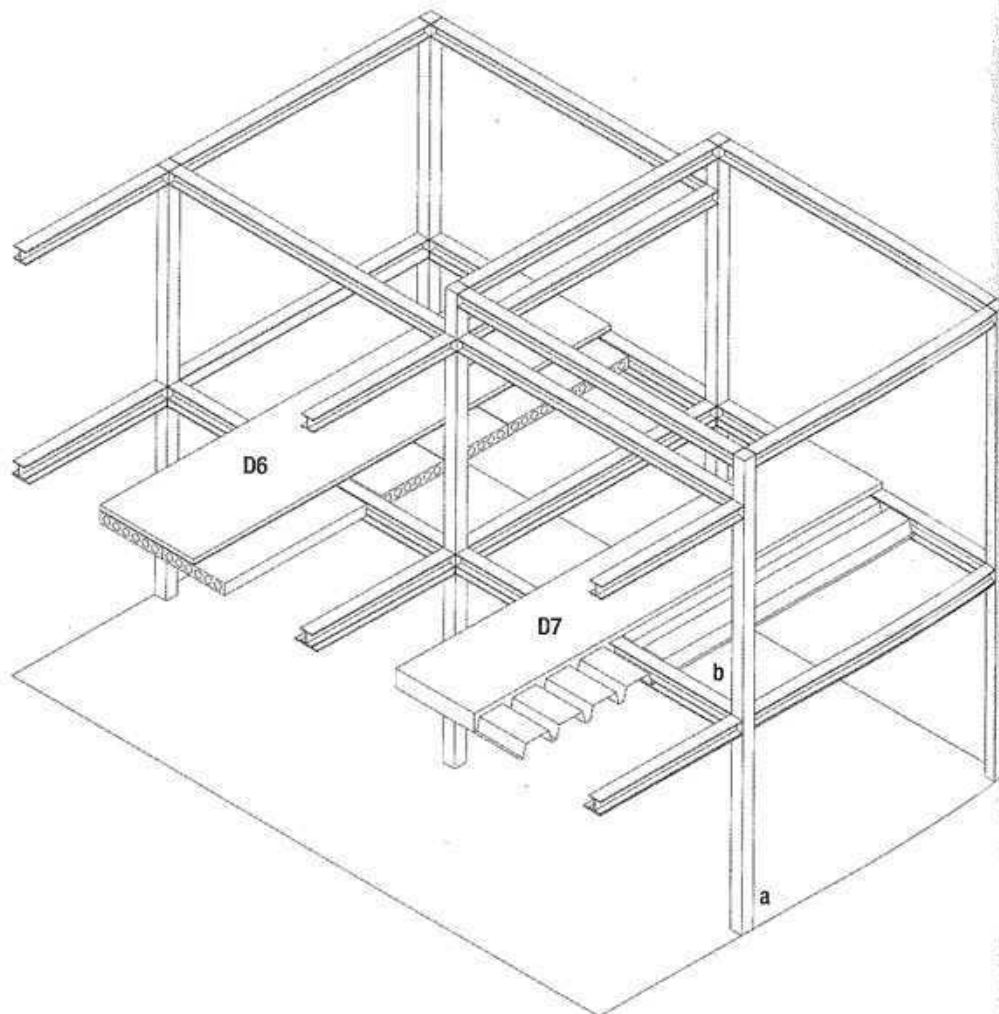


Fig. 46: Esqueleto con pilares continuos

Representación de sistemas constructivos de forjado, situados a la misma altura que las vigas

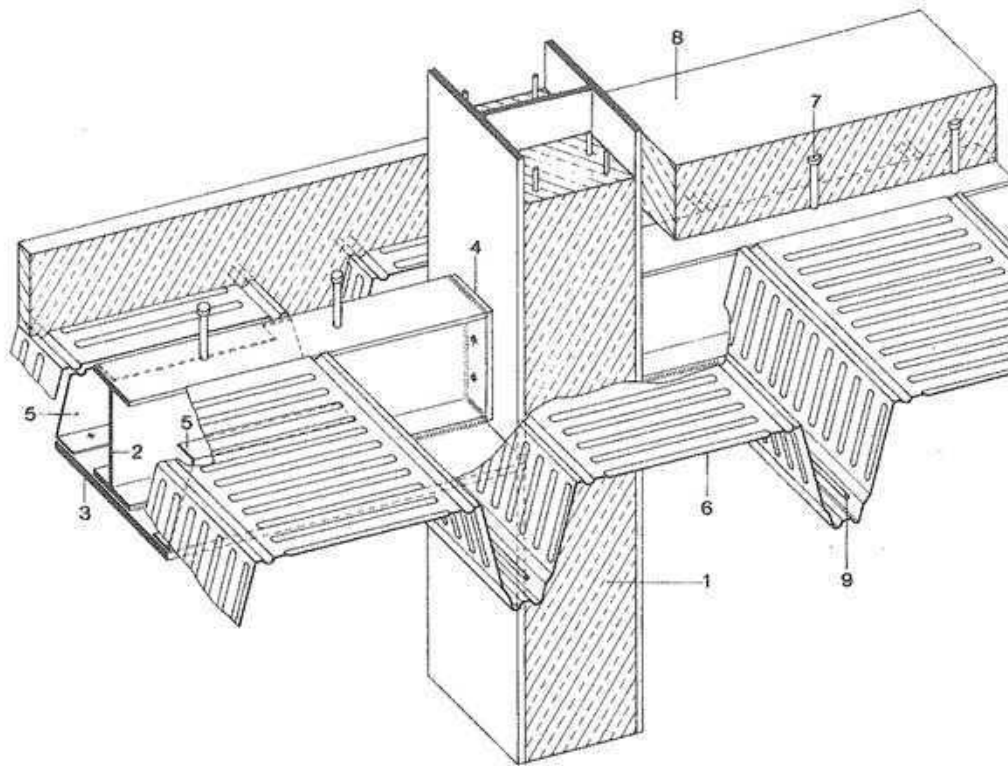


Fig. 47: Forjado de acero con nervios profundos de sección trapezoidal

- 1 Pilares compuestos
- 2 Vigas de forjado planas
- 3 Pletina soldada
- 4 Cabezal de acero
- 5 Computura de chapa
- 6 Perfil de chapa plegada
- 7 Pernos
- 8 Hormigón in situ
- 9 Armadura



Fig. 48: Colocación de un elemento de forjado aligerado

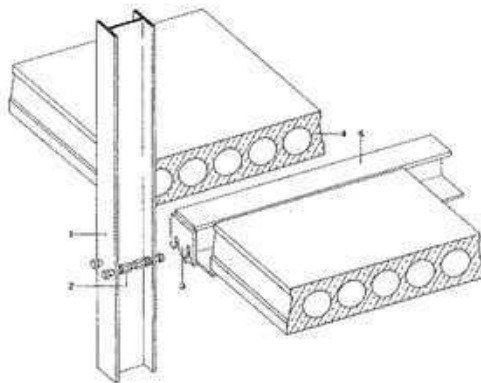
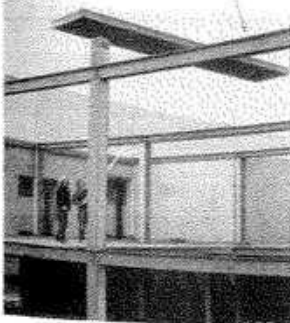
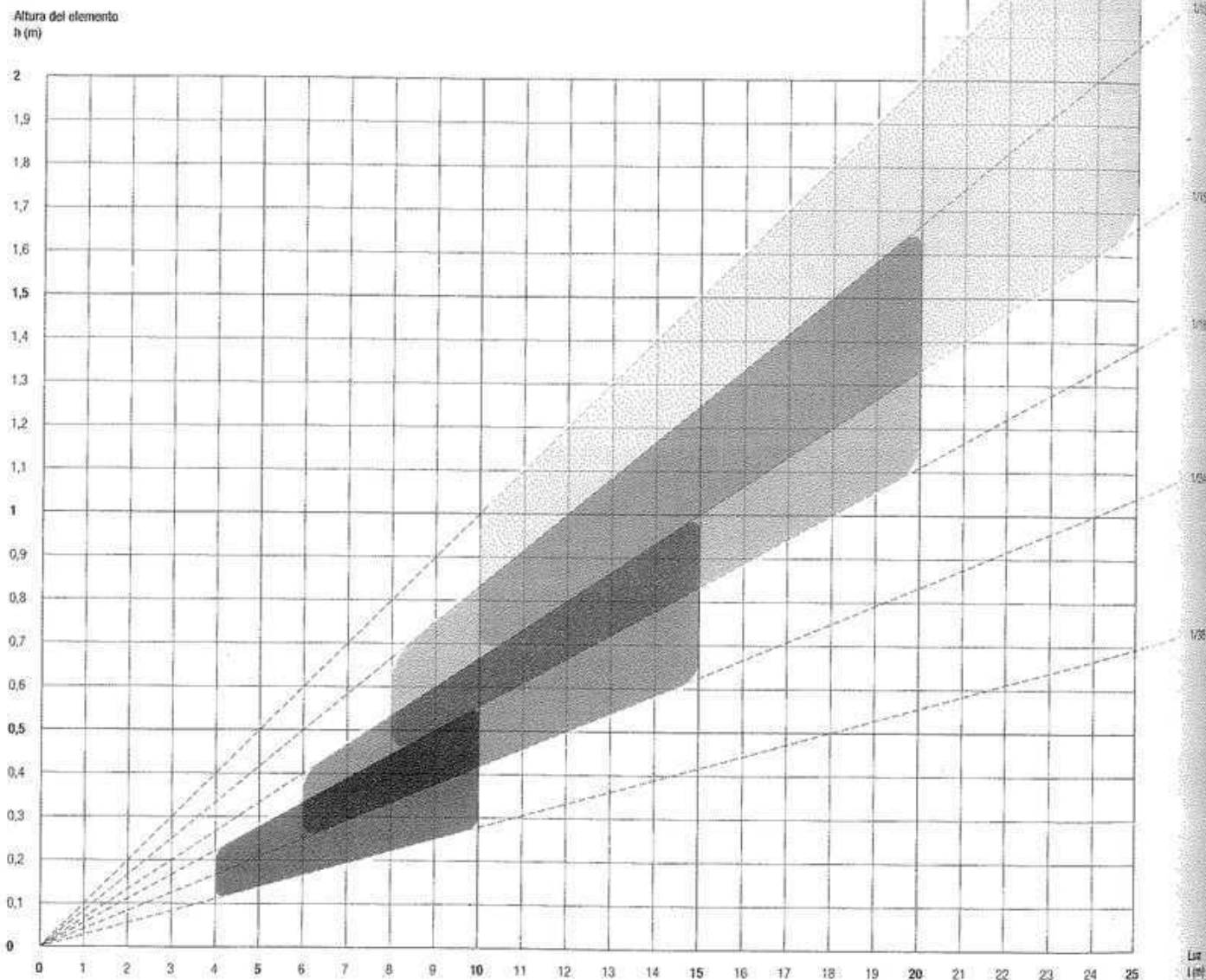
Fig. 50: Elementos de forjado aligerados de hormigón pretensado
Vigas con el ala inferior ancha para el apoyo de las placas de forjado

Fig. 49: Montaje de un forjado aligerado

Predimensionado de vigas de acero

Estimación de las primeras dimensiones en el proyecto



Elemento portante

Luz
 l (m) h^*/l 

Cables (I)

– 10 m

 $1/18 - 1/36$ 

Vigas de forjado (I)

6 – 15 m

 $1/15 - 1/24$ 

Vigas aligeradas (I)

8 – 20 m

 $1/12 - 1/18$ 

Cerchas

10 – 25 m

 $1/10 - 1/15$

* Para un primer predimensionado aproximado, puede estimarse un valor HEA (h^*/l = entre $1/1$ y $2/1$) o un HEB (h^*/l = entre $2/1$ y $3/1$).

Pliegues y dobladuras



Fig. 52: Chapa de acero plegada (12 mm de grosor), como elemento estructural (arriba), planta a escala aproximada, 1:40 (a la izquierda). HildundK: parada de autobuses, Landshut, Alemania, 1999

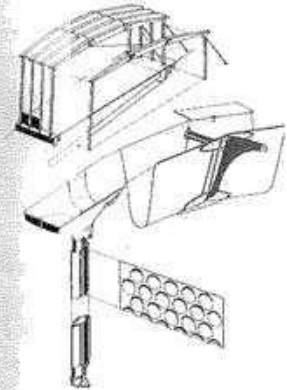


Fig. 53: Detalles del sistema constructivo portante. Jean Prouvé: pabellón del Centenario del Aluminio, París, Francia, 1954

El plegado es una de las técnicas fundamentales de elaboración del metal, propia del trabajo de toda una rama específica: la del chapado para la construcción. Junto con el papel y el cartón, se trata del único material que permite generalmente deformaciones de tales características. Las planchas o chapas delgadas adquieren una elevada estabilidad con la inserción de nervios y barras metálicas debajo de ellas, lo que posibilita colocar paneles o capas portantes de grandes dimensiones directamente sobre la estructura. En este sentido, desde su invención en 1829, la chapa ondulada (y más tarde la chapa trapezoidal), goza de gran difusión como material de recubrimiento para cubiertas, así como para las fachadas de barracones y edificios industriales.

Las obras del constructor francés Jean Prouvé (1901-1984) superan los procesos de optimización para revestimientos. Con su material preferido, el aluminio, Prouvé desarrolló estructuras portantes completas basadas en el plegado de la chapa. En este sentido, es ejemplar un pabellón erigido en París en 1954, para conmemorar el primer centenario de la fabricación industrial del aluminio.

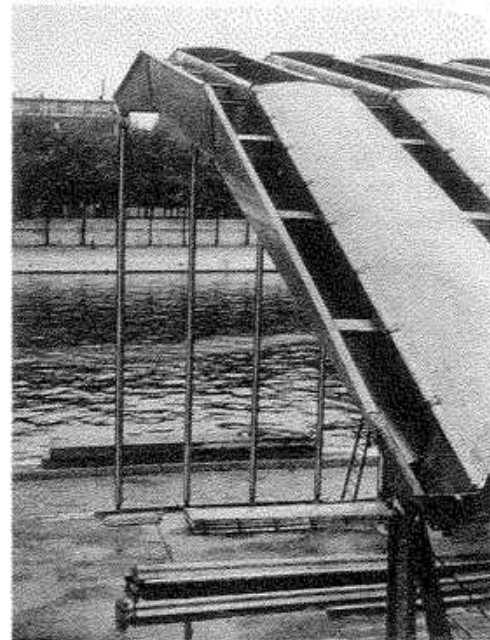


Fig. 56: Las vigas de aluminio que soportan la cubierta muestran una sección en forma de un canalón. Jean Prouvé: pabellón del Centenario del Aluminio, París, Francia, 1954

recho propio al de una construcción ligera, estos elementos de articulación se encuentran sintetizados en un único elemento autoportante en el Observatorio de 1951. El edificio muestra una sección parabólica, configurada por dos láminas continuas apoyadas entre sí. La forma curva surge gracias a la unión rígida establecida entre la chapa interior y la exterior.

Libres de toda exigencia fisicoconstructiva, HildundK consiguen en su parada de autobuses de Landshut que las paredes se realicen únicamente de chapa metálica sin necesidad de otra construcción auxiliar. En ella, tanto los pies derechos visibles como el ornamento se forman con chapa recortada de acero de 12 mm de grosor. La planta se compone de dos planchas que muestran siempre un pliegue de noventa grados.

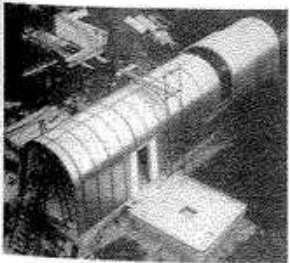


Fig. 54: La estructura portante y la delimitación espacial se configuran unitariamente en bóveda de medio cañón, por medio de paneles sandwich autoportantes: estado de la obra casi concluida. Jean Prouvé: La Méridienne del Observatorio de París, Francia, 1951

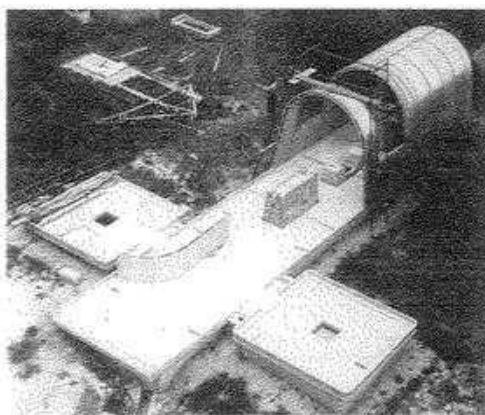


Fig. 55: Montaje de los paneles sandwich. Jean Prouvé: La Méridienne del Observatorio de París, Francia, 1951

Esqueletos de acero

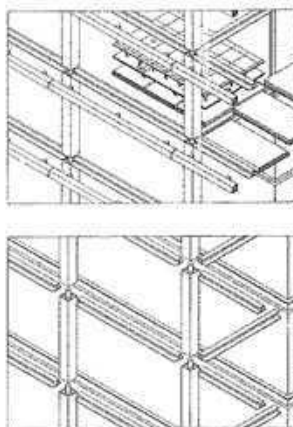


Fig. 57: Esqueleto de acero con elementos de forjado prefabricados y capa de hormigón vertida sobre ellos in situ
Burkard Meyer Architekten: rascacielos Swisscom, Winterthur, Suiza, 1999

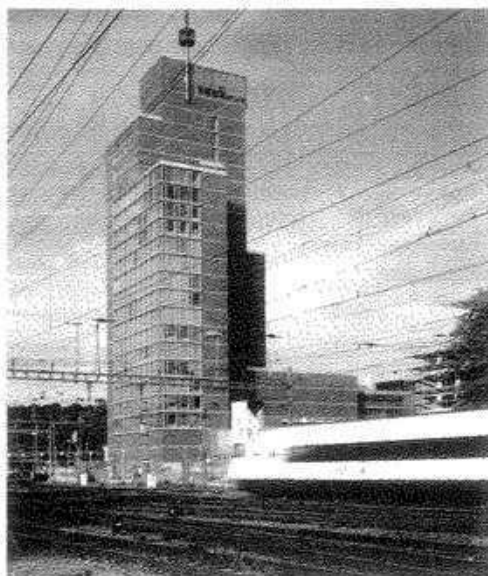


Fig. 58 Los únicos elementos de la estructura visibles en la fachada son los frentes del forjado
Burkard Meyer Architekten: rascacielos Swisscom, Winterthur, Suiza, 1999

Excluyendo el hierro para el armado del hormigón, el acero encontró necesariamente su mayor difusión en los esqueletos de los edificios en altura. En ellos, vigas y pilares configuran un armazón de barras donde forjados y paredes no portantes actúan como elementos de delimitación del espacio, y todo ello con independencia de que el sistema siga por completo los principios de la construcción en seco o que persiga, en combinación con el hormigón, una optimización en el uso de ambos materiales: el desarrollo del sistema constructivo de armazón o esqueleto en acero está caracterizado por procesos racionales.

El rascacielos Swisscom de Burkard Meyer Architekten, en Winterthur, Suiza (1999), es ejemplar en lo que se

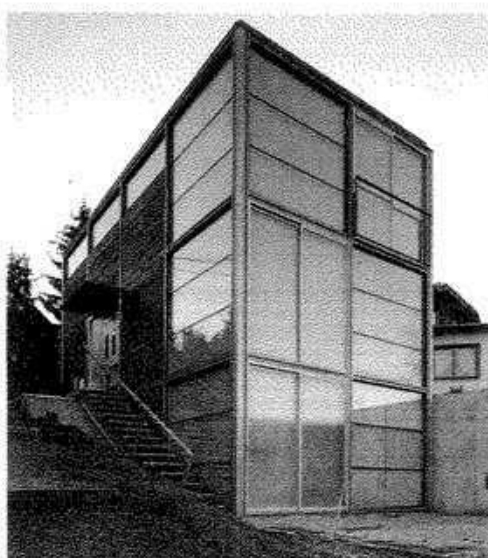


Fig. 59: La retícula visible se compone de perfiles tapajuntas de los elementos de fachada
Georg Marterer: casa de té en Neustift am Walde, Viena, Austria, 1998

refiere a los sistemas constructivos de edificios de esa magnitud. En torno a un núcleo macizo que rigidiza la estructura y que, a su vez, engloba escaleras, ascensores e instalaciones, los pilares de acero se ordenan en una retícula de $5,6 \times 5,6$ m, envueltos en hormigón y ensamblados por un núcleo de acero macizo y un revestimiento de chapa relleno de hormigón (encofrado). Los elementos prefabricados de hormigón descansan sobre las vigas de acero, atadas por medio de un perfil de ala ancha. Sobre ellos se vierte a su vez hormigón que, junto a los nervios metálicos, procuran una unión sólida. El armazón constructivo se envuelve de ese modo por la fachada, que sólo deja a la vista los elementos de la estructura que conforman los frentes de los forjados.

Al contemplar por vez primera la casa de té de Georg Marterer en Neustift (1998), se tiene la impresión de que la retícula estructural de la fachada es también el esqueleto portante de acero del edificio. En realidad, se trata de perfiles superpuestos de tal modo que cubren las juntas entre los elementos que componen la fachada. Pero esta retícula vista se corresponde exactamente con la estruc-



Fig. 60: Esqueleto de acero visto en el interior, con forjado de chapa perfilada
Lacaton & Vassal: casa de vacaciones, Cap-Ferret, Francia, 1998

tura portante situada detrás, que en planta está formada por una red compuesta por cuadrados de $2,46$ m, y que sirve para adaptar a ella los citados elementos (paños acristalados y ciegos, y ventanas correderas). Esta obra es comparable a la casa de vacaciones de Lacaton & Vassal en Cap-Ferret (1998), que se levanta en un lugar de denso arbolado y en el interior de la vivienda muestra su esqueleto como un material plástico.

En todo caso, análogamente a esta vivienda de vacaciones (y de modo muy distinto a lo que sucede en el caso del edificio Swisscom), en la casa de té se trata de un puro sistema constructivo en seco, en el que únicamente se construyó con hormigón la losa sobre la que se asienta la casa. Elementos diagonales tendidos en cruz tras los elementos de fachada otorgan rigidez al edificio, y los forjados se basan en planchas conformadas.

Otros ejemplos de sistemas constructivos de armazón o esqueleto se encuentran en el capítulo "Estructuras".

Cerchas y fachadas

Cuando las luces superan una determinada distancia, los perfiles laminados que habitualmente se encuentran en el mercado resultan insuficientes. Para ahorrar peso y material se tienden entonces vigas con barras capaces de absorber los esfuerzos a tracción, ejecutadas como vigas huecas o formando parte de un entramado. Hasta la primera mitad del siglo xx, estuvo a la orden del día la incorporación de cerchas compuestas de perfiles ligeros, aunque no era la única posibilidad de salvar grandes luces. La soldadura de conjunto de los elementos individuales (vigas de atado inferiores o superiores, pilares y tirantes), supone en todo caso una ardua tarea, por lo que hoy frecuentemente (a pesar de un mayor uso del material), se encuentran vigas ciegas compuestas de planchas de chapa.

Frente al mayor esfuerzo de personal para la solución del armazón en una estructura de barras, las cerchas presentan, junto con el ya mencionado ahorro de peso, las ventajas de una ejecución más fácil de la instalación

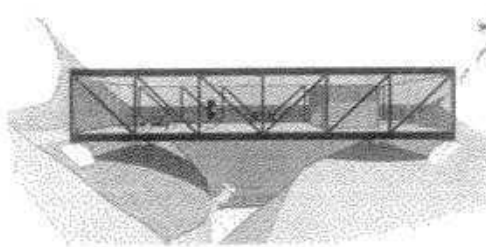


Fig. 64: El edificio como puente

Craig Ellwood: casa de fin de semana, San Luis Obispo (California), Estados Unidos, 1967-1968

yan sobre vigas de acero, tendidas de cercha a cercha a la misma distancia que los pies derechos.

En los dos ejemplos antes expuestos, los entramados determinan el carácter formal del edificio (más en el caso del edificio de Ellwood que en el de Herzog & de Meuron, cuyo sistema constructivo se dispone tras la fachada como si fuera un velo semitransparente). Todo lo contrario ocurre en la residencia asistida para la tercera edad

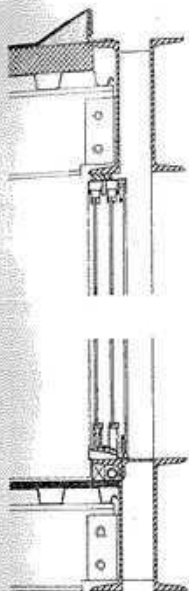


Fig. 61: División entre dos perfiles de atado, uno superior y otro inferior, con pies derechos y tirantes que descansan entre ellos
Craig Ellwood: casa de fin de semana, San Luis Obispo (California), Estados Unidos, 1967-1968



Fig. 62: Las claraboyas entre crujeas están revestidas de vidrio Profilit
Herzog & de Meuron: depósito de locomotoras "auf dem Wolf", Basilea, Suiza, 1995

y de la permeabilidad de la luz a través de la estructura. Por ejemplo, en el depósito de locomotoras en Basilea (1995), Herzog & de Meuron hacen un uso apropiado de esas ventajas. En él, las cerchas que forman la cubierta configuran claraboyas. Las naves se basan en un sistema constructivo de placas de hormigón y en una cubierta de acero. Los volúmenes de los entramados formados por una doble cercha, que salvan una luz de hasta 40 m, se colocan sobre las placas de hormigón cada 13 m. Revestidas de vidrio Profilit, estas cajas de 3 m de altura, donde se fijan las vigas que soportan la cubierta plana que se tiende entre ellas, hacen simultáneamente, las veces de claraboyas.

Si en el depósito de locomotoras el empleo de las cerchas se limita a la cubierta, en la casa de fin de semana de Craig Ellwood, en San Luis Obispo (1967-1968), constituyen la estructura portante primaria y, al mismo tiempo, la fachada de la casa. Como si fuera un puente, el volumen prismático salva un cañón de 18 m de luz. Las cerchas están compuestas de dos perfiles UPN dobles (que actúan como dos correas, una superior y otra inferior), entre los que están encajados pies derechos y tirantes metálicos huecos de sección cuadrada. Cubiertas y forjados se apo-



Fig. 65: Foto aérea de la obra en construcción. La nave mayor aún no está cubierta totalmente

Herzog & de Meuron: depósito de locomotoras "auf dem Wolf", Basilea, Suiza, 1995

de MVRDV, en Ámsterdam (1997), donde el único indicio para pensar en una construcción con cerchas de acero ligeras, lo constituye el inmenso vuelo de los volúmenes de dos plantas que sobresalen en voladizo del cuerpo principal. En todo caso, se puede deducir gracias a los huecos, cuya dimensión máxima y su posición se definen por los pies derechos y los tirantes metálicos.



Fig. 66: El revestimiento de madera oculta el sistema constructivo de acero
MVRDV: residencia asistida para la tercera edad, Ámsterdam, Países Bajos, 1997

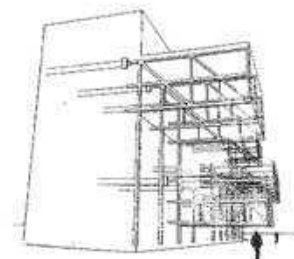


Fig. 63: Las ventanas se colocan entre los pies derechos y los tirantes metálicos
MVRDV: residencia asistida para la tercera edad, Ámsterdam, Países Bajos, 1997

Entramados espaciales

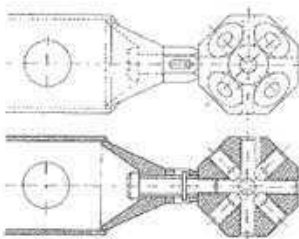


Fig. 67: Nudo Mero para el atado de una barra
Alzado y sección

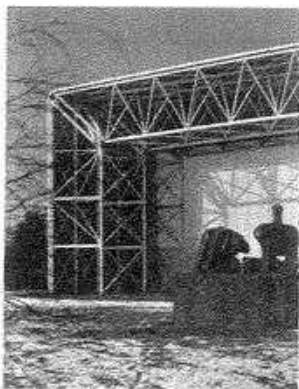


Fig. 68: Esquina del edificio con el entramado espacial visto
Norman Foster: Sainsbury Center for Visual Arts, Norwich, Reino Unido, 1978

Los entramados espaciales se componen de barras delgadas, por lo general ensambladas entre sí mediante nudos semejantes a una esfera, con hasta 18 posibilidades de unión. Junto a Konrad Wachsmann y Richard Buckminster Fuller, que se comprometieron intensamente en el desarrollo de estos entramados ligeros aptos para la cubrición de grandes luces, hay que destacar también a Max Mengerhausen, cuyo nudo Mero (1942) representa una unión atornillada que todavía hoy encuentra aplicación. La composición estructural de entramados espaciales se constituye de planos de atado superiores e inferiores, así como de barras diagonales que ocupan el espacio situado entre ambos planos. Dependiendo de que se trate de una combinación de tetraedros, octaedros y/o cubo-octaedros, ambos planos se encuentran entre sí en una dirección paralela o diagonal.

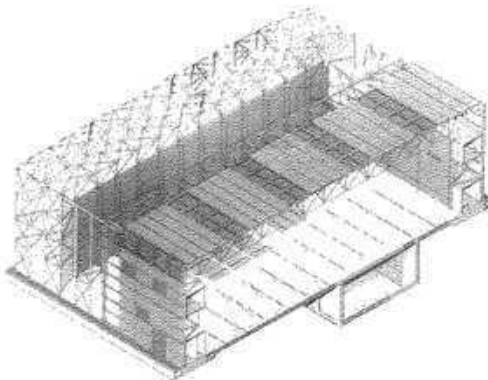


Fig. 69: Entramado y envoltura son idénticos tanto para la cubierta como para la pared: axonometría de la estructura con y sin el revestimiento
Norman Foster: Sainsbury Center for Visual Arts, Norwich, Reino Unido, 1978

En el Sainsbury Center for Visual Arts de Norman Foster (1978), el entramado espacial se encuentra disuelto en tres bandas de atado separadas, que, por su parte, tienen su origen en la unión que se produce siempre por dos vigas de entramado paralelas con el perfil metálico común de atado inferior, y resulta interesante que tanto el entramado como la envoltura del edificio se utilicen para las paredes y la cubierta del mismo. Foster aprovecha en las paredes la gran altura de las bandas, de cerca de 3 m, para integrar las instalaciones y corredores en el plano del entramado. Los nudos de las bandas están soldados; únicamente las uniones de las barras diagonales entre las bandas (que siguen por completo el proceso de montaje), están atornilladas.

Richard Buckminster Fuller suprimió por completo los límites entre pared y cubierta en el pabellón de Estados Unidos para la Exposición Universal de Montreal (1967). Tres cuartos de esfera forman el contenedor para el espacio expositivo, con una base de 110 m de diámetro, mientras que en el ecuador llega a alcanzar los 167 m, y toda la construcción se ha construido con delgados tubos de acero, cuya sección alcanza, como máximo, los 9 cm. A diferencia del edificio de Foster, en éste el cerramiento espacial está formado por placas acrílicas hexagonales

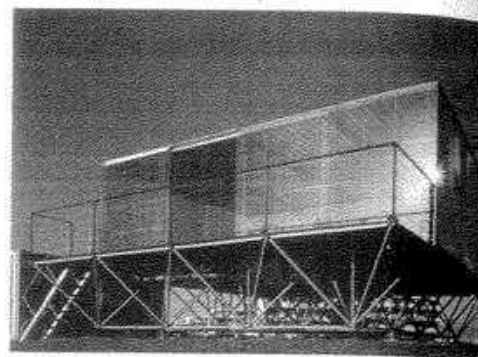


Fig. 70: El entramado espacial reparte la carga de la casa sobre cuatro elementos de cimentación independientes
Benthem Crouwel: casa en Almere, Países Bajos, 1984

montadas sobre la cara interior del entramado espacial. Con ello, la forma hexagonal de las placas se corresponde con la del plano de atado inferior, mientras que el plano superior se basa en una unión triangular.

Los entramados espaciales se asocian por lo general con las cubiertas o, más aún, con cubriciones de espacios de gran superficie. Con sistemas constructivos de una altura de hasta 4 m, por ejemplo, son posibles cubiertas planas que salven hasta 120 m de luz. Por este motivo, la casa de Benthem Crouwel en Almere (1984), es un logro que amplía el ámbito de aplicación de estas estructuras, sin renunciar además a los principios en que se basan. Un terreno de mala calidad, unido al hecho de que debía tratarse de una obra de carácter temporal (la casa



Fig. 71: La sección esférica muestra en la base un diámetro de 110 m
Richard Buckminster Fuller: pabellón de Estados Unidos en la Exposición Universal de Montreal, Canadá, 1967

existe todavía e incluso se amplió en 1991), propiciaron la construcción de un entramado espacial fácilmente desmontable que reparte la carga superficial de las plantas de la vivienda sobre cuatro elementos independientes de cimentación (que pueden considerarse pilares acortados). Gracias a la elevación del edificio sobre el terreno, la planta baja del edificio queda al mismo tiempo protegida de la humedad del mismo.

Rombos y diagonales

La diagonal como riostra es con frecuencia un añadido que se emplea como solución de emergencia para acabar de completar desde el punto de vista estático aquellos proyectos que carecen de elementos que, como los núcleos o las placas estructurales, dan rigidez y estabilidad al edificio. Tiene una gran acogida como elemento portante primario, del que son una muestra los ejemplos más recientes, formados por haces de pilares vistos y colocados preferentemente en sentido oblicuo (*miikado*) o de pilares incorporados a una estructura reticular homogénea. Esta fascinación surge por el hecho de que los esfuerzos horizontales y verticales pueden ser absorbidos por una única estructura de barras, sin jerarquía aparente, y de que, además, la malla confiere una calidad ornamental al edificio.

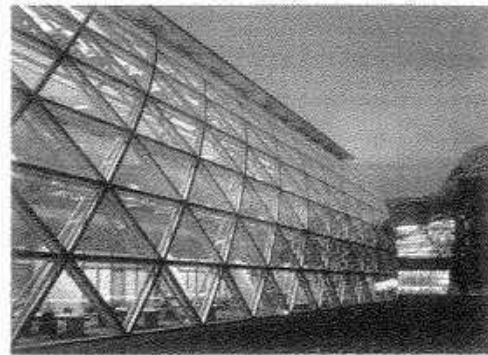


Fig. 74: La cubierta acristalada se compone de una estructura reticulada formada por triángulos
Norman Foster, Facultad de Derecho, Cambridge, Reino Unido, 1995

Si en la torre de Shukov y en la mediateca de Toyo Ito los elementos de articulación de la estructura presentan una jerarquía, en la Facultad de Derecho de Norman Foster en Cambridge los elementos verticales y horizontales que configuran la bóveda de la cubierta (con una luz de casi 40 m), dan la impresión de tener el mismo valor. La malla se compone de perfiles tubulares de 16 cm de diámetro. Es interesante que el revestimiento de vidrio esté separado pocos centímetros de la estructura, lo que plantea la cuestión de si se quiso dar protagonismo a la membrana como elemento formal o si se constató que los perfiles de sección circular no son apropiados para montar las ventanas.

Esta falta de acoplamiento no tiene lugar en el Epicenter Store Prada de Herzog & de Meuron, en Tokio. Los vidrios están colocados directamente sobre la retícula de perfiles que, junto con los tres núcleos interiores, absorbe las cargas verticales. Una absorción de cargas en los puntos de cruce de los rombos horizontales muestra la impresionante capacidad estática de las uniones soldadas. Con todo, las solicitaciones son considerablemente más altas que en los rombos verticales, y exigen uniones en ángulo para dotar de mayor rigidez a la estructura.

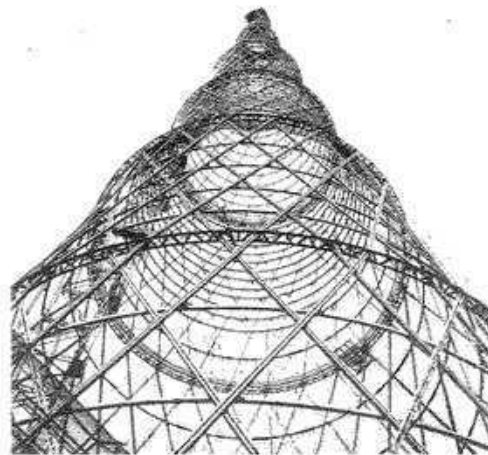


Fig. 75: Barras articuladas en espiral, configuradas por perfiles de doble U, forman un hiperboloide
Vladimir Shukov, torre de radio Sabolovka, Moscú, Rusia, 1919-1922



Fig. 72a: Los cuatro pilares de esquina, con barras que se cruzan entre sí, funcionan de forma análoga a las torres reticulares de Shukov
Toyo Ito, mediateca de Sendai, Japón, 2001



Fig. 72b: Las escaleras de colocan dentro de los pilares
Toyo Ito, mediateca de Sendai, Japón, 2001

Los primeros ejemplos de mallas estructurales no ortogonales son las torres reticulares de Vladimir Shukov, que tienen su origen en la búsqueda de estructuras para depósitos de agua que posibilitasen un gran ahorro de material. Una justificación impresionante de la capacidad de ahorro, en torres realizadas únicamente con angulares y perfiles en U, lo proporciona la comparación entre la torre de radio de Shukov en Moscú (1919-1922), que se mece con una altura de 350 m y un peso de 2.200 t, y la torre Eiffel de París (1889), que tiene una altura de 305 m, pero un peso de 8.850 t.

El hiperboloide está formado por dos cilindros con barras rectas que producen una estructura en malla romboidal mediante el "giro" de los anillos superior e inferior. Los puntos de cruce se fijan con roblones y, para aumentar la estabilidad, se colocan anillos horizontales sobre el lado interior, de modo que aparece una malla de triángulos.

Un ejemplo actual, ligado al conocimiento de la obra de Shukov, se encuentra en la mediateca de Sendai, de Toyo Ito (2001), donde el sistema constructivo de sus cuatro torres está basado en principios semejantes.



Fig. 73: Estructura portante romboidal de la fachada
Herzog & de Meuron, Epicenter Store Prada, Tokio, Japón, 2003

Construcciones fungiformes

La mayor parte de las estructuras portantes se basan en unidades fundamentales cuya repetición configura un espacio. Por eso, los sistemas constructivos con pórticos (dos pilares y una viga), por ejemplo, necesitan al menos dos unidades para generar un espacio. En los sistemas fungiformes, por el contrario, el módulo básico constituye ya un sistema independiente, como en las gasolineras o en las paradas de los medios de transporte.



Fig. 76a: Sistema constructivo fungiforme en fase de construcción
Pier Luigi Nervi: Pabellón del Trabajo, Turín, Italia, 1961

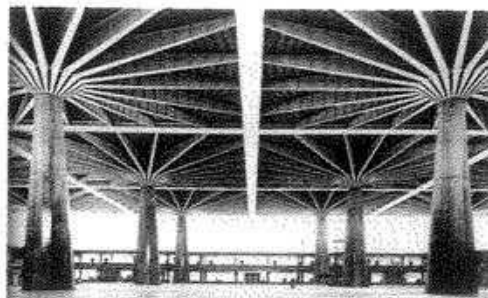


Fig. 76b: Sistema constructivo fungiforme de hormigón y acero; dimensión de los tramos: 38 x 38 m
Pier Luigi Nervi: Pabellón del Trabajo, Turín, Italia, 1961



Fig. 77: Árboles con 48 ramas
Gerkan, Marg & Partner: aeropuerto de Stuttgart, Alemania, 1990

La autonomía de cada "hongo" hace posible que puedan colocarse a una cierta distancia entre sí. Esa distancia forma pequeñas hendiduras que proporcionan entrada a la luz o que ésta penetre a través de huecos mayores si el módulo del hongo prescinde del pilar. En la primera categoría destaca el Pabellón del Trabajo de Pier Luigi Nervi, Turín (1961), donde 16 módulos fungiformes, colocados a una distancia de 40 m, describen un espacio principal cuadrado cuyos bordes se flanquean por un anillo de espacios secundarios de dos plantas. Los hongos de 20 m de altura se disponen sobre un "tallo" de hormigón con base cruciforme y que, a medida que asciende en altura, se convierte en un círculo. La sombrilla del hongo se basa en un tambor de acero en el que confluyen radialmente 20 vigas iguales atadas mediante un perfil perimetral. Tambor y vigas están inclinados en su cara inferior y siguen la dirección de los esfuerzos estáticos. Dado que la fachada configura una unión solidaria con los bordes de los hongos exteriores, el sistema constructivo sólo es perceptible en el espacio interior.

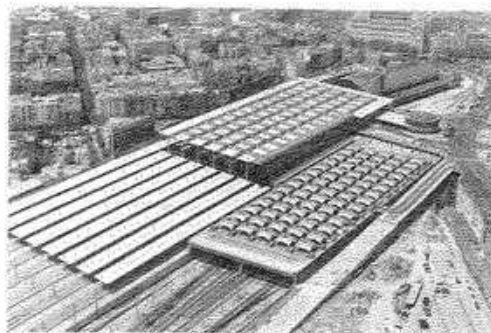


Fig. 78: El sistema constructivo, apoyado sobre pilares, estructura la nave superior
Rafael Moneo: estación de Atocha, Madrid, España, 1984-1992



Fig. 79: Cubierta modular; entre los pilares está suspendido otro elemento adicional
Norman Foster: aeropuerto de Stansted, Londres, Reino Unido, 1991

El sistema constructivo de la estación de Atocha en Madrid (1984-1992), de Rafael Moneo, es comparable al de esta obra de Nervi. En todo caso, surgiendo de los pilares de hormigón, la colocación de las vigas de la "sombrilla" del hongo presenta una jerarquía, ya que la cara inferior se compone de cuatro triángulos con vigas unidas perpendicularmente a los bordes. Las franjas que dejan pasar la luz se cubren con bandas de elementos rematados en punta que, de ese modo, articulan la superficie de la cubierta.

En una concepción totalmente distinta se basan los hongos del aeropuerto de Stansted, de Norman Foster (1991). Los módulos están tan separados que entre ellos puede colgarse un gran elemento de cubierta con un canto de 18 m; no se establece una división entre pilar y cubierta. Disuelto en cuatro tubos de acero de 45 cm de diámetro, el pilar tiene un tratamiento espacial y acoge en su interior los elementos de la infraestructura. Debido a la inclinación de las barras de compresión, los pilares y la cubierta se funden creando una imagen espacial.

Si en este caso se puede hablar con propiedad de una formación arbórea, una imagen aún más directa de tal asociación es el aeropuerto de Stuttgart, de Gerkan, Marg & Partner (1990). Partiendo de cuatro tubos de acero de 40 cm de diámetro, los "árboles" se ramifican en 48 barras, la más delgada de las cuales presenta una sección de 16 cm.

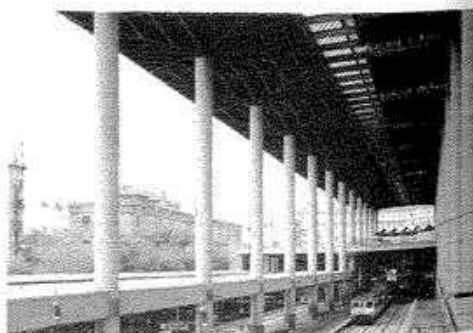


Fig. 80: La estructura portante es visible tanto interior como exteriormente
Rafael Moneo: estación de Atocha, Madrid, España, 1984-1992

El material "invisible"

Eva Geering, Andrea Deplazes

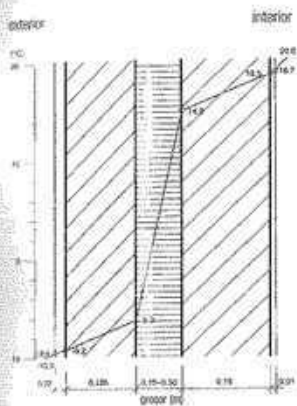


Fig. 1: Composición de una pared con varias capas. Decurso de las temperaturas en el interior de las capas.

Ocultar y mostrar

Tras la crisis energética de la década de 1970, como consecuencia de la toma de conciencia sobre la necesaria reducción del uso de energía, se produjo un desarrollo encaminado a la "construcción de paredes de varias capas". De todas las capas con las que se resuelve el muro, la más exterior sirve generalmente para proteger al aislamiento instalado de las inclemencias climatológicas. A su vez, el aislante envuelve la estructura interior portante de todo el edificio, a la que se fija como si se tratara de un abrigo de lana. Debido a este evidente desarrollo técnico, surge una nueva cuestión de carácter formal: ¿Qué aspecto tiene una pared aislada térmicamente? ¿puede o debe producir su carácter el mismo efecto plástico que un muro monolítico? Una solución próxima a este dilema es la configuración de la capa exterior de protección como capa autoportante de hormigón o ladrillo. Con ello, la pared de varias capas produce la impresión de estar construida como si fuera un muro macizo, como si la crisis energética nunca hubiera afectado a un concepto constructivo de ese género. Incluso cuando el aislamiento sólo se protege con una delgada capa de revoco para reducir la composición del muro, se produce la engañosa imagen de que es macizo. Al menos mientras no experimentemos con el tacto el carácter de su textura. Los sistemas constructivos con capa de ventilación situada detrás renuncian a esa simulación, incorporando un revestimiento ligero, ya sea de madera, chapa o ripias de Eternit, que ejerce una función a su vez protectora. También este tipo de sistemas forra la necesaria capa de aislamiento y la utiliza sólo de forma indirecta como solución para una renovación formal. No sorprende pues que, en la década de 1970, frente a los dogmas del movimiento moderno, la arquitectura esté legitimada para ser portadora de nuevos significados y adquiera otra vez actualidad la teoría del revestimiento de Gottfried Semper.

En el edificio Suva de Basilea (1988-1993), Herzog & de Meuron persiguen una estrategia contraria al ocultamiento. Dado que el aislamiento se protege por una piel transparente de vidrio, se enseña aquello que no estaba pensado para exhibirse. Mientras el movimiento moderno renuncia a toda decoración y proclama la "sinceridad constructiva", en el caso de la obra de Herzog & de Meuron, donde el material aislante se muestra sin prejuicios, no se trata de perseguir una intención didáctica por el detalle constructivo, sino más bien de romper un tabú y de poner en evidencia la fascinación por los materiales considerados "feos". El uso de materiales inusuales pone en tela de juicio las convenciones culturales y manifiesta claramente la belleza de su indigencia. De la tensión existente entre significado y efecto producido surge una poética del material: "¿Cómo se muestra esta poética? Se muestra en la medida en que una palabra se sienta como palabra y no como la mera sustitución de lo que significa" (Roman Jakobson, *Questions de poétique*).

Pérdidas frente a ganancias de calor

El aislante protege contra las pérdidas de calor del interior, pero también contra el exceso de temperatura exterior. Dependiendo del clima, el efecto del aislamiento adquiere una mayor relevancia en uno u otro sentido. En el clima continental moderado europeo, según la estación del año son deseables tanto la capacidad de mantenimiento térmico como la obtención de calor. Un intento de evidenciar la paradoja inmanente al material es el desarrollo del llamado aislamiento térmico transparente. Este material, constituido por varios componentes, no cierra el paso a la luz ni al calor, sino que permite su entrada al interior en un muro acumulador. Tales aislantes son además transparentes. Esta propiedad óptica se manifiesta de modo especial en los sistemas de aporte directo, donde el aislamiento constituye la envolvente del edificio sin que exista una pared tras él. En este tipo de aplicación, el aislamiento se asemeja a ventanas traslúcidas. No sólo la capa exterior de esta composición de la pared es transparente, como en citado el edificio Suva, sino que el propio aislamiento es casi invisible. Parece que no existiera y permite recrear la ilusión de una despreocupación constructiva por el mismo (véase "Aislamiento térmico transparente", pág. 145).

Materiales sintéticos

Ya sean visibles o invisibles, los aislamientos descritos forman parte de un sistema de ejecución compleja compuesto de capas complementarias e interdependientes.



Fig. 2: El edificio preexistente y el nuevo se unen mediante una fachada de vidrio aislante. Arriba: la superficie de fachada sobre el lado de la calle. Abajo: detalle de la esquina que da al patio. Herzog & de Meuron: edificio de viviendas y oficinas Suva, Basilea, Suiza, 1988-1993.

El deseo de una utilización sencilla de los materiales de construcción se satisface mediante la aplicación de materiales sintéticos como la arcilla expandida o el hormigón poroso. La industria oferta una amplia gama de materiales portantes y aislantes a la vez. En esta dualidad reside también la cuestión clave, tanto desde el punto de vista físico como estático. El material portante es tan sólido que, a pesar de tener poros que dejan pasar el aire, muestra aún suficiente consistencia y, al mismo tiempo, gracias al aire viciado encerrado en ellos, asume un efecto aislante. Tal función disminuye la capacidad portante del material, por lo que la relación entre la resistencia y el grado de aislamiento debe determinarse en cada caso. Este tipo de materiales se caracteriza por lo difuso de sus límites, tanto si se trata de un material portante que contiene un aislante como de un material aislante portante. Los materiales sintéticos, en especial los de obra de fábrica, porosos y quebradizos, exigen una cuidadosa puesta en obra y una protección constante frente a la humedad. Para garantizar la necesaria resistencia a la intemperie, los materiales sintéticos deben revocarse o recibir un tratamiento hidrófugo.

El poliuretano como encofrado portante

En los ejemplos expuestos a continuación, se hace uso de una nueva estrategia: el aislamiento deja de ser una aplicación o implicación de la capa portante, la capa aislante "es" la capa portante.

Para el aislamiento de partes constructivas sometidas a grandes esfuerzos de compresión, como cubiertas planas transitables o con tráfico rodado, se desarrollaron los materiales aislantes muy resistentes. Philip Johnson hizo un uso formal de este desarrollo técnico en la Gate House, en New Canaan (Massachusetts, Estados Unidos).

Esta casa se construyó con ayuda de materiales convencionales: aislantes térmicos, hormigón y armaduras.

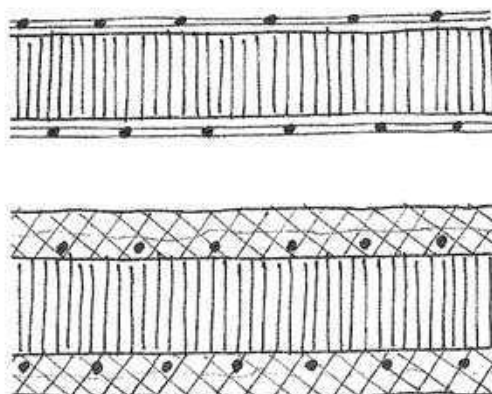


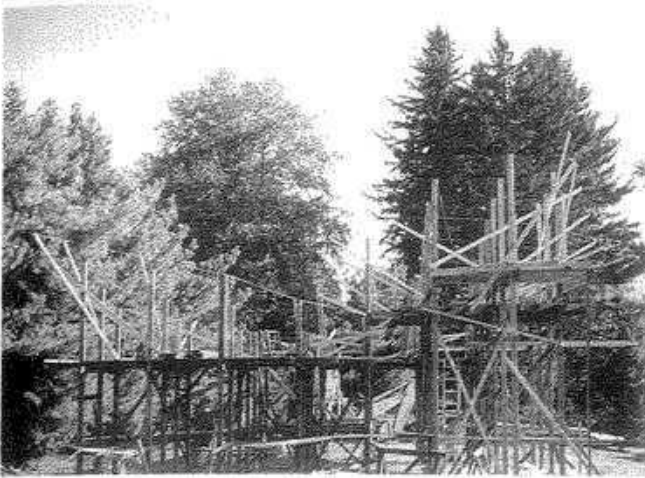
Fig. 3. Croquis en planta de la composición de la pared
Arriba: el aislamiento de espuma endurecida de poliuretano colocado entre dos capas de armadura sirve como encofrado perdido
Abajo: Panel de espuma endurecida de poliuretano recubierto con dos capas de hormigón rociado
Philip Johnson. Gate House, New Canaan (Massachusetts), Estados Unidos, 1995

No es fácil determinar su conjunción: ni los componentes se complementan exclusivamente en la obra acabada, ni se mezclan del todo entre sí. La capa aislante armada hace las veces de encofrado "perdido" para una delgada capa de protección y de estabilidad del hormigón. El método constructivo empleado se basa en una patente italiana que Philip Johnson conoció a través de su ingeniero de estructuras Ysrael A. Seinuk. En la aplicación convencional de este sistema para la creación de un espacio habitable, cuya construcción requiere un presupuesto bajo, se erigen paneles de dos capas paralelas formadas por una retícula de armaduras de hierro, y entre ellas se coloca otra capa de aislante de espuma de poliuretano endurecida, que se rocía con una delgada capa protectora de hormigón. Para ello no se necesita encofrado alguno, al contrario que en el proceso de hormigonado habitual.

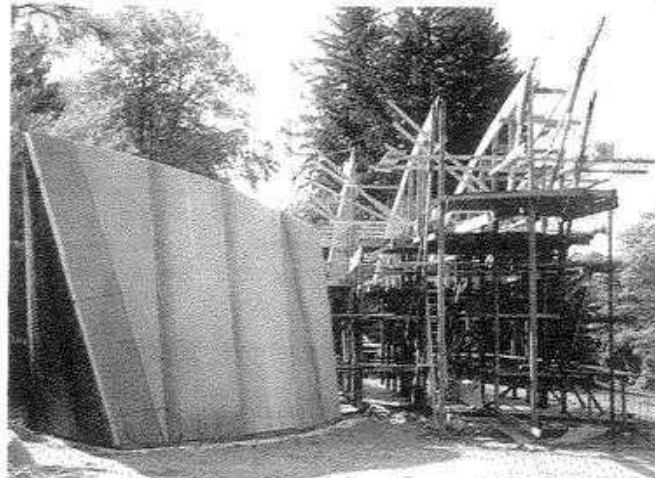
Para conseguir las complejas formas de esta casa, las secciones horizontales se construyeron como si fueran escantillones de madera colocados con ayuda de un andamio. Con estas referencias, similares a las líneas auxiliares de un plano, se compuso el edificio formado por paneles prefabricados de espuma endurecida. Los elementos, unas veces planos, otras cóncavos o convexos, se añadieron en obra como las piezas de un rompecabezas. Hasta este momento todavía era posible modificar la forma de la casa, lo que Johnson aprovechó en gran medida para recortar el hueco de la puerta y dar a las superficies y aristas la forma deseada. La primera capa de hormigón rociado aseguró la consistencia del ensamblaje de los paneles e hizo posible retirar más tarde la mayor parte de las plantillas y del andamio. Con la segunda capa de hormigón se consiguió el grosor deseado de la pared y el recubrimiento necesario de la armadura. El resultado de este procedimiento invertido, donde el encofrado pasa insospechadamente a ser un elemento interior, es un delgado caparazón de hormigón aparentemente monolítico. El procedimiento, que permite llevar a cabo manipulaciones formales durante el proceso constructivo, convierte en realidad el sueño de un hormigón con capacidad aislante y conformado plásticamente.

"Muros" de paja

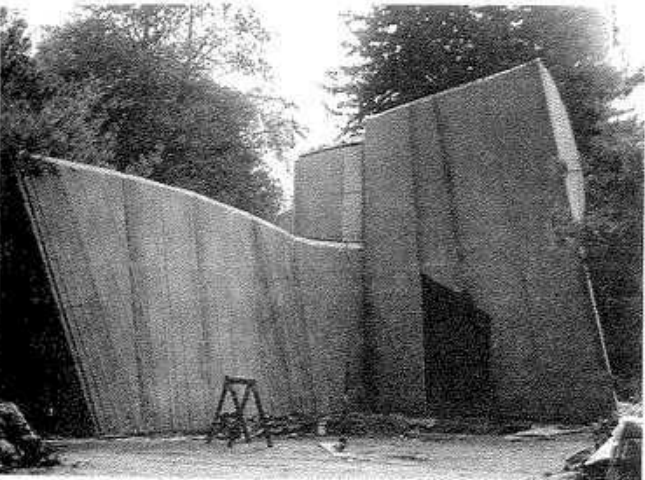
La paja es un material aislante puro que, al ser comprimido, puede convertirse en un material con una considerable capacidad portante. También aquí el aire encerrado se encarga de producir un efecto aislante, no el material de que está compuesta la propia paja. El desarrollo de las prensas de pacas de paja comenzó en torno a 1800 en Estados Unidos. En regiones donde se cultivaba mucho cereal y los campos segados se cubrieron enseguida de enormes pacas, se necesitó sólo una mínima fantasía para utilizar estos "ladrillos" como material constructivo de alojamientos provisionales. Se demostró que estas construcciones efímeras sobrevivían sin daños el tiempo de duración previsto (incluso a pesar de los meses de invierno y de verano de Nebraska, con un clima extremo)



1 Plantillas horizontales de madera, colocadas y sujetas firmemente con ayuda de un andamio



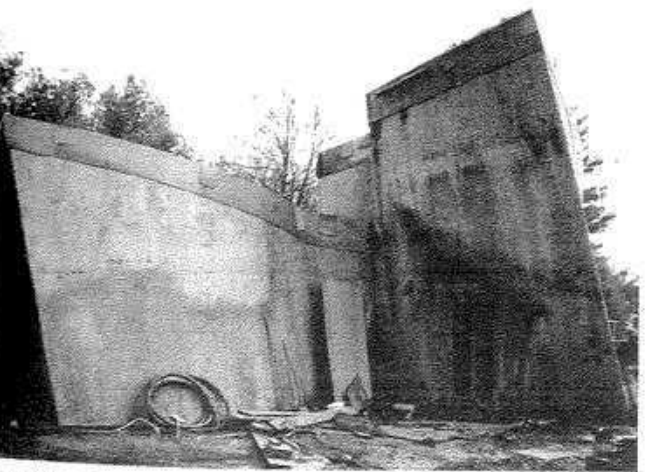
2 Paneles de espuma rígida colocados sobre el lado izquierdo de la casa



3 Ensamblaje acabado de los paneles de espuma rígida



4 El recorte del gran hueco de la entrada (se tuvo en cuenta la modificación respecto al estado que se observa en la imagen anterior). Los cantos están reforzados adicionalmente por medio de fierros de armado



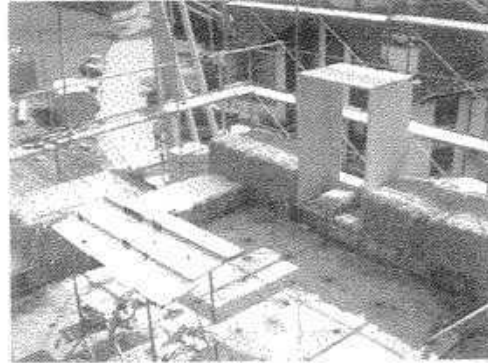
5 El edificio recubierto con la primera capa de hormigón



6 La Gate House limpia y preparada para ser pintada de color

Fig. 4: Proceso constructivo

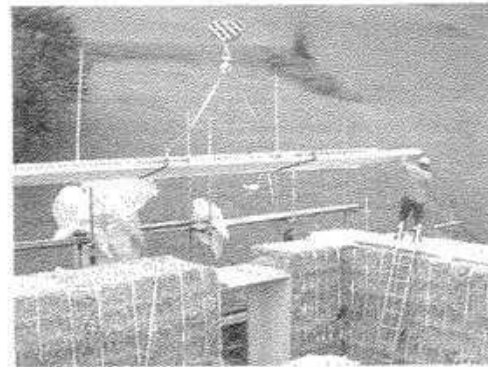
Philip Johnson: Gate House, New Canaan (Massachusetts), Estados Unidos, 1959



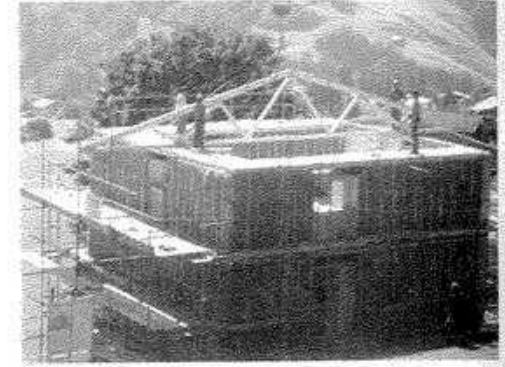
1 Intradoses para los huecos montados sobre cimentación de hormigón. Colocación de la primera hilera de pacas de paja



2 Trabajo de las pacas de paja para la formación del muro



3 Colocación de una capa intermedia de madera para apoyo del forjado y de los intradoses del primer piso. Se reconocen claramente las cuerdas verticales



4 Fachada en bruto casi concluida. Falta aún la capa protectora de revoco del muro

Fig. 5: Proceso constructivo
Werner Schmidt: casa Tscheppa, Disentis, Suiza, 2002



Fig. 6: Edificación construida con pacas de paja
Casa Simonton, Pundum (Nebraska), Estados Unidos, 1908

y que en su interior imperaba una temperatura agradable durante todo el año.

Con el objetivo de alcanzar la meta de una arquitectura sostenible, Werner Schmidt retoma esta vieja estrategia ejemplarmente en la casa Tscheppa en Disentis, en la región suiza de Los Grisones. Para evitar los problemas de humedad, se coloca una cimentación de hormigón que sirva de apoyo a las pacas de paja y a los intradoses de madera de los huecos. Las pacas de paja se traban como si fueran ladrillos. Durante el corto proceso de obra se amarran una tras otra con ayuda de cuerdas verticales. La paja puede compactarse fuertemente y alcanzar una estabilidad que hace incluso posible erigir

un edificio de dos plantas. Capas intermedias de madera sirven de apoyo a los forjados y los intradoses de los huecos del segundo piso. Cuando la paja se ha asentado definitivamente, la fachada puede revocarse para protegerla de las inclemencias climatológicas. Las casas que se derivan de este sistema constructivo tienen muros de un metro de grosor, como si el cerramiento de paja resolviera con gran naturalidad el dilema planteado por la crisis energética. Lo que se planteó como un experimento ecológico, podría conducir, desde el punto de vista arquitectónico, a una nueva "plasticidad barroca": el juego ha comenzado.

Bibliografía

- Semper, Gottfried, *Der Stil in den technischen und tektonischen Künsten* (dos tomos), Verlag für Kunst und Wissenschaft, Frankfurt, 1860-1863.
- Steinmann, Martin, *Die Unterwiese von Madonna*, conferencia de 1996 publicada en el marco de los premios Alcopar 2000.
- Jakobson, Roman, *Questions de poétique*, Editions du Seuil, Paris, 1973.
- Kipnis, Jeffrey, *Philip Johnson* (Architectural Monographs, 44), Academy Editions, Londres, 1996.
- Gruber, Herbert y Astrid, *Bauen mit Stroh*, Ökobuch, Staufem 2000.
- "Im Stroh schlafen", en *Die Südschweiz*, 27 de noviembre de 2002, pag. 19.

Aislamiento térmico transparente

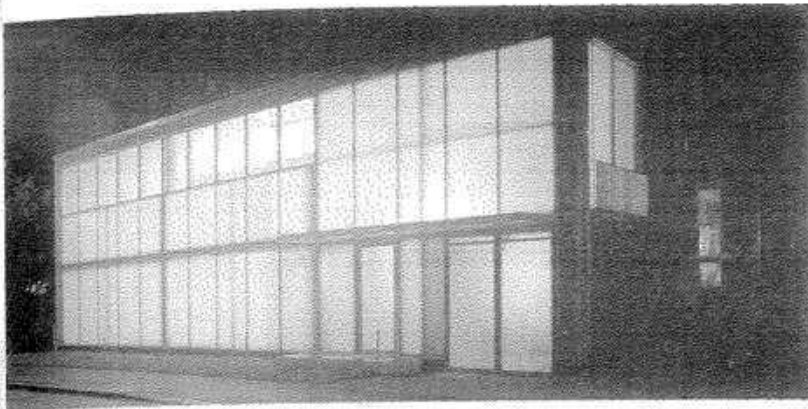
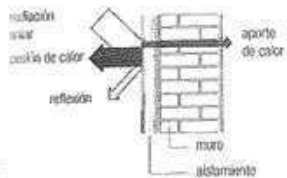


Fig. 7: Envolvente reflectante
Betrich-Schwarz, casa en Domat/Emis, Suiza, 1996



Aislamiento térmico habitual

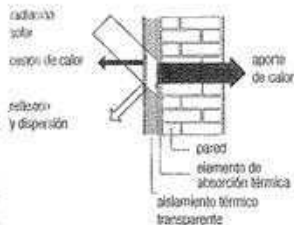


Fig. 8: Aislamiento térmico transparente TWD

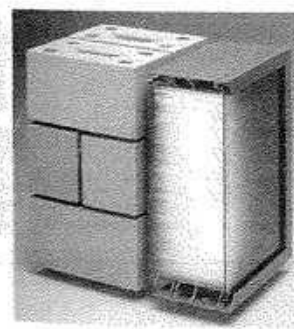


Fig. 9: Composición de un muro con aislante térmico transparente TWD

Determinación del concepto

El aislamiento térmico transparente funciona sólo en combinación con el vidrio, que le sirve como protección frente a la intemperie y, por su transparencia, permite la entrada de la luz natural. En el interior la luz se transforma en calor y supone un aporte para el calentamiento del espacio. Además, el aislamiento transparente disminuye la pérdida de calor desde el interior al exterior y actúa como aislante térmico. A diferencia de la mayor parte de materiales aislantes (alojados en el interior del muro), a menudo este material es visible desde el exterior, detrás del vidrio. Los elementos aislantes transparentes permiten también el paso de las radiaciones no visibles del espectro solar.

Composición constructiva (desde fuera hacia dentro)

- capa exterior protectora de vidrio,
- capa aislante de paneles de aislamiento térmico transparente (estructura de pequeños tubos alveolares, compacta y de plástico transparente),
- capa protectora de vidrio o capa portante maciza (por ejemplo, absorbente).

Principios funcionales

En el desarrollo de las posibles aplicaciones del aislante transparente se han cristalizado tres tipos básicos funcionales, según el uso que hacen de la energía solar:

Sistema de aporte térmico directo

El aislamiento térmico transparente se coloca como envoltura sin que exista pared alguna situada detrás. Se asemeja, por tanto, a un elemento de ventana o a una fachada de vidrio que dejan pasar la luz pero que no es

totalmente transparente. La luz solar entra directamente en el espacio interior a través del aislante térmico transparente, y allí se transforma en calor. La temperatura interior se transforma casi al mismo tiempo que la de las superficies interiores, por lo que en verano debe preverse un sistema móvil o estático de protección que evite el sobrecalentamiento de los espacios interiores.

Pared solar

En los sistemas de paredes solares, la radiación solar se transforma en calor en el lado exterior del muro. Obligada por el efecto producido por el aislante térmico transparente, la energía térmica fluye a través de la sección de la pared, por el lado interior del muro, y desde allí irradia al espacio interior. La temperatura interior oscila en función de las fases de irradiación producidas. Éstas están determinadas por el material y el grosor de la pared acumuladora.

Sistema térmico combinado

En los sistemas térmicos combinados, la radiación solar se transforma en calor en una superficie de absorción térmica, aislada del espacio interior. El calor solar se lleva directamente al interior por medio de una canalización o se almacena en un acumulador de calor. Este acumulador puede ser un elemento constructivo (por ejemplo, un forjado hueco o un muro de dos hojas). También puede formar parte de las instalaciones técnicas del edificio (es el caso, por ejemplo, de los depósitos de agua o de cantos rodados). La cesión de calor al interior se puede regular en acumuladores térmicos aislados, con independencia de la temperatura del elemento de absorción o de la del acumulador.

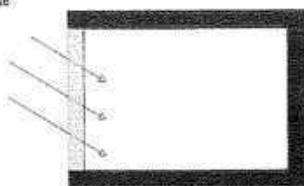


Fig. 10: Sistema de aporte térmico directo

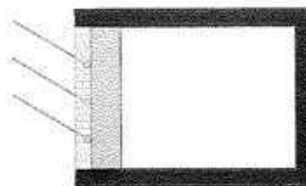


Fig. 11: Muro solar

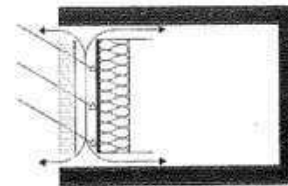


Fig. 12: Sistema térmico combinado

Materiales aislantes térmicos...

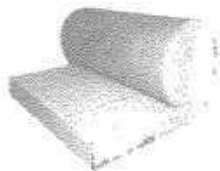


Fig. 13: Lana de vidrio



Fig. 14: Vidrio celular



Fig. 15: Poliestireno extruido (XPS)



Fig. 16: Fibra de madera



Fig. 17: Lana mineral



Fig. 18: Poliestireno expandido (EPS)



Fig. 19: Espuma rígida



Fig. 20: Fibra de celulosa

	Material aislante	Marcas de productos habituales	Descripción	Índice de resistencia a la difusión [–] (* juntas pegadas)	Coeficiente de transmisión de calor [W/mK]		
					0,06	0,09	0,12
materiales sintéticos inorgánicos	Lana de vidrio-fibra mineral	Isover	paneles amarillos	índice de difusión ($\mu = 1$)	████		
	Lana mineral-fibra mineral	Flumroc, Rockwool	paneles gris verdoso	índice de difusión ($\mu = 1-2$)	████		
	Vidrio celular	Foamglas	paneles negros rígidos	estanco al vapor ($\mu = \infty$)	██		
materiales naturales inorgánicos	Arcilla expandida	Leca	placas marrones			████████████████	
materiales sintéticos orgánicos	Poliestireno expandido (EPS)	Styropor (BASF)	paneles blancos granulados	estanco al vapor* ($\mu = 40-100$)	██		
	Poliestireno extruido (XPS)	Styrofoam	paneles azul claro	estanco al vapor* ($\mu = 80-250$)	██		
	Espuma rígida de poliuretano	Swisspor	paneles amarillentos	estanco al vapor* ($\mu = 60-80$)	██		
	Espuma rígida de poliuretano aplicada in situ		espuma amarilla		██		
materiales naturales orgánicos	Fibra de madera	Pavatex	paneles marrones de fibra	índice de difusión ($\mu = 5$)	████		
	Lana de madera aglomerada con cemento	Heraklith, Schlichtex	"paneles-espaguete"	índice de difusión ($\mu = 2-7$)		████████████████	
	Fibra de celulosa	Isofloc	borras de papel de periódico (por lo general)	índice de difusión ($\mu = 1-2$)	██		
	Lana de oveja	doscha, isolana	esteras, lanas, fieltros, sueltos	índice de difusión ($\mu = 1-2$)	██████████		
	Lino, cáñamo	Flachshaus	paneles, estereras, sueltos	índice de difusión ($\mu = 1$)	██████████		
	Corcho		paneles marrones granulados	índice de difusión ($\mu = 2-8$)	██		

Fig. 21: Compendio de materiales aislantes

... y sus posibilidades

Precio	Observaciones									
bajo	las fibras de menor tamaño pueden penetrar en los pulmones	████	████	████					████	████
bajo	las fibras de menor tamaño pueden penetrar en los pulmones	████	████	████					████	████
alto	posibilidad de reciclaje como escoria para viales, o materia prima como vidrio reciclado	████		████	████	████	████			████
	material aislante no combustible	capa								
bajo	no se descompone, se vuelve frágil bajo el efecto de la radiación UVA, posibilidad de reelaboración mecánica	████		████				████	████	████
medio - alto	no se descompone, se vuelve frágil bajo el efecto de la radiación UVA, posibilidad de reelaboración mecánica	████		████						
medio - alto	el polvo producido al trabajar el material no debe ser respirado, no es estable a la radiación UVA	████		████	████				████	████
		████		████	████				████	████
medio	polvo nocivo al aserrarlo, es posible la reutilización de los paneles	████	████	████					████	████
medio	fijación con clavos, tacos, mortero: sirve de soporte para revocos, revestimientos cerámicos o paneles de cartón yeso	████		████				████	████	
bajo	procedimiento de vertido o soplado	████	████							
medio - alto	catalizador de formaldehidos, por ello es recomendable para la higiene ambiental, fácilmente reutilizable	████	████							████
bajo - alto	fácilmente reutilizable (salvo en placas de fachada).	████	████							████
bajo - alto	Las placas aislantes de la fachada pueden obtenerse comercialmente	████		████						████
bajo - alto	hay que tener en cuenta su olor característico al emplearlo en interiores	████		████	████					████
		Aislamiento térmico, no resistente a esfuerzos de compresión, por ejemplo, para paredes, forjados y cubiertas verticales								
		Aislamiento térmico, no resistente a esfuerzos de compresión, por ejemplo, para colocar entre vigas y cabrios								
		Aislamiento térmico, resistente a esfuerzos de compresión, por ejemplo, como encofrado perdido, en general para pavimentos y cubiertas								
		Aislamiento térmico especialmente resistente a esfuerzos de compresión, por ejemplo, para suelos industriales								
		Aislamiento térmico de alta resistencia frente a esfuerzos de compresión, bajo suelos con los esfuerzos de compresión repartidos, por ejemplo, en cubiertas con tránsito de camiones								
		Aislamiento térmico resistente a esfuerzos de flexión, por ejemplo, revestimiento de construcciones ligeras sometidas a la acción del viento								
		Aislamiento térmico resistente al resquebrajamiento, por ejemplo, para fachadas con revocos de compresión mineral								
		Materiales aislantes contra el ruido de impacto								
		Materiales aislantes contra el ruido de impacto, adecuados también para pavimentos sometidos a pequeños esfuerzos de compresión								

Fuente: Reyer, E.; Schild, K., y Völker, S., *Kompendium der Dämmstoffe*, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2000.

Sistemas de aislamiento térmico

Compendio

Sistemas complementarios

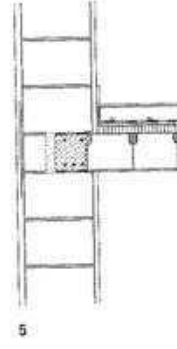
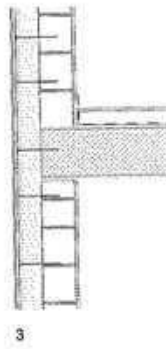
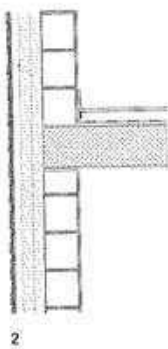
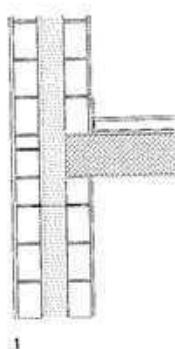
Un rasgo característico de los sistemas complementarios es la diferenciación jerárquica de funciones de los componentes monofuncionales. Según el principio de la estratificación por capas, la envoltura del edificio asume las funciones de soportar, aislar y proteger, repartidas entre cada una de ellas con un desarrollo continuo. El denominado esquema de capas sirve como instrumento para analizar constructivamente una obra y para determinar los detalles concretos.

Según la posición de los elementos estáticos respecto a la capa aislante, entre los sistemas complementarios se diferencian dos principios constructivos:

Capa portante interior

- sistema constructivo de dos hojas en un muro de fábrica y/o de hormigón (1),
- sistema constructivo con cámara de aire ventilada, con un revestimiento ligero o pesado (2),
- aislamiento térmico exterior con revoco (3).

Fig. 22



Capa portante exterior

- hormigón visto exterior, unido monolíticamente al forjado o separado de él con un aislante (4),
- muro exterior de fábrica visto,
- construcción trabada con aislamiento interior.

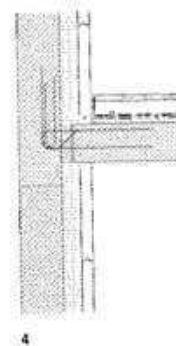
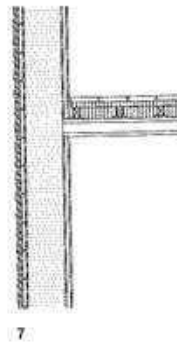
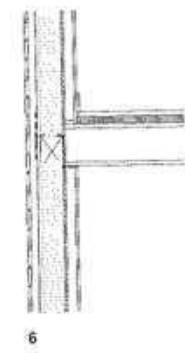


Fig. 23

Sistemas sándwich

- sistema constructivo de entramado de madera (6),
- sistema constructivo de paneles armados de madera (7).



Vidrio, cristalino, amorfo

Tibor Joanelly

El vidrio es transparente, rígido y de gran valor. Estas propiedades dificultan la valoración de un material que, si se lo contempla correctamente, se sustrae a una exacta descripción física y fenomenológica. Y es precisamente en esta reconocible dificultad donde radica la fascinación específica que despierta.

El hecho de que, frente al resto de los materiales, podamos ver a través del vidrio, lo hace excepcional y valioso. Cuando hablamos del vidrio pensamos por lo general en el que está fabricado industrialmente y se utiliza como contenedor o cierre espacial. Se ignora que el vidrio celular, por ejemplo, pierde su transparencia en el proceso de producción (y con ello su carácter de material cristalino), pero fabricado en grandes cantidades, o mejor dicho, reciclado, sigue siendo vidrio. Algo parecido sucede con la fibra de vidrio: este material, desarrollado para la transmisión de la luz y de información, no se corresponde apenas con la idea general que se tiene de él.

Las exigencias técnicas específicas han llevado a la obtención de una gran variedad de productos de vidrio. La palabra vidrio describe pues un estado físico más que un material definido por una clara configuración molecular. En consecuencia, debería hablarse principalmente de lo que se entiende según la acepción extensiva del término y de aquello que puede ser de interés arquitectónico.

La utilización del vidrio como material de construcción es relativamente reciente, si tenemos en cuenta que su historia se remonta a hace casi 5.000 años. Sólo a partir del invento de la pipa de soplador, en tiempos de los romanos, fue posible también la existencia de una tecnología y la utilización del vidrio como cierre espacial en forma de pequeños paneles unidos entre sí. Desde entonces, el vidrio se trabaja básicamente de dos maneras distintas. En la actualidad, el más moderno de los vidrios planos basa su fabricación en el estiramiento de una masa de vidrio. Tanto en la antigua técnica del soplado con pipa como en el actual y habitual aplanamiento del cristal sobre una masa de estaño, la fuerza de la gravedad es el factor decisivo que contribuye a conformar el material. El vidrio se estira como una masa y adquiere forma.

Esta tecnología se contraponen a la elaboración arcaica del material. Durante milenios la blanda masa de vidrio, obtenida sólo en pequeñas cantidades, se prensaba para darle forma o se vertía en moldes. Para fabricar objetos huecos se introducía un volumen con arena en el molde, y se sacaba raspando tras el enfriamiento de la masa. El prensado o vertido sigue empleándose en la actualidad para fabricar la mayor parte de los recipientes de vidrio. También los bloques de vidrio o pavés (importantes para el desarrollo de la arquitectura moderna) y los vasos prismáticos se obtienen por este procedimiento.

Parece sorprendente que la elaboración de productos de vidrio con tanta variedad formal se apoye en la misma estructura del material: desde el punto de vista físico, el

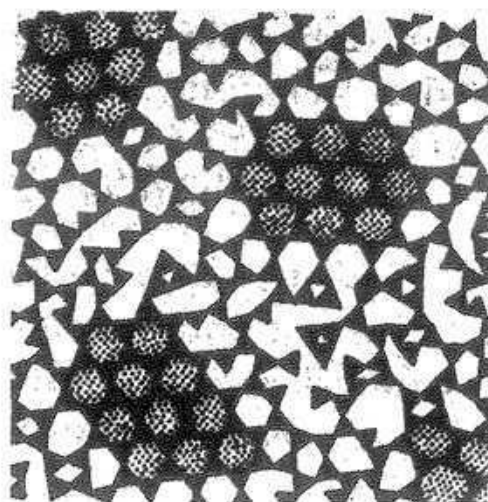


Fig. 2: Cristalino, amorfo: estructura microscópica del vidrio

vidrio se encuentra en estado denso, sólido, pero, sin embargo, su estructura es amorfa y, por tanto, no está cristalizada. Se trata pues de una "fluidez solidificada". Desde el punto de vista molecular no se puede hablar de una trama cristalina coherente, ya que en su estructura se alternan grupos de moléculas cristalizadas y no cristalizadas. Si fuera necesario determinar el carácter del vidrio, podría asegurarse finalmente que posee un doble significado. Esta duplicidad determina también su presencia en nuestro entorno construido.

De la tierra, en el fuego

En su estado amorfo, el vidrio nos muestra inmediatamente su origen. Los componentes esenciales del vidrio son la arena de cuarzo, la cal y la soda o potasio. La presencia natural de la arena de cuarzo nos induce a pensar en un descubrimiento casual; seguramente los componentes básicos coincidieron en el fuego de un hogar y condujeron a descubrir un fenómeno tan valioso. El vidrio nació de la tierra gracias al fuego.

En la capilla de peregrinación en Locherboden, el artista Helmut Federle, junto con Gerold Wiederin, ha creado una obra en la que, junto a su significación religiosa, el tema esencial es el vidrio. Herzog & de Meuron, en un texto incluido en la monografía dedicada a este edificio, describen los rudos y llamativos fragmentos de vidrio en el nicho de la pared posterior, como "vidrio en su estado original; los elementos de vidrio iluminan en todos los colores: naranja, verde, violeta, blanco y azul. Cada pieza produce un efecto por sí mismo como cuerpo luminoso. Se trata de piezas pesadas, apoyadas unas sobre otras, no de hojas ligeras como las transparentes, diáfnas e inmateriales vidrieras góticas. La luz que surge aquí es oscura y pesada, como si procediera de las entrañas de la tierra, de una cueva o de la galería de una mina. Luz, luz ardiente desde luego, pero queda retenida con una enorme energía..."

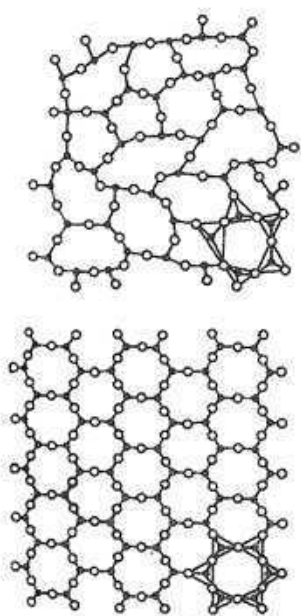
Fig. 1: Vidrio como material líquido en estado sólido. Representación plana del $[\text{SiO}_2]_n$, tetraedro del cristal de silicio (arriba) y del cristal del roca (abajo)



Fig. 3: Fragmentos de vidrio de colores, como cristal en su estado "primitivo". Gerold Wiederin y Helmut Federle: capilla de peregrinación en Locherboden, Austria, 1996.

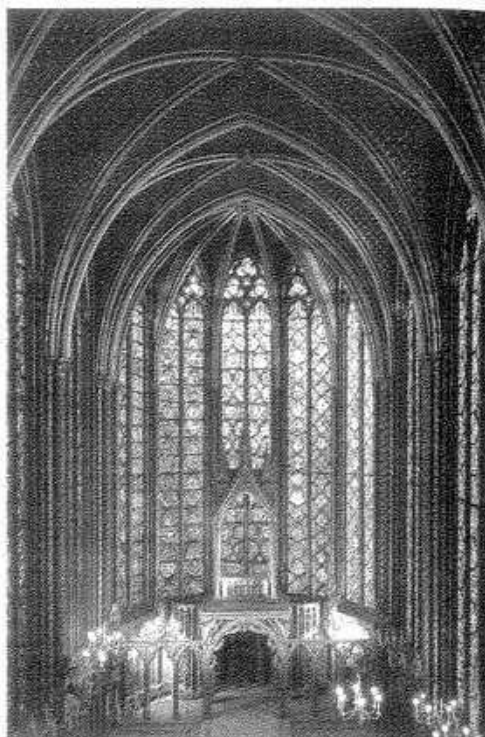


Fig. 5: Aplicación arquitectónica del vidrio. Pierre de Montreuil (supuesto autor): Sainte-Chapelle, París, Francia, consagrada en 1246.

Los expresionistas de comienzos del siglo xx (que festejaron eufóricamente su proclividad hacia un nuevo material) prometían, con su referencia figurativa a la montaña de cristal, una arquitectura integral derivada a su vez de la referencia figurativa a la catedral gótica: el vidrio como material primigenio que hace posible materializar la luz de una nueva y naciente época.

Las catedrales góticas deben elevarse figurativamente desde la tierra hasta Dios, y en este proceso se hace evidente la aplicación "arquitectónica" del material. Las estructuras verticales de piedra caliza se reducen al mínimo y las vidrieras producen el efecto de un delicado trasunto en vidrio de la tracería que las comprende. La luz que penetra, tamizada a través de las capas multicolores de vidrio, da la impresión de materializarse, mientras que los arcos apuntados de la estructura de piedra se disuelven casi a contraluz.

Reticulas de vidrio, reflejos

El empleo del vidrio en las tracerías góticas supuso además un adelanto técnico enorme. Fue necesario fabricar más vidrio que nunca, y mediante la nueva técnica del emplomado, insertar las hojas de vidrio suspendiéndolas conjuntamente. Por vez primera, un material costoso, utilizado hasta entonces principalmente para la decoración, cobró carta de naturaleza como auténtico material de construcción. Las grandes vidrieras muestran el vidrio también como "material complementario" que produce el

efecto de ser la imagen contrapuesta y materializada de la pared o del muro macizo. Esto nos acerca a la sospecha de que el vidrio, como cualquier otro material, está sometido a leyes tectónicas. En todo caso, la típica relación tectónica existente para la mayoría de los materiales entre el flujo de fuerzas interior y la conformación exterior, no puede constatarse análogamente en el caso del vidrio, pues éste claramente muestra a priori su vida interior. O, como dice Carl Bötticher, "la forma artificial es su forma esencial", lo que no quiere decir otra cosa que, por mucho que el vidrio asuma cualquier forma, ésta no puede entrar en contradicción con su propio carácter. Cualquier intento de entender el vidrio en términos tectónicos, adquiere un sentido metafórico.

Puesto que el vidrio es muy frágil, por su composición de finas y microscópicas partículas superficiales, y apenas puede absorber esfuerzos a tracción, hasta la invención del vidrio pretensado (Securit) después de la I Guerra Mundial, tan sólo era imaginable emplearlo para el acristalamiento de huecos. Una excepción son los Invernaderos del siglo xix, donde el vidrio, unido a la estructura de acero, proporciona una consistencia "sintética". Otro avance determinante en el siglo xx fue la posibilidad de obtener superficies de vidrio cada vez de mayor tamaño: primero vidrio plano de fabricación mecánica y después, a partir de la década de 1950, vidrio flotado, lo que conllevó también el interés por los grandes formatos. El vidrio se colocó de una forma "casi estructural", principalmente



Fig. 4: Expresionismo. Bruno Taut: pabellón de vidrio, Exposición del Deutsche Werkbund, Colonia, Alemania, 1914.

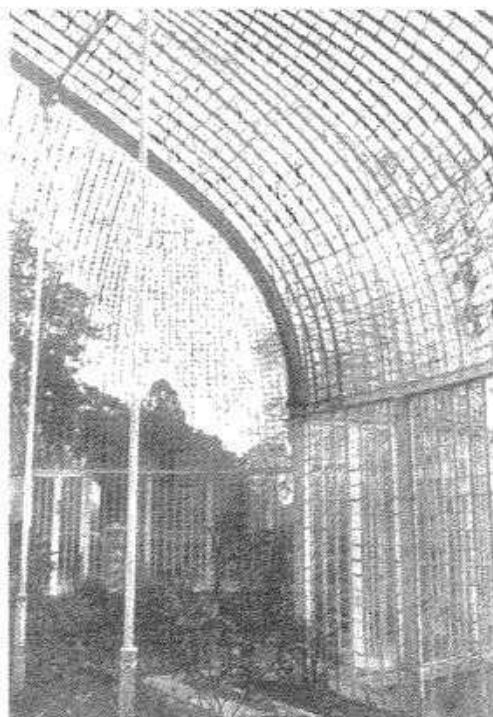


Fig. 6: Piel sintética
Invernadero en el jardín de Bliton, Budleigh Salterton, Reino Unido, hacia 1843

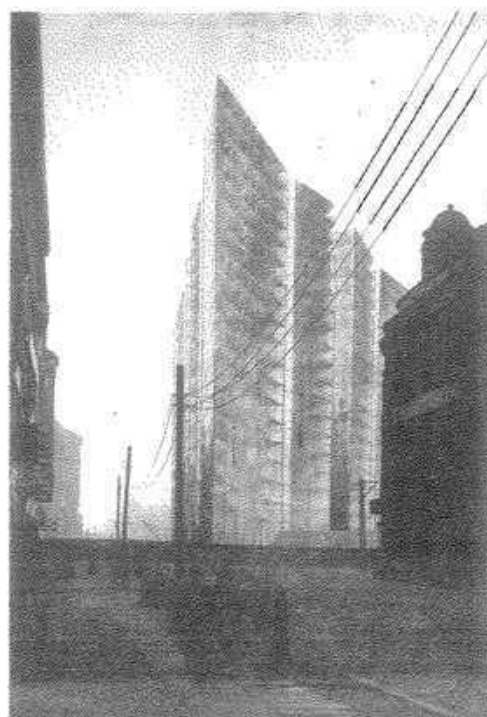


Fig. 7: Volumen, juegos de las superficies
Mies van der Rohe: proyecto de rascacielos en Friedrichstrasse, Berlín, Alemania, 1919

para formar grandes superficies de fachada. Una consecuencia del aumento de la colocación de vidrio fue que comenzase a disolverse el volumen arquitectónico de carácter macizo y que los edificios pudieran envolverse en una piel delgada y transparente. La arquitectura se renovaba con el juego irisado de sus superficies envolventes.

Pronto se vio la posibilidad de realizar incluso una fachada vidriada con elementos de vidrio que le diesen consistencia. En Italia, las grandes superficies de vidrio pasaron a ser una de las formas de expresión favoritas de la arquitectura moderna. De este modo, como por casualidad, surgió un lenguaje arquitectónico que obedecía a metáforas tectónicas. Con su proyecto para el Danteum en Roma, Giuseppe Terragni creó un ideal arquitectónico hasta ahora no realizado: "los pilares en la sala del Paraíso son de vidrio y soportan una trama de vigas cristalinas donde tan sólo se refleja el cielo..."

En este proyecto se revela una cualidad que distingue al vidrio de los demás materiales: además de poder ver a través de él, en su superficie se refleja el mundo, o bien la superficie se retranquea respecto al propio volumen arquitectónico y el material despierta (a pesar de su transparencia) la impresión de una profundidad misteriosa. Ambos fenómenos hacen que el vidrio aparezca como un material sin atributos.

Ciencia ficción

El edificio de vidrio soñado por Terragni (una casa de vidrio) sería hoy realizable desde el punto de vista técnico. El vidrio ya no es sólo un material para las ventanas, sino que cada vez más puede también codificarse técnicamente en función de las exigencias planteadas. Probablemente, dentro de poco el vidrio alcanzará tal resistencia (tanto por medio del empleo de láminas aislantes como de procesos cerámicos) que las partes estructurales básicas de un edificio podrán ser transparentes. Desde la década de 1950 esta idea ya se formuló y se realizó a la escala de un pabellón. Si se tiene en cuenta que la tecnología de fachadas se ha planteado metas similares, nada parece oponerse ya a la realización de una casa construida enteramente con vidrio. En este sentido, la sublimación de la envolvente del edificio debe llegar a ser casi total: en este escenario de futuro será posible garantizar todas las funciones imaginables de una fachada mediante diferentes láminas colocadas en una sucesión de capas. Puesto que el vidrio puede conducir la luz, sería posible también concebir un edificio como un todo portador de información. Los límites entre el mundo virtual o mediático y nuestro entorno físico desaparecerían por completo.

Un edificio de vidrio, concebido totalmente como una construcción portadora de información mediática, podría proporcionar sensaciones a voluntad sobre el nervio óptico. El problema se ocultaría tras su superficie; como en la película *Matrix* (1999), viviríamos en un espacio virtual capaz de satisfacer todas nuestras necesidades aparen-

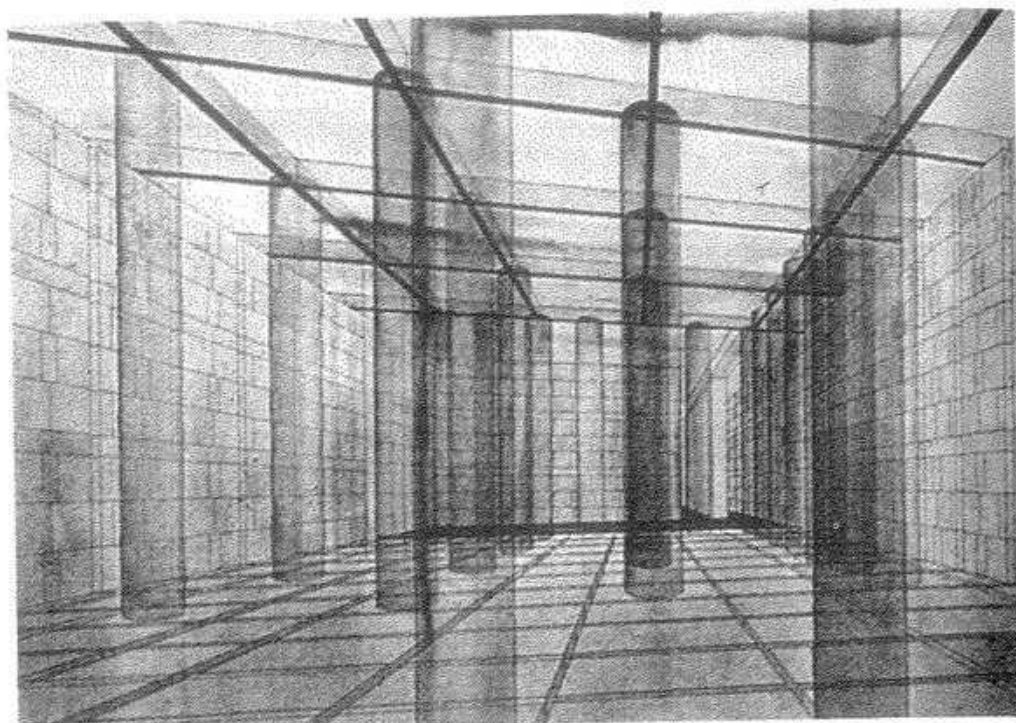


Fig. 8: Reticula desmaterializada
Giuseppe Terragni: Danteum, Roma, Italia, 1938-1940



Fig. 9: Pabellón
Edificio de vidrio Hahn, Fráncfort, Alemania, 1951

tes, incluso aunque nuestro entorno físico fuera deplorable. Si un edificio completamente de vidrio fuera "habitable" gracias al empleo de alfombras (lo que supondría un reto para nosotros, los arquitectos), se pervertiría la visión antes descrita de una arquitectura completamente mediática en sí misma. Ya no existiría arquitectura alguna, sino sólo diseño de atmósferas; determinadas láminas funcionarían como portadoras de información. De este modo sería imaginable una capa plástica de polímeros y sus correspondientes propiedades ópticas y electrónicas, aplicable sobre cualquier base deseada por medio de una cierta dosis de *spray*.

El futuro próximo

Quizás exista una nueva oportunidad para el pavés. El vidrio celular o la lana de vidrio se emplean hoy día ampliamente como materiales aislantes. Los modernos procesos de fabricación siguiendo procedimientos de lo más variado, permiten el diseño de elementos complejos a precios moderados (siempre y cuando se pueda resaltar un valor arquitectónico). ¿Por qué no debería entonces ser técnicamente posible realizar bloques "compuestos" que aislen y sean capaces de soportar cargas?

Bibliografía

- "In Glass", en *Architese*, junio de 1996.
- Behling, Sophia (ed.), *Glas, Konstruktion und Technologie in der Architektur*, Prestel, Munich, 2000.
- Hammi, Jan, *Tragverhalten von Holz und Holzwerkstoffen im statischen Verbund mit Glas*, tesis doctoral presentada en la EPFL de Lausana, en 2000.
- Knaack, Ulrich, *Konstruktiver Glasbau*, Rudolf Müller, Colonia, 1998.
- Kretschmer, Thomas, y Kohlhoff, Jürgen (eds.), *Neue Werkstoffe*, Springer, Berlin, 1995.
- Re, Elena, *Transparenza al limite: tecniche e linguaggi per un'architettura del vetro strutturale*, Alinea, Florencia, 1997.
- Spauszus, Sigmar, y Schnapp, Dieter, *Glas Allgemeinverständlich*, Fachbuchverlag, Leipzig, 1977.
- Stradmann, Nicola, y Kreschmann, Dieter (eds.), *Handbuch Material Technologie*, Avedion, Ludwigshurg, 2000.
- Völkner, Otto, *Bauen mit Glas*, J. Hoffmann, Stuttgart, 1948.
- Wiederlin, Gerold, y Federle, Helmut (eds.), *Nachkriegsarchitektur Locherboden*, Kunsthaus Bregenz, Bregenz, 1997.
- Wiggington, Michael, *Glas in architecture*, Phaidon, Londres, 1996.

El plástico

Roland Barthes

A pesar de sus nombres de pastor griego (Poliestireno, Fenoplasto, Polivinilo, Polietileno), el plástico, cuyos productos se acaban de concentrar en una exposición, es esencialmente una sustancia alquímica. En la entrada de las instalaciones, el público hace cola durante largo rato para ver cómo se realiza la operación mágica por excelencia: la conversión de la materia. Una máquina ideal, tubular y oblonga (forma apropiada para manifestar el secreto de un itinerario) extrae, sin ningún esfuerzo, cajitas brillantes y acanaladas de un montón de cristales verdosos. De un lado la materia bruta, telúrica, del otro el objeto perfecto, humano. Entre los dos extremos, nada; sólo un trayecto apenas controlado por un empleado con casco, semidiós, semirrobot.

De este modo, más que una sustancia, el plástico es la idea misma de su transformación infinita: es, como su nombre vulgar indica, la ubicuidad hecha visible. En esto radica, justamente, su calidad de materia milagrosa: el milagro siempre se muestra como una conversión brusca de la naturaleza. El plástico queda impregnado de este asombro; es más la huella que el objeto de un movimiento.

Y como el movimiento, en este caso, es poco menos que infinito, al transformar los cristales originales en una multitud de objetos cada vez más sorprendentes, el plástico resulta un espectáculo que debe descifrarse: el espectáculo de sus resultados. Ante cada forma terminal (maleta, cepillo, carrocería de automóvil, juguete, tela, tubo, palangana o papel), el espíritu no deja de imaginar la materia primitiva como un jeroglífico. El fregolismo del plástico es total: puede formar cubos tanto como alhajas. Esta es la razón del perpetuo asombro, las ilusiones del hombre ante las proliferaciones de la materia, ante las relaciones que descubre entre lo singular del origen y lo plural de los efectos. Por otra parte, este asombro es feliz, pues el hombre mide su potencia en la amplitud de las transformaciones, y el itinerario mismo del plástico le brinda la euforia de un deslizamiento prodigioso a lo largo de la naturaleza.

Pero la contraparte por este logro reside en que el plástico, sublimado como movimiento, casi no existe como sustancia. Su constitución es negativa; ni duro ni profundo, debe contentarse, a pesar de sus ventajas utilitarias, con una cualidad sustancial y neutra: *la resistencia*, estado que supone el simple suspenso de una renuncia. En el orden poético de las grandes sustancias, es un material desafortunado, perdido entre la efusión de los cauchos y la dureza plana del metal; no se realiza en ningún producto auténtico del orden mineral, ni espuma, ni fibras, ni estratos. Es una sustancia elusiva: en cualquier estado que se encuentre, el plástico mantiene cierta apariencias de copo, de algo turbio, cremoso, coagulado; muestra una total impotencia para alcanzar el pulido triunfante de la naturaleza. Pero lo que más traiciona al plástico es el sonido que emite, hueco y opaco a la vez; su ruido lo derrota, tanto como sus colores, pues sólo

tiene los más químicos: del amarillo, del rojo y del verde no retiene más que el estado agresivo. Usa los colores como si fueran apenas nombres, capaces sólo de mostrar conceptos de colores.

La moda del plástico señala una evolución en el mito de *la imitación*. Como se sabe, la *imitación* constituye un uso burgués (los primeros postizos vestimentarios datan del advenimiento del capitalismo). Pero hasta el presente, la *imitación* siempre ha sugerido pretensión, ha formado parte de un mundo del parecer y no del uso; ha apuntado a reproducir con menores costos las sustancias más excepcionales, el diamante, la seda, la pluma, la piel, la plata, toda la brillantez lujosa del mundo. El plástico, por el contrario, es una sustancia doméstica. La primera materia mágica que consiente el prosaísmo; pero precisamente porque ese prosaísmo constituye una razón poderosa para existir: por primera vez, lo artificial tiende a lo común, no a lo exclusivo. Y en el mismo acto, la función ancestral de la naturaleza se modifica. Ya no se trata de reencontrar o imitar la idea, la pura sustancia; una materia artificial más fecunda que todos los yacimientos del mundo, va a reemplazarla, va a regir la invención de las formas. Un objeto lujoso siempre se vincula a la tierra, siempre recuerda en forma amanerada su origen mineral o animal, el tema de la naturaleza, del que no es más que una forma actual. El plástico está enteramente absorbido por su uso; al final, se inventarán objetos sólo por el placer de usarlo. La jerarquía de las sustancias ha quedado abolida; una sola las reemplaza a todas: el mundo entero *puede* ser plastificado. Y también la vida, ya que, según parece, se comienzan a fabricar aortas de plástico.

Barthes, Roland, *Mythologies*, Éditions du Seuil, Paris, 1957 (versión castellana: "El plástico", en *Mitologías*, Siglo XXI de España Editores, Madrid, 2008¹³, págs. 175-178).

Vidrio, el material constructivo diáfano

Sobre las contradicciones del vidrio

Christoph Elsenner

De todos los materiales empleados en la construcción, el vidrio es el más contradictorio. Por un lado, es un material sólido y duradero, pero, por otro, puede resultar extremadamente frágil y quebradizo: a veces es seguro como un acorazado, pero en ocasiones basta para romperlo con el impacto de una bola de nieve. El vidrio existe en una variedad de productos y calidades casi inabarcable. ¿Qué es en realidad el vidrio? ¿Qué se percibe al mirar a través del vidrio o contemplarlo? ¿Se trata tal vez de un material sin atributos, que únicamente adquiere carácter en contraposición a otros muchos materiales?

El mito de la transparencia

El vidrio es la promesa de la sociedad moderna: claro y puro, representa la limpieza y la transparencia, y la disolución de los pesados y oscuros muros de la vida que antecedió a la sociedad industrial. Luz y transparencia son aspectos que vinculan al vidrio con una sociedad sana, cuyos miembros pueden observarse mutuamente a través de los escaparates vidriados de las tiendas o las pantallas de televisión cristalinas. El vidrio se ha convertido en el símbolo de la sociedad abierta en la que aquellas cualidades del vidrio antes citadas —luz y transparencia— son copartícipes y observables en los procesos políticos y sinónimos de democracia. Sin embargo, el vidrio es cualquier otra cosa menos transparente, y la simbología de la transparencia asociada al mismo de manera precipitada es, en un examen atento, una conclusión equivocada, un error de base con graves consecuencias.

El vidrio no es transparente

Por lo general, cuando nos tropezamos con el vidrio en la arquitectura, no suele ser transparente, sino que aparece como una superficie brillante, reflectante e incluso, la mayoría de las veces, oscura. Las hojas de las ventanas en los huecos de los muros de los edificios urbanos constituyen planos ciegos donde el cielo se refleja con mayor o menor claridad. Las fachadas vidriadas surgidas tras la II Guerra Mundial son espejos muy brillantes que multiplican su entorno, y no aquellas envolturas invisibles y muy transparentes en las que presumiblemente se pensó y que fueron tan alabadas. No obstante, bajo determinadas condiciones, el vidrio es realmente transparente.

La percepción del vidrio

Al observar el vidrio, percibo lo que sucede detrás o delante de él; sorprendentemente, por regla general, el vidrio mismo no juega papel alguno. El vidrio es, pues, aquello que refleja su superficie o lo que aparece detrás. Reflexión y profundidad son los nombres de los dos polos del espectro perceptivo del vidrio. El vidrio es exactamente transparente en la medida en que aquello que está situado detrás de él es claro. A contraluz, el vidrio es transparente, pero parece tanto más opaco cuanto mayor es la oscuridad que reina detrás de él; el vidrio opaco refleja, como si se tratara de un espejo, la luz situada ante el mismo en su superficie lisa.

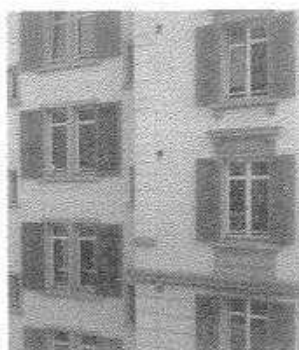


Fig. 10: Vidrio de ventana, en apariencia oscuro

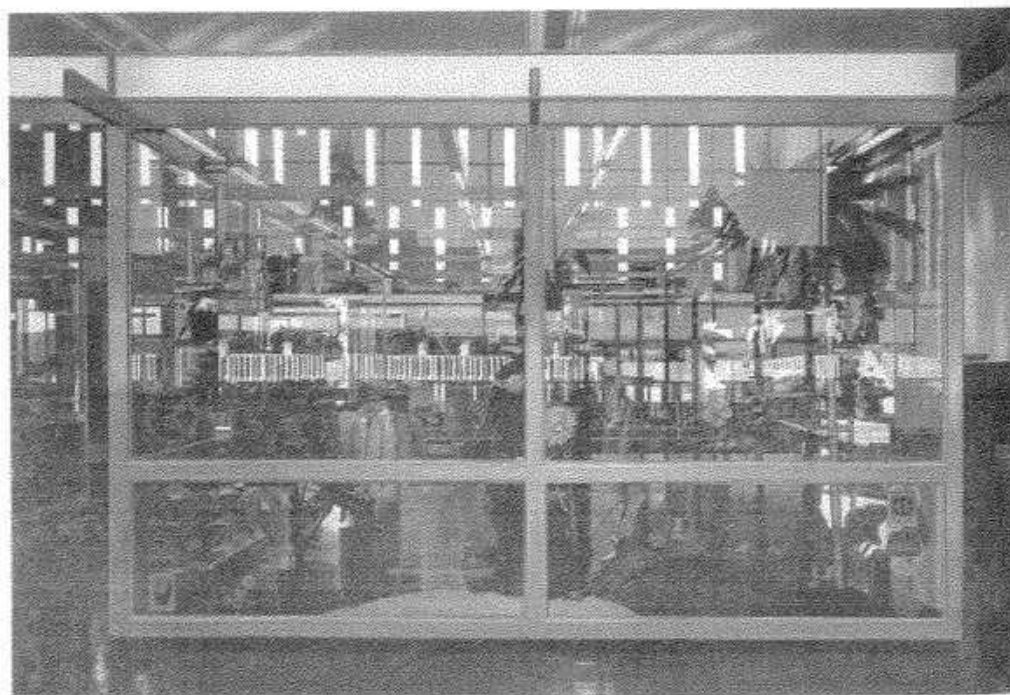


Fig. 11: Sobre la superficie de vidrio se confunden dos planos de imágenes
Richard Estes: *Telefónos*, 1974, óleo sobre lienzo, 91 x 132 cm

Reflejos

El vidrio es, en primer lugar, un material reflectante y, sólo en segundo término transparente. Sobre la superficie del vidrio se mezclan dos planos de imágenes: la del espacio reconocible tras la luna y la del reflejo del espacio situado delante. Ambas imágenes, fijadas sobre la superficie interior y exterior del vidrio, se superponen en una única, que es la que domina sobre la otra en función de la relación existente entre la luz interior y la exterior. Gracias a la focalización de la mirada y a nuestra experiencia visual, podemos percibir los dos planos de forma independiente, pero la superposición difumina los espacios anterior y posterior al vidrio, creando la única impresión de un espacio fluido y continuo. Dirigiendo la vista al movimiento moderno: ¿no se correspondería esta impenetrabilidad del vidrio, su distorsión del entorno, su disolución del espacio, antes que con la imagen de una modernidad compleja, con el ideal de una sociedad limpia, transparente y, por tanto, democrática? ¿Acaso no será el reflejo, y no la transparencia, el símbolo de una modernidad arquitectónica que alcanza su auténtico significado en la reflexión del espacio que desaparece y se disuelve?

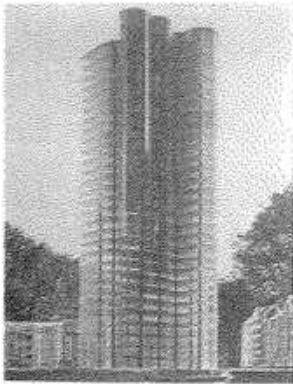


Fig. 12: Transparente bajo determinadas condiciones
Mies van der Rohe: rascacielos de vidrio (proyecto), emplazamiento desconocido, 1922. Fotografía de la maqueta

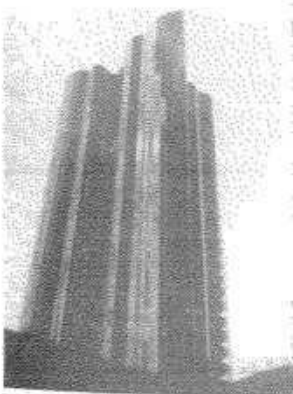


Fig. 13: Volumen oscuro con esquinas transparentes
Mies van der Rohe: estudio de reflexión en un rascacielos de vidrio, hacia 1922

Estudios de reflexión

En las maquetas del proyecto para un rascacielos de vidrio, Mies van der Rohe estudió las formas expresivas del vidrio y las documentó con fotografías. Con una vista relativamente horizontal sobre las fachadas de la maqueta, a través de sus plantas es posible ver el entorno, pues las fachadas de vidrio son transparentes y luminosas. Si el punto de vista se desplaza hacia abajo, la mirada se detiene en los techos en sombra que el edificio de vidrio oscurece, y la envoltura del mismo parece transparente sólo allí donde se alcanza a ver el cielo entre los forjados. En sus bellos estudios de los alzados y en sus famosas perspectivas para el proyecto de un rascacielos en Friedrichstrasse, un material transparente como el vidrio se representa irónicamente con trazos negros de lápiz y carbocillo.

Por lo general, el vidrio parece, pues, opaco y oscuro cuando se usa como material de fachada en edificios con plantas profundas. En casas con un único espacio, como la casa de vidrio de Philip Johnson, o la casa Farnsworth del propio Mies van der Rohe, el vidrio es transparente porque la profundidad del edificio y el espacio interior no subdividido permiten dirigir la mirada a su través, tanto hacia abajo como oblicuamente. Sin embargo, esto no significa que con el acristalamiento de plantas exiguas y de un único espacio se produzcan edificios transparentes. Varios son los factores que determinan esencialmente la apariencia de un edificio de vidrio, como su calidad, el sistema constructivo empleado en la fachada o el carácter de su protección solar.

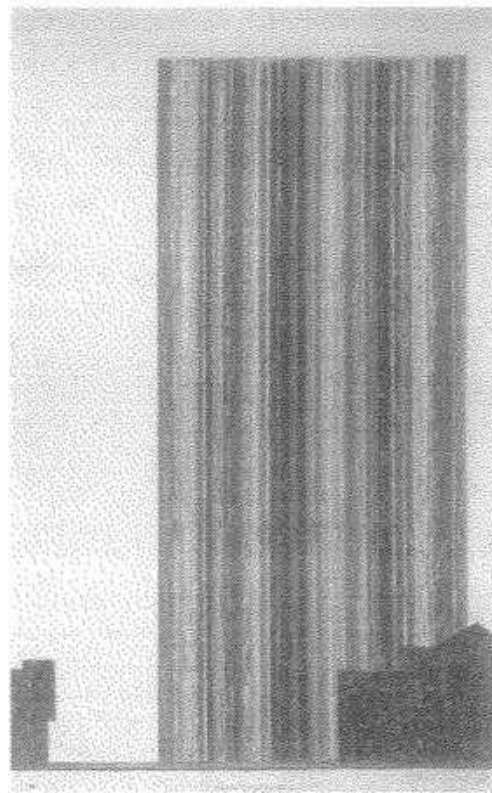


Fig. 14: El rascacielos de vidrio transparente representado con carbocillo opaco
Mies van der Rohe: estudio del alzado de un rascacielos de vidrio, carbocillo y lápiz sobre papel montado en cartón, 138,5 x 83,2 cm

Edificios opacos de vidrio

Con la constatación de que los edificios de vidrio no son automáticamente transparentes, es posible descubrir las numerosas y fascinantes cualidades "estéticas" del material. El vidrio de colores y su capacidad de reflexión son en gran medida privativos del carácter que poseen los edificios comerciales realizados entre la década de 1950 y la de 1970, como si fuera necesario compensar el desencanto producido por las opacas construcciones de vidrios anteriores a la II Guerra Mundial. El paradigma de la arquitectura moderna de vidrio de la posguerra, que se extendió por todo el mundo, es el edificio Lever en Nueva York, de Skidmore, Owings & Merrill (SOM), un cubo de dest-

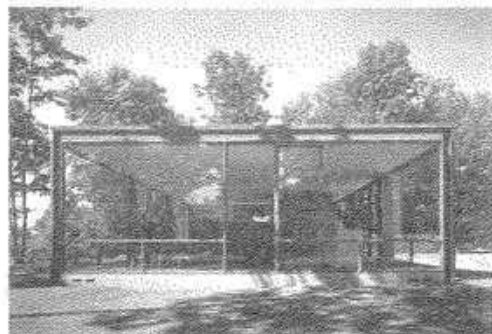


Fig. 15: Espacio transparente
Philip Johnson: casa de vidrio, New Canaan (Connecticut), Estados Unidos, 1949

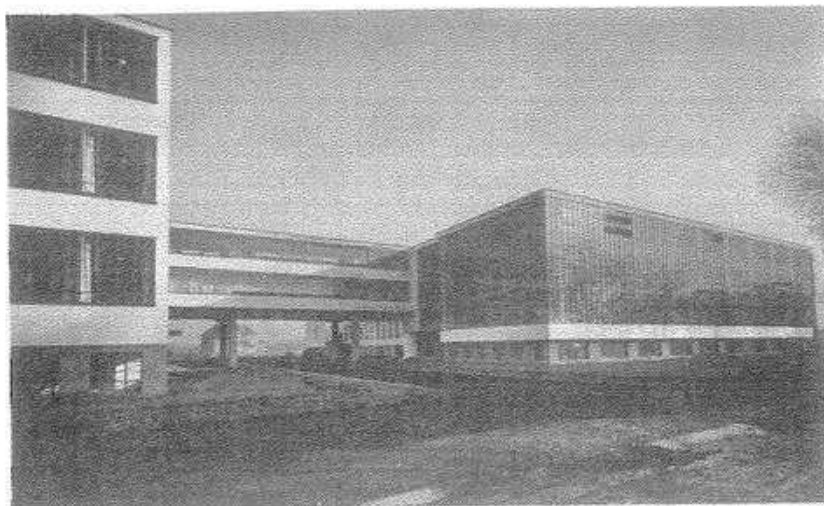


Fig. 16: El vidrio es, en primer lugar, reflectante, y a veces, en segundo lugar, transparente
Welter Gropius: edificio de la Bauhaus, Dessau, Alemania, 1925-1926



Fig. 17: Fachada reticulada de vidrio
Skidmore, Owings & Merrill (SOM): edificio Lever, Nueva York, Estados Unidos, 1952

llos verdosos donde se reflejan los edificios vecinos y cuya sección de fachada muestra antepechos opacos revestidos con vidrio de color. Este icono de una arquitectura de fachadas compuestas por una retícula de vidrio tiene ciertamente poco que ver con la maqueta del rascacielos transparente de Mies van der Rohe.

Brillo y valor

La tan extraordinaria superficie lisa del vidrio, cuyas profundidades son más pequeñas que la longitud de onda de la luz visible, le confiere su brillo. La fascinación por los materiales reflectantes encuentra su expresión en un sin fin de objetos: en el terso brillo de las joyas clásicas, en el profundo resplandor de las piedras naturales pulidas e incluso en el entusiasmo por el refulgente lacado de los automóviles actuales. Nos dejamos llevar con agrado por el brillo de las cosas, así como por la ciega luz que literalmente se encuentra detrás de ellas: el vidrio no es el costoso producto natural que parece, sino un sustituto industrial, y como las cuentas de vidrio de los conquistadores o los vidrios manufacturados en los escaparates de las joyerías, un oportuno sustituto de carácter semejante. Y aunque el brillo sea también real, tras él se esconde, como detrás de cada reflejo, el aura del engaño.

A pesar de todo, las fachadas de vidrio son sistemas constructivos caros o muy caros, y los paños de vidrio industriales no son más que una pequeña parte de ese costoso sistema. El denominado "brillo" de la arquitectura actual, entendida como inversión, promete, con la utilización del vidrio: una efusión de elegancia y nobleza que nunca palidece.

Vistas diurnas y nocturnas

Aunque los edificios de vidrio son predominantemente opacos durante el día, su interior se vuelve completamente visible en la oscuridad, al menos cuando la iluminación interior está encendida. Las vistas nocturnas, que

en los últimos años probablemente han ganado un excesivo terreno respecto al engañoso reflejo diurno del vidrio, compensan aquello que no es representable con la luz del día y muestran el interior de los edificios de vidrio de un modo casi impúdico, sin reservas. Así "opera" pues, el mito del edificio transparente de vidrio, aunque sea con presagios de signo contrario. El principio de que el vidrio sólo es transparente cuando hay claridad detrás de él y, en consecuencia, reflectante cuando hay oscuridad, tiene vigencia igualmente para los espacios interiores nocturnos, cuyos huecos acristalados se transforman interiormente en un espejo y ocultan la visión de aquellos por la noche. A medida que se apagan las luces, la percepción del entorno nocturno se hace cada vez más presente.

Vivir bajo el vidrio, experimentar desde dentro

La sensación de quedar expuesto a la vista que las fachadas de vidrio pueden provocar con la oscuridad en el interior de un espacio, exige medidas de protección visual. Esto tiene la ventaja, a su vez, de ocultar la reflexión nocturna, determinada tanto por el carácter del espacio interior como por la dimensión creciente de los huecos. La

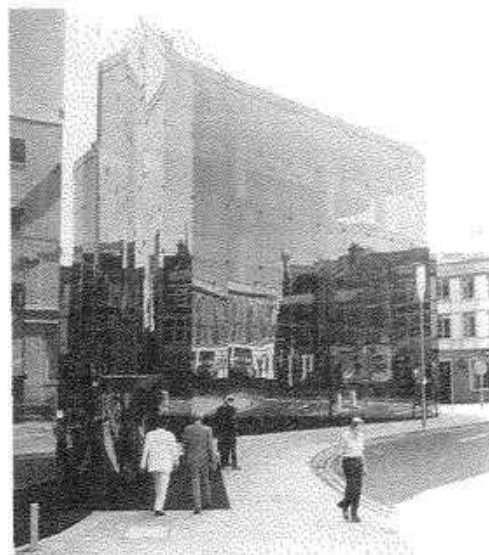


Fig. 18: Vista diurna de una fachada de vidrio
Norman Foster: edificio administrativo Willis Faber & Dumas, Ipswich, Reino Unido, 1971-1975



Fig. 19: Vista nocturna de una fachada de vidrio
Norman Foster: edificio administrativo Willis Faber & Dumas, Ipswich, Reino Unido, 1971-1975



Fig. 20: Reflexión nocturna del espacio interior, fotograma de la película *Lost in translation*
Sophia Coppola: *Lost in translation*, 2003

molesta constatación, a causa de la reflexión, de no poder determinar si alguien nos observa desde el exterior y cómo nos observa, o si sólo vemos nuestra propia imagen reflejada, se asemeja a una situación de interrogatorio donde la sala está provista de un espejo de una sola cara. En consecuencia, las cortinas y los estores surgieron en primer lugar como protección ante las miradas exteriores, no tanto como protección solar y térmica, ya que su uso en este sentido es limitado debido a que están colocados en el lado interior del vidrio.

La radicalidad del edificio completamente transparente se enfrenta a la necesidad humana de las posibilidades de recogimiento —vivir o trabajar—, aunque algo haya cambiado evidentemente en esta época de exhibicionismo televisivo y de viviendas unifamiliares completamente acristaladas. Incluso la casa de fin de semana para Edith Farnsworth, obra de Mies van der Rohe, no renuncia a las cortinas en la cara interior del vidrio, y crea, con la introducción de la madera en la cocina y en los cuartos de baño, ámbitos de distinta apertura.

El vidrio debe protegerse de sus propios atributos

Por tanto, el empleo del vidrio en la arquitectura es sólo eficaz cuando va acompañado simultáneamente de ciertas medidas. Que estas medidas cuestionen la motivación del uso del vidrio plantea otra contradicción fundamental: el vidrio debe protegerse de sus propios atributos. Además de la dificultad de controlar las manifestaciones de transparencia, el uso del vidrio comporta también un rendimiento energético que haría imposible una vida dependiente de él sin tomar las medidas apropiadas. Tales medidas conciernen tanto a la cualidad misma del vidrio (vidrios de protección térmica, solar y visual), como también a las distintas envolventes del edificio (protección solar fija y móvil) y, naturalmente, a las instalaciones téc-

nicas (sistemas de ventilación y de aire acondicionado). Estas medidas compensan las consecuencias energéticas del uso del vidrio, pero a costa de una gran inversión, y determinan en gran medida la arquitectura de sus edificios.

Otra desventaja "natural" del vidrio es su fragilidad. El vidrio puede romperse tanto por la acción de circunstancias exteriores como por tensiones internas ocultas. Para que el vidrio sea resistente a la rotura y no se rompa, son necesarios distintos procesos de control de forma continuada. El vidrio se endurece, se pretensa y/o, combinado con láminas, se pega para constituir un elemento constructivo, lo que a su vez puede modificar también sus propiedades desde un punto de vista estético. Procesos equivalentes pueden proporcionarle capacidad de resistencia al fuego. Estas medidas mejoran el vidrio y, en muchos casos, permiten emplearlo en la construcción (sólo gracias a la posibilidad de esos tratamientos adicionales), pero encarecen su coste. Una fachada de vidrio tratado con varios procedimientos, de acuerdo a las específicas necesidades que su construcción requiere, se convierte también en la solución más costosa posible.

La limpieza del vidrio constituye un factor económico que suele despreciarse y supone una de las desventajas de su utilización. Para conservar sus cualidades ópticas y estéticas, se requiere una limpieza regular. Observado a largo plazo, un vidrio con un buen mantenimiento resulta económico, puesto que su duración es casi eterna. Sin embargo, a corto plazo los costes de mantenimiento del edificio y de instalación de plataformas necesarias para la limpieza de las fachadas son decisivos. Los vidrios autolimpiables, ideados originalmente para mejorar la seguridad de los parabrisas, prometen ventajas en este sentido.



Fig. 21: Aprovechar las ventajas, evitar los inconvenientes
Trizado de vidrio con listones de madera como protección solar



Fig. 22: ¿Qué color tiene el vidrio?
Bordes negros de vidrio en las lunas
de un automóvil

Los diferentes procesos de elaboración y tratamiento del vidrio limitan sensiblemente su durabilidad: cuanto más determinada está por un tercer material, tanto más depende su duración del mismo. Sus revestimientos pueden volverse turbios o mates, o desvelar el relleno de sus juntas al deteriorarse su sellado con el transcurso de los años.

Los colores del vidrio

En correspondencia con el mito de su transparencia invisible, el vidrio debería ser diáfano e incoloro. Sin embargo, la fabricación de un vidrio "tan claro como el agua" es costosa, por lo que en la actualidad presenta generalmente una tonalidad dentro de un espectro verde-azulgrís. Y ello una vez abandonada la fase experimental de los matices rojos, amarillos y bronce, pues estos colores dejan pasar menos la luz y, para ahorrar costes, la industria se limita a la producción de pocas tonalidades pero más efectivas. La obtención del vidrio flotado supone una producción incomparablemente más costosa que la de los procesos para la fabricación del vidrio estirado, colado o laminado, ya muy difundidos.

A la reflexión, único efecto con el que el vidrio se pone de manifiesto, se une el color como otro factor que lo hace visible. El hipotético vidrio invisible puede percibirse gracias al tono, que determina en gran medida el carácter esencial de su uso. La tonalidad del color está determinada finalmente por las láminas y los revestimientos que elevan su reflexión y amplían el espectro cromático. Además, el empleo actual de acristalamientos dobles y triples intensifica y oscurece las tonalidades cromáticas.

¿Qué color tiene pues el vidrio? ¿es verde como la mayoría de los vidrios? ¿es incoloro, o claro como el agua, tal y como corresponde a su mito? O ¿un poco de todo, puesto que gracias a su capacidad de reflexión puede traslucir las variaciones cromáticas del día y las de las estaciones? ¿Acaso no es por término medio, de tonalidad negra, la suma de todos los colores que brillan sobre el vidrio? El negro es el color más utilizado cuando se trata de simular o sustituir al vidrio: perfiles negros de goma sellan disimuladamente sus bordes y marcos; negra es también la pintura serigrafiada que forra y protege los escalones de vidrio, o la que vemos en las juntas adhesivas de las lunas de los automóviles y que sugiere exteriormente de manera discreta un aumento, desde el punto de vista óptico, de una superficie interior del vidrio que en realidad es más pequeña.

Recubrimientos, el vidrio reflectante como espejo

A los esfuerzos continuos por mejorar las propiedades físicas y constructivas del vidrio, es decir, su permeabilidad a las radiaciones luminosas y térmicas, así como su dureza y resistencia, le siguió, tras la optimización del proceso de fabricación (y con ello del mismo vidrio), la utilización de los procesos de elaboración y ennoblecimiento que ampliaron también el espectro de formas del

material. Junto a la coloración del vidrio llegaron los recubrimientos de su superficie para poder regular mejor la relación entre los valores de transmisión y los grados de reflexión del mismo. En la actualidad, estos recubrimientos abarcan desde las capas de una sola hoja extremadamente delgadas, casi invisibles, hasta las láminas, pasando por combinaciones de varias capas hasta alcanzar los resultados deseados para un vidrio o un elemento constructivo acristalado. En función de su calidad y grosor, los recubrimientos modifican tanto la transparencia como los efectos de reflexión de las superficies interiores y exteriores del vidrio. De este modo puede conseguirse desde un material que deja pasar la luz y el calor en ambas direcciones, hasta un espejo cuyo reflejo está orientado en una única dirección. Una mayor reflexión reduce la posibilidad de introducir la mirada en el interior de un edificio de vidrio, con lo que los espacios interiores, e incluso los planos de la fachada, se vuelven cada vez más invisibles. Al menos durante el día, tanto la complejidad expresiva de la fachada como su efecto de profundidad se ven reducidos a un plano, lo que hace que ésta parezca más delgada y, con ello, el volumen que delimita se vuelve más duro, más cerrado y, probablemente, también más macizo.

Colocar recubrimientos reflectantes sobre espejos suena desde luego como un pleonismo. Sin embargo, desde un punto de vista objetivo, el recubrimiento reflectante potencia el efecto de espejo, no por la variedad del reflejo que se produce, por una especie de "superreflexión", sino por la "expulsión" de todos los efectos de transparencia que concurren en dicha reflexión.

El punto álgido de este efecto es, en definitiva, la arquitectura que se disuelve en el entorno, una arquitectura

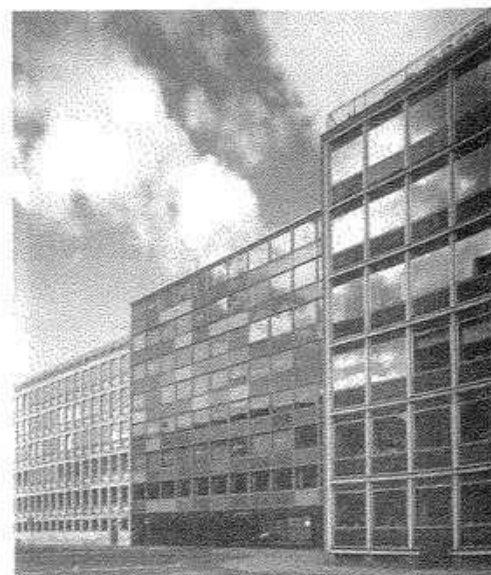


Fig. 23: Reflexión, vidrio y composición reticulada: ¿la arquitectura del siglo xx?
Arne Jacobsen: edificio de oficinas Jørgensen & Søn (y edificio colindante),
Copenhague, Dinamarca, 1953-1955



Fig. 24: El reflejo del entorno en el edificio hace que este desaparezca.
Johnson Burgee: Iglesia Garden Grove, Los Angeles (California), Estados Unidos, 1978-1980

que se refleja totalmente más allá de su propia realidad, una arquitectura sin atributos, construida con el material que tampoco posee atributos.

Los recubrimientos y las láminas determinan hoy en tan gran medida las capacidades del vidrio, que parecen convertir al material en mero soporte de su propio tratamiento. Sin tratamientos, el vidrio no se emplearía en la construcción, o al menos no en la proporción en que lo conocemos. ¿Cuánto durará el discurso sobre este material si sus propiedades esenciales, y por las que se le elige, se producen por algo que no sea vidrio? ¿Cuánto tiempo se seguirá utilizando el vidrio como material constructivo?

El vidrio como sistema

Durante su fabricación, el vidrio es un material fluido, de modo que no es posible vaciarlo en obra con su forma. La producción del vidrio para la construcción necesita, por fuerza, un proceso industrial costoso sin el que sería impensable en su forma actual. El vidrio forma parte de un extenso e intrincado sistema de producción, tratamiento posterior, transporte y montaje: en consonancia con este sistema, constituye un clásico producto prefabricado. Hasta la introducción de la maquinaria con tecnología CAD, la producción en serie y los ángulos rectos fueron factores determinantes de su uso, y las fachadas en retícula de la arquitectura internacional de los edificios de oficinas se convirtieron en sinónimo de su expresión. El sistema vidrio depende además de otros sistemas. El desarrollo de la tecnología para carpinterías va unido al desarrollo técnico del vidrio y ofrece al mercado los componentes y elementos constructivos que hacen posible el empleo del vidrio en obra.

En la actualidad, los vidrios de una sola hoja sin tratar se utilizan en todo caso para reemplazar paños rotos de ventanas en edificios antiguos o en particiones interiores. Para la mayor parte de sus aplicaciones, en la actualidad se utilizan vidrios compuestos pegados, o vidrios que combinan dos o más láminas con tratamientos previos y juntas metálicas al vacío. Estas láminas se sostienen mediante tallos de vidrio de reflejos plateados y se sellan con goma o con una masa negra estanca. Su ventaja es que todos estos componentes ya fueron adaptados en el proceso de desarrollo, lo que por una parte dota de sentido al sistema, pero, por otra, muestra que los proyectistas forman parte del mismo, y no a la inversa. Entre tanto, los sistemas de las fachadas de vidrio se ha vuelto tan complejos que actualmente ha aparecido la figura del diseñador de fachadas como mediador entre los arquitectos y las empresas de producción.

Un surtido escaso a pesar de los adelantos técnicos

La evolución técnica del vidrio conllevó aparentemente una ilimitada variedad de calidades, una variedad restringida en esencia cuando se trata de utilizar el vidrio en una

fachada concreta. Algunas calidades del vidrio, incluso las producidas a finales del siglo xx, son ya historia. El espectro se reduce a veces a una gama muy modesta dada la necesidad de satisfacer las normas de seguridad y ahorro energético. Además, suelen haber muy pocas diferencias entre unos vidrios y otros. Esta limitación se palia gracias a las posibilidades que quedan aún de configurar la proporción y el formato de las lunas, siempre con el necesario soporte de metal o madera, de su "personalización" mediante el vidrio impreso, de la iluminación o irrupción de la fachada bidimensional en una tercera dimensión.

Los arquitectos Barkow y Leibinger consiguieron un efecto brillante y caleidoscópico en la fachada del edificio Trutec, en Seúl, cuya composición se basa en un sencillo principio de dos módulos formados por dos calidades distintas de vidrio: uno plano y otro profundo. Los módulos de estos últimos, espejos transparentes y traslúcidos, sobresalen 20 cm de la fachada, y al girar mediante una variación de 180°, regular y alternativamente, producen un complejo juego de reflejos irisados.

Un material engañoso

El deseo de poder dominar el potencial técnico y las formas de expresión del vidrio más allá del proceso de producción parece haberse satisfecho con el vidrio regulable. Se trata de un vidrio desarrollado para la industria automovilística que algún día estará disponible para la construcción. Pulsando un botón, o programándolo, el vidrio puede aclarar u oscurecer su color con el paso de la corriente eléctrica, modificando así la transmisión de luz y energía, lo que permitiría en un futuro próximo prescindir de las aún hoy complementarias y necesarias instalaciones de protección solar. En otros vidrios puede transfor-

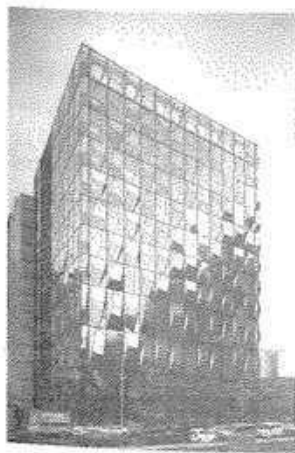


Fig. 25: Irisado caleidoscópico.
Barkow Leibinger: edificio Trutec, Seúl, Corea del Sur, 2006

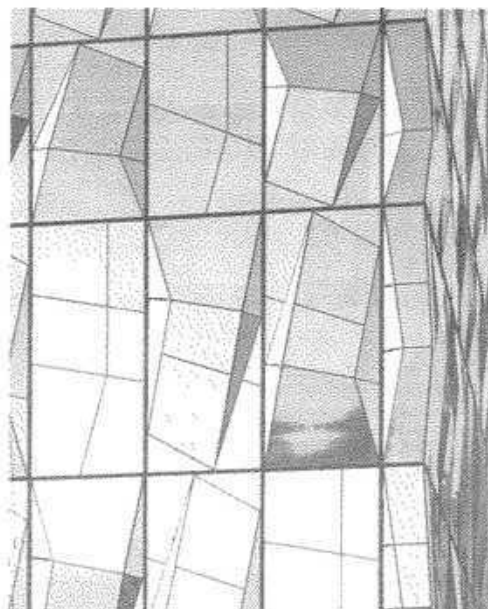


Fig. 26: El vidrio colocado oblicuamente.
Barkow Leibinger: edificio Trutec, Seúl, Corea del Sur, 2006



Fig. 27: Algo ya habitual en el cine: un vidrio regulable, transparente u opaco. El enfermo de sida Andrew Becket (Tom Hanks) ante el consejo de administración de su empresa, fotogramas de la película *Philadelphia*, 1993.

marse el grado de transparencia, desde muy diáfano hasta completamente opaco. Para ello, entre dos láminas PET conductoras de electricidad y dos lunas de vidrio, se introduce una película de cristal líquido opaco que se vuelve transparente con la corriente eléctrica. Cada vez más, el vidrio parece convertirse en un material omnipresente, pero cuanto más sorprendentes resultan sus capacidades, más rotundamente se sustrae al ya de por sí difícil control del mismo en el proceso del proyecto.

El vidrio se disuelve

La inmanente tendencia a la disolución del vidrio no se detiene frente al vidrio mismo. ¿Hasta dónde puede llegar la continua y permanente disolución física de los muros limitadores del espacio en pro de las delgadas paredes de vidrio? ¿A qué grado de delgadez puede llegar una envolvente espacial? ¿Hasta qué punto puede reducirse el grosor y la reflexión de un vidrio antes de que él mismo se disuelva? Las láminas plásticas parecen disolver el vidrio en el camino hacia su desaparición, conduciéndolo a un

estado de (casi) desmaterialización, que desde su aparición parece el sueño inherente al vidrio. En los invernaderos, donde se permite (e incluso se desea) cierto exceso de luz y calor, al igual que en los edificios de oficinas y de viviendas, las láminas de plástico y los almohadones neumáticos encuentran ya un uso muy extendido. Es de esperar que, en breve, elementos laminares rellenos de un gas especial asuman tareas hasta hoy sólo realizables con productos de vidrio. Cuando el vidrio ha disuelto los límites espaciales, él mismo se disuelve en el espacio.

El ligero vidrio es un material pesado

Aunque el vidrio sea más ligero que el aluminio, su fragilidad hace necesario el empleo de grosores suficientes. Por ello, el peso de las grandes lunas y los acristalamientos dobles o triples es sorprendentemente grande. Pequeños formatos de vidrio pueden presentar un peso que lleva a gastos inesperados y que hace, por ejemplo, que los marcos de las habituales ventanas de madera de dos hojas, equipadas con los más eficientes herrajes, se conviertan en elementos constructivos muy pesados. Por el peso del vidrio y por sus dimensiones, el montaje de los elementos con vidrio en las fachadas exige un considerable gasto logístico, ya que cada elemento debe colocarse en su lugar, entre el andamio de la fachada y la estructura del edificio, con ayuda de una grúa, antes de ser ajustado, fijado y sellado por varias personas al mismo tiempo.

Dichos acristalamientos no portantes, anclados a los cantos del forjado, se denominan fachadas colgadas, es decir, muros cortina, lo que hace pensar más en la ligereza de un material de revestimiento, de una tela, que en un material voluminoso y pesado, además de frágil. Esta otra contradicción respecto al vidrio exige que los arquitectos adopten cada vez más una nueva postura dentro de la dialéctica que se establece entre estructura y revestimiento de vidrio. En su proyecto para el Banco de Bilbao en Madrid, Francisco Javier Sáenz de Oiza intenta expresar el carácter de tejido colgado, suave y al tiempo dinámico en la configuración de la fachada. Desenrolla el vidrio de la fachada (que se redondea en los ángulos, junto con las pasarelas metálicas que la envuelven) en torno a la pesada estructura de hormigón, y cierra esta tensa cortina con una nítida solución de sutura, clara y ligeramente asimétrica, que recorre el edificio en toda su altura. Como en un vestido con cremallera, éste cuelga con amplitud en su parte inferior, en la zona de acceso (retranqueada), y se configura como un dobladillo rematado en su parte inferior en forma de un canalillo metálico abombado. En efecto, esta solución de remate se puede interpretar casi literalmente como el dobladillo de una falda, incrementando el carácter de vestido que tiene el revestimiento de la fachada, y colgando en este caso hasta una altura que obliga a la gente alta a agacharse instintivamente para evitar golpearse directamente con ella, quizá porque presienten la magnitud del peso que pende sobre sus cabezas.

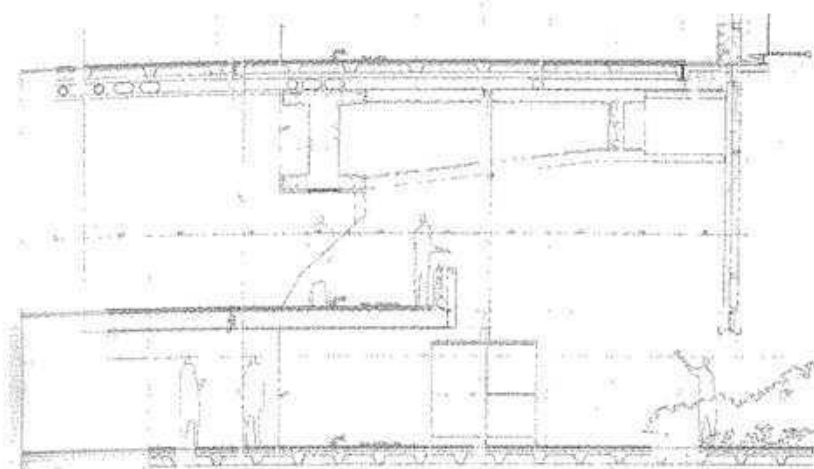


Fig. 28: Megastuctura con vidrio colgante: dibujo de la sección de la zona de acceso
Francisco Javier Sáenz de Oiza: Banco de Bilbao, Madrid, España, 1971-1978

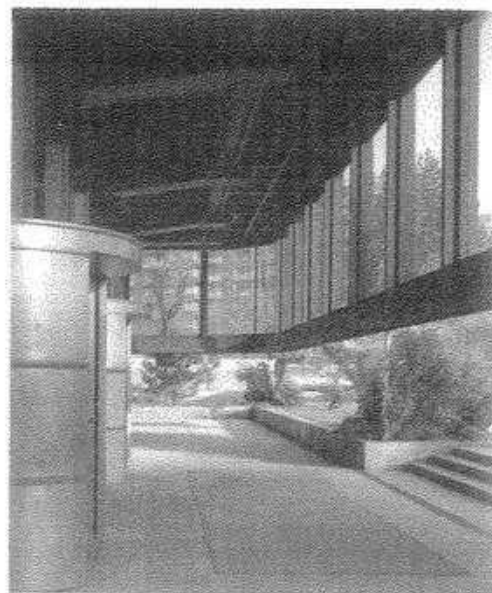


Fig. 29: Aquí cuelgan toneladas: el aparentemente ligero "doblado" del vestido que recubre la fachada
Francisco Javier Sáenz de Oiza: Banco de Bilbao, Madrid, España, 1971-1978



Fig. 30: Fachada de bandas de metal y vidrio, concebida como un vestido con fajas y costura asimétrica.
Francisco Javier Sáenz de Oiza: Banco de Bilbao, Madrid, España, 1971-1978

Vidrio estructural: ¿la suma de todas las contradicciones?

Hacer que las cosas parezcan más ligeras (de lo que realmente son) puede ser un magnífico estímulo para crear arquitectura. La disolución de la masa es definitivamente uno de los resortes que impulsan el desarrollo de esta disciplina, y ¿existe algo mejor que el vidrio "transparente" para contribuir a satisfacer esa exigencia? Los sistemas constructivos de madera y metal que sostienen el vidrio pueden reducirse sólo hasta un cierto punto, y se está cerca de aventurar el paso hacia la disolución óptica total con el vidrio como soporte estructural. Dentro de ese ámbito de aplicación, que supone una expansión permanente pero que nunca ha llegado a imponerse del todo, es posible señalar un gran desarrollo a partir de la década de 1980. El vidrio estructural sustituyó a los marcos de vidrio y a los perfiles de ventana, y los montantes de vidrio, colocados en perpendicular a la superficie de vidrio, absorben las solicitaciones debidas al viento y abren el espacio, que ya no encuentra obstáculo alguno en el plano horizontal. Pilares y paredes portantes de vidrio disuelven por completo sus límites para, por medio de escaleras, suelos y cubiertas, también de vidrio, borrar, también en sentido vertical, cualquier límite espacial.

El vidrio no puede liberarse de sus contradicciones ni siquiera en su aplicación exclusiva. Incluso, aunque éstas no se potencien, el edificio construido enteramente con vidrio constituye la imagen misma de la suma de todas sus contradicciones. El edificio de vidrio sigue existiendo, pues, para concluir un concepto inherente al sueño de una arquitectura cristalina, como una "fantasía natural".

Bibliografía

- Neundinger, Klaus, *Einführung ins Aufbegehren. Ein Beitrag zur Materialgeschichte des Glases*, Turin + Karl Verlag, Viena, 2005.
- Plammatter, Ulrich, *In die Zukunft gebaut*, Prestel, München, 2005.
- Quelglas, Josef, *Der gläserne Schrecken, Imágenes del Pabellón de Alemania: Mies van der Rohe*, Éditions Section 6, Montreal, 1991.
- Wigginton, Michael, *Glass in architecture*, Phaidon, Londres, 1996.

El plástico, en el umbral de la arquitectura

Katharina Stehrenberger

Tanto Gottfried Semper¹ como Roland Barthes² describen el plástico como algo en continuo movimiento y que, además, es informe: sorprendente descripción para un material, y una afirmación que expresa al mismo tiempo fascinación y desconfianza. Esta ambivalencia parece acompañar tanto la evolución técnica como el uso de este material desde sus inicios hasta nuestros días.

La estima que hacia 1950 despertó este material puede explicarse, además de por los avances operados en su investigación, también por el trasfondo sociopolítico. Tras el estancamiento producido durante la II Guerra Mundial, era posible dirigir de nuevo la vista hacia el futuro. Esta disposición de ánimo positiva produjo una euforia colectiva que se vio acompañada por una gran fe en el progreso técnico. En una época marcada por la ingravidez y por la expansión del hombre en el espacio, las características de este material moderno parecían poder conseguir una aportación fundamental para el mundo futuro.

La investigación conllevó una actitud abierta y positiva respecto al material y prometía un nuevo mundo compuesto enteramente de plástico, cuya homogeneidad material se habría de extender a todo el edificio. Una visión audaz provino en 1960 del estudio de Richard Buckminster Fuller y se llamó Cúpula geodésica hipotética para la ciudad de Nueva York. La Nave Espacial Tierra, como Fuller la denominó, cubre todas las expectativas asociadas al uso del nuevo material: el proyecto tiene la apariencia de una gigantesca campana sobre Manhattan, es futurista, transparente y da la impresión de estar desprovista de límites y de juntas. Los pioneros del plástico se vieron fascinados no sólo por la transparencia, sino también por la maleabilidad del material y, en consecuencia, por su ilimitada posibilidad de configurar espacios. En una fase inicial del desarrollo, la empresa química Monsanto hizo producir la casa del futuro prefabricada Monsanto, donde se hicieron realidad los sueños de formas orgánicas. Tanto este trébol habitable como la cabaña de Après-ski de Matti Suuronen, que parecía un platillo volante, utilizan con habilidad la libertad formal del material.



Fig. 31: Incendio en la Expo 67 de Montreal; los paneles acrílicos se fundieron en quince minutos.
Richard Buckminster Fuller et al.; pabellón de Estados Unidos, Exposición Universal de Montreal, Canadá, 1967



Fig. 32: El trébol de plástico muestra cómo será la vivienda del futuro.
Monsanto Ltd.; casa del futuro, prototipo en Disneylandia, 1957



Fig. 33: El plástico se asocia con lo artificial, transparente y futurista.
Richard Buckminster Fuller; cúpula geodésica hipotética para la ciudad de Nueva York, Estados Unidos, 1960



Fig. 34: La primera casa de plástico de ámbito mundial fabricada en serie.
Matti Suuronen; cabaña Futuro Après-ski, Finlandia, 1968

Pese a la actividad experimental durante unas dos décadas, muchos de los desarrollos de los plásticos reforzados con fibras permanecen estancados en el estadio de los prototipos que no han evolucionado. La posibilidad de emplear el plástico como material estructural y de cerramiento pronto se mostró como una pura opción teórica. La euforia se redujo, y con la crisis del petróleo de 1973 los avances en la investigación con el plástico encontraron un punto final. La repentina falta de materias primas, su fragilidad y la coloración amarillenta que cobra después de un tiempo de exposición al sol, su fácil combustibilidad, pero también una cierta despreocupación, llevaron a frenar la investigación sobre el plástico como material de construcción. Con la conciencia de encontrarse frente a los límites de lo técnicamente posible, llegaron también las reservas ideológicas.

Sin embargo, desde hace pocos años, la deteriorada imagen del plástico se ha revisado de nuevo. La razón de este interés reside no sólo en la recuperación del lenguaje formal de las décadas de 1960 y 1970, sino también en los avances técnicos operados continuamente en torno al material, que no le han hecho perder del todo su reputación. Aunque uno de los objetivos esenciales de su perfeccionamiento haya sido la mejora desde el punto de vista visual, su justificación ecológica sigue siendo deficiente: un material difícil de reciclar y basado en una fuente no renovable como el petróleo no es sostenible.

Además, en el conjunto de su evolución, el material no ha ganado realmente posiciones esenciales desde los puntos de vista espacial y constructivo para el proyecto de arquitectura, lo que hubiera sido decisivo para su difusión. Sin embargo, una vez descartada la idea de utilizarlo para configurar espacios o estructuras, el plástico puede proporcionar un sinfín de soluciones dentro del ámbito de las envolventes y de los revestimientos constructivos.

Observación fenomenológica

Según el proceso de producción y composición del material, el plástico puede mostrar un acabado mate y rugoso, o bien brillante y liso. Ello tiene consecuencias tanto visuales como táctiles. Tanto el plástico reforzado con fibra de vidrio como el no reforzado se caracterizan por ser traslúcidos dentro de un espectro muy variable, por poseer una fragilidad relacionada con su relativa delgadez y sutileza, así como unas posibilidades de modelación casi ilimitadas. Todos estos factores pueden graduarse independientemente en función del producto que quiera obtenerse. Su grado de permeabilidad a la luz varía desde la absoluta opacidad hasta la transparencia y, según su coloración, puede crear ambientes muy diferentes. En la cubierta que el ingeniero Heinz Isler erigió en Geislingen, por ejemplo, sus elementos de color ámbar confieren al espacio una atmósfera casi sacra. El efecto de transparencia del plástico depende fundamentalmente de la permeabilidad a la luz de las moléculas que lo componen, no de las fibras, pues éstas se funden por completo con los polímeros durante el proceso de fabricación. Los plásticos acrílicos sin fibras alcanzan una transparencia casi total, mientras que los reforzados con fibras dejan pasar, en el mejor de los casos, una luz tenue.

Todas estas propiedades hacen que el plástico tenga una determinada afinidad con el vidrio, más directa aún de la que pueda establecerse con otros materiales más parecidos, usados en estructuras y compuestos también de fibras, como la madera o el cemento. A pesar de su técnica de fabricación tan diferente, de su distinta temperatura superficial y de su diverso grado de dureza, el vidrio y el plástico poseen características sorprendentemente semejantes: ambos materiales pueden proporcionar un

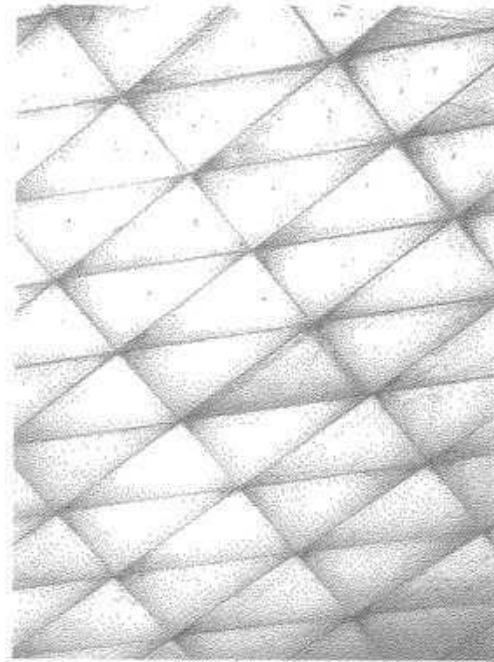


Fig. 37: Carácter sacro de los casetones huecos traslúcidos
Heinz Isler, cubierta en Geislingen, Alemania, 1967

repertorio formal fluido y ligero y hacen uso de la propiedad común que poseen: ser fácilmente regulables a la permeabilidad de la luz. Por estas características, el vidrio y el plástico son materiales idóneos para ser utilizados en el proyecto de arquitectura. "Todo se vuelve ligero y vuela, todo se vuelve transparente y luminoso", así resume Vittorio Magnano Lampugnani una posible tendencia en la arquitectura actual. "Cuando no se trata de máquinas urbanas cubiertas con cúpulas de vidrio o casas modeladas aerodinámicamente, los grandes complejos tienen que sufrir las consecuencias de fachadas pantalla y las paredes multimedia de luces multicolores que, a veces, incluso hablan y cantan",³ y con ello piensa implícitamente en las propiedades comunes a ambos materiales.

Origen y potencial

Hace unos ciento cincuenta años, los primeros experimentos dirigidos a la obtención de plásticos se basaban en puras materias primas vegetales o animales, como el alquitrán, la resina o el aceite de linaza. Los primeros productos que se obtuvieron entonces fueron materiales de recubrimiento aún hoy importantes, como el asfalto y el linóleo. De estos precedentes naturales se derivaron aproximadamente un siglo más tarde los primeros productos sintéticos. La duradera baquelita, por ejemplo, abrió la era de los plásticos resistentes al calor y, por ello, avanzó en el ámbito de las tareas propias del mundo de la construcción.

Precisamente con el invento de los polímeros derivados del petróleo, la experimentación y desarrollo del plástico conoció una gran explosión. Hoy en día no es posible

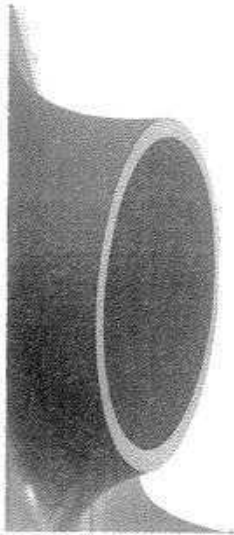


Fig. 35: Piel lisa y brillante
Angelo y Dante Casoni, gasolinera, Pratteln, Suiza, 1978



Fig. 36: En el proceso de moldeado por inyección se obtiene una superficie vista rugosa
Empresa Faserplast Rickenbach-Wil, pieza para tuberías

pensar en el entorno construido sin la presencia de dicho material, como tampoco es posible abarcar con la vista la cantidad de ámbitos de aplicación de sus productos derivados, tanto de los más reforzados como de los que lo están menos. Como material informe que es, el plástico no reforzado se emplea, por ejemplo, como aglomerante o material de sellado. Cuando las exigencias estéticas entran en juego, se encuentran también innumerables productos derivados del plástico para el revestimiento interior y exterior de los edificios. El uso cuantitativamente más importante del plástico no reforzado corresponde a los tubos no vistos, así como a los conductos de las instalaciones de uso continuo en los edificios.

Sin embargo, en obras de Ingeniería, el plástico se emplea a menudo reforzado con fibras. Los ingenieros descubrieron enseguida su resistencia a la corrosión, lo que le hacía idóneo para construir envolturas autoportantes en edificios industriales o construcciones con forma de torre, como los silos o las chimeneas de gran altura. En todos ellos, como propiedad idónea del material, se aprovecha estáticamente su gran resistencia en relación con el reducido peso propio. Los plásticos reforzados con fibras pueden utilizarse estructuralmente y muestran un potencial extraordinario. Lamentablemente, en ello radica también un conflicto insalvable: la combinación de su capacidad para ser a la vez traslúcido y portante lo hace sólo utilizable en aquellos elementos de revestimiento de fachada donde no se necesita aislamiento térmico, ya que la colocación de éste anula la permeabilidad a la luz o, como mínimo, la reduce considerablemente. También es difícil mantener su transparencia en el caso de utilizarlo como material puramente estructural, porque las prescripciones de seguridad vigentes frente a los incendios y a la rotura exigen el empleo de materiales más resistentes que no son traslúcidos. Proyectar con plásticos reforzados con fibras significa, además, el desarrollo y uso industrial de elementos prefabricados. La dificultad que todo ello conlleva de una adaptación específica al proceso

de construcción, hace que tanto la etapa de planeamiento como la de proyecto sean complejas, y exige ante todo una gran precisión por parte de todos los implicados en las mismas.

Si se toma en serio la cita del ingeniero suizo Heinz Hossdorf de que "un litro de poliéster cuesta tanto como una botella de vino selecto",⁴ entonces, sólo resulta adecuado el uso de un material tan caro cuando se aprovechan todas sus propiedades relevantes, su capacidad de ser traslúcido, portante y ligero. No sorprende, pues, que el desarrollo del plástico reforzado con fibras se haya estancado por todos estos motivos, y que se tienda, en consecuencia, al uso de sistemas complementarios donde se emplea el plástico sin reforzar tan sólo como una piel de revestimiento. Finalmente, sería especialmente interesante para la arquitectura destacar el aspecto espacial y estructural del plástico, pero se encuentra, como muestran los ejemplos siguientes, nitidamente por detrás del figurativo y del fenomenológico.

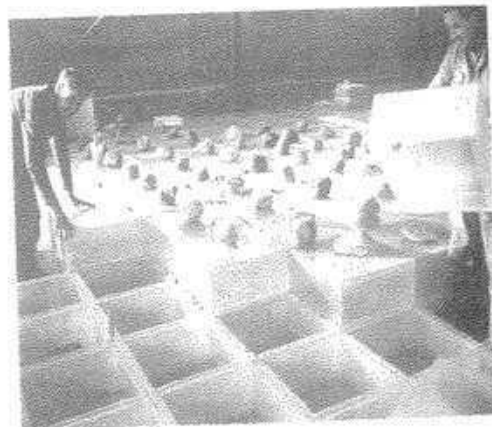


Fig. 39: Trabajo manual a pesar de lo innovador del material
Heinz Isler: cubierta para una gasolinera, Thun, Suiza, 1962.

Estrategias constructivas

Puede diferenciarse entre sistemas constructivos estables e inestables. Los primeros conservan su forma de manera estable, mientras que los segundos recuperan su forma inicial sólo cuando cesa la acción de las fuerzas exteriores. De ambos sistemas se encuentran ejemplos que poseen una sola piel o que se componen de una doble pared. Desde la época de los pioneros en la investigación con plásticos, se han planteado innumerables sistemas que abarcan desde los flexibles de almohadones hasta los rígidos de paneles sándwich, pasando por las pieles tensadas sobre soportes ligeros. Si los sistemas constructivos de plástico fueron eficaces en una época, predominantemente como estructuras, su utilización se ve cada vez más relegada al ámbito de las envolturas no portantes. En todo caso, hoy ocupa un primer plano el interés fenomenológico por la imagen del material semitransparente, determinante para la construcción. Las nuevas envolturas de plástico con exigencias escenográficas utilizan desde luego las cualidades formales del

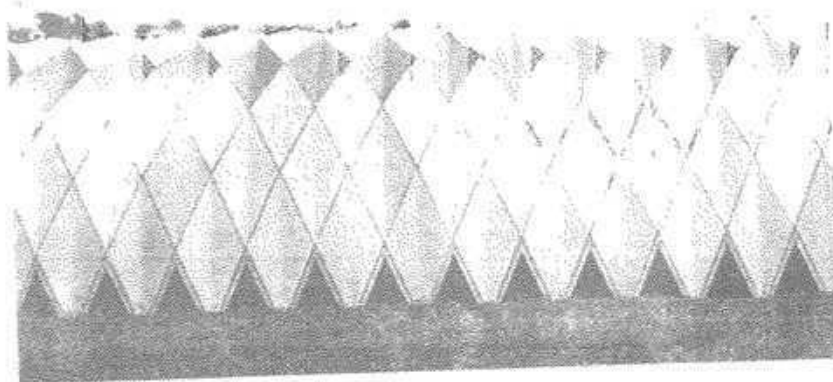


Fig. 38: Estructura laminada de plástico reforzado con fibra de vidrio: una de las primeras obras de Renzo Piano
Renzo Piano: almazara de sal Pomizia (cerca de Roma), Italia, 1966

material, aunque se utiliza más como una capa específica que como un material universal.

Construcciones estables: ejemplos

La cubierta de la gasolinera de Heinz Isler, en la localidad suiza de Thun, supone una realización muy lograda donde arquitectura e ingeniería se aúnan: la estructura determina y constituye la envolvente del espacio. Inscrita plenamente en la tradición de la arquitectura realizada por ingenieros, el sistema constructivo traslúcido de la cubierta muestra una tendencia a la disolución de la materia y persigue la eterna obsesión de hacer que el objeto parezca más ligero de lo que objetivamente es. La cubierta, realizada en 1962 con plástico reforzado con fibra de vidrio GFK y con una luz máxima de 9 m, se compone de una doble capa de casetones prefabricados que fueron encolados a tope para conformar un plano, una losa hueca de 14×22 m. La gran durabilidad de las uniones se consiguió gracias a un laminado adicional efectuado en ambas caras de la losa. Aún hoy se conserva la cubierta flotante que descansa sobre ocho pilares metáli-



Fig. 42: Ligereza debido a la transparencia
Heinz Isler: cubierta para una gasolinera, Thun, Suiza, 1962

cos; sin embargo, la introducción posterior de un recubrimiento de pintura ha reducido su apariencia inmaterial original.

Para la Exposición Nacional Suiza de 1964, celebrada en Lausana, el ingeniero Heinz Hossdorf creó una cubierta con una gran superficie gracias a la utilización de un sistema laminar original, dotado de una gran sensualidad. La idea formal de este pabellón expositivo se basaba en la imagen de un campo de tulipanes en medio de un paisaje abierto. Gracias a la membrana de fibra de vidrio plegada, la cubierta bidimensional se convierte en una escultura espacial que asume figurativamente el lenguaje formal de las carpas. El comportamiento estático en que estaba basado este sistema constructivo fue comprobado en maquetas. Finalmente, se hizo realidad con una disposición en hilera de unidades laminares pretensadas de fibra de vidrio GFK, cuyo módulo tenía unas dimensiones de 18×18 m. Este sistema portante, traslúcido de día y luminoso de noche, formado por nervios de acero y láminas de plástico, fue destruido el mismo día de la clausura.

La gasolinera en Pratteln (1978), de los arquitectos Angelo y Dante Casoni, se ha convertido en un objeto de culto gracias a su pregnancia iconográfica. Como ninguna otra obra suiza, el carácter antropomorfo y abstracto de la viga refleja el *Zeitgeist* (espíritu de la época) futurista y tecnológico de la década de 1970. Un sistema de paneles sándwich GFK aislantes (de plástico reforzado con fibra

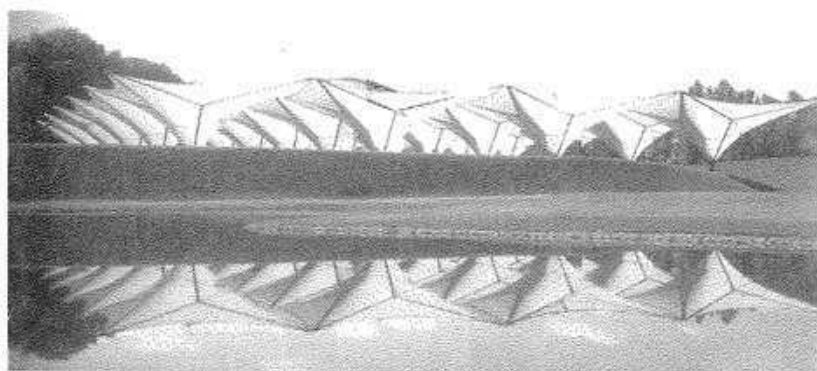


Fig. 40: Los embudos de fibra de vidrio configuran una escultura espacial traslúcida
Heinz Hossdorf: cubierta para Exposición Nacional Suiza de 1964 en Lausana, Suiza, 1964

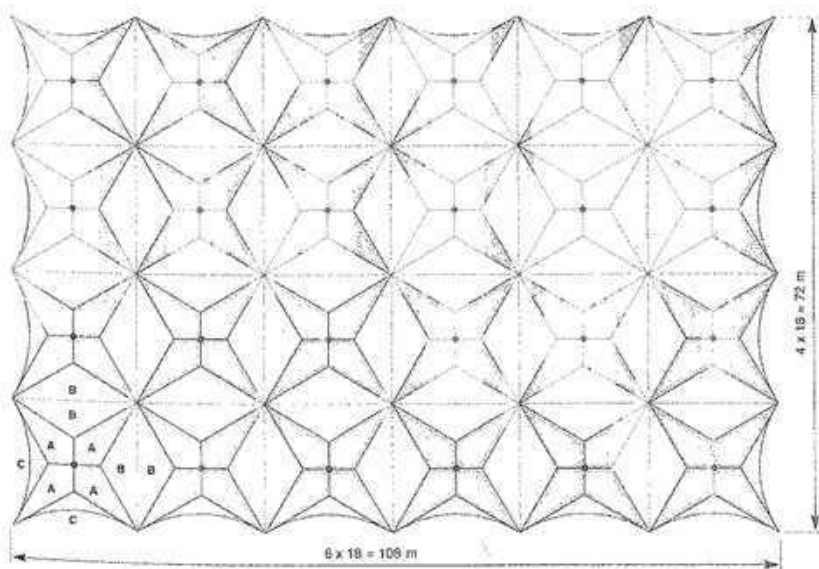


Fig. 41: Planta de los 24 tulipanes de plástico reforzado con fibra de vidrio
Heinz Hossdorf: cubierta para Exposición Nacional Suiza de 1964 en Lausana, Suiza, 1964

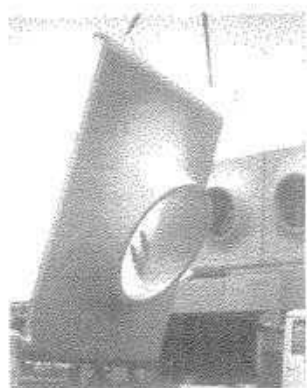


Fig. 43: Elemento prefabricado de fachada realizado en plástico reforzado con fibra de vidrio
Angelo y Dante Casotti: gasolinera, Pratteln, Suiza, 1978



Fig. 44: Arquitectura iconográfica para un rápido consumo
Angelo y Dante Casotti: gasolinera, Pratteln, Suiza, 1978

de vidrio) hizo posible la realización de una envolvente de fachada compuesta por elementos extraordinariamente delgados. Los paneles, resistentes a la flexión y provistos de aberturas orgánicas, cumplían las exigencias impuestas por la normativa en lo que se refiere a los elementos autoportantes, y fueron colgados directamente sobre la estructura principal de acero sin necesidad de riostras adicionales. En las obras de saneamiento realizadas recientemente en esta construcción, se ha sustituido la policromía original del edificio por una pintura de color homogénea.

La idea original del proyecto para la Kunsthaus de Graz se denomina "Clavijas y piel", y hacía referencia ya en el concurso a sus dos temas principales: la disposición del volumen en el lugar y su particular envoltura. Esta estructura de burbujas biomorfa, con unas dimensiones

de cerca de 40 x 60 m, este "simpático alienígena" de los arquitectos Peter Cook y Colin Fournier, produce el efecto de un ser vivo que por propia voluntad se adapta al armazón de hierro colado vecino. En 2003 se concluyó la construcción de este edificio flotante, configurado como un volumen translúcido de formas libres. Hubiera sido impensable llevar a cabo sistema de paneles sándwich autoportantes que constituyen la envolvente sin la estrecha colaboración del estudio de ingeniería de Ove Arup. Tras esta piel azulada de plexiglás se esconde la estructura de acero, un sistema de láminas disueltas en un mecanismo de barras que forma, junto con un aislante de vidrio celular, el núcleo de una sólida fachada de unos 90 cm de grosor. Dieciséis llamativos lucernarios, las denominadas "boquillas", iluminan a voluntad un espacio interior desprovisto de ventanas. El expresivo lenguaje

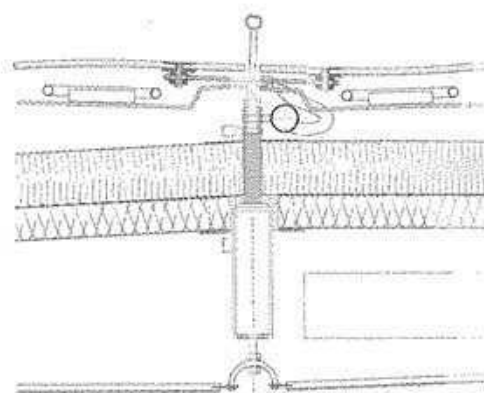


Fig. 45: La fachada tiene un grosor de 90 a 100 centímetros
Peter Cook y Colin Fournier: Kunsthaus, Graz, Austria, 2003

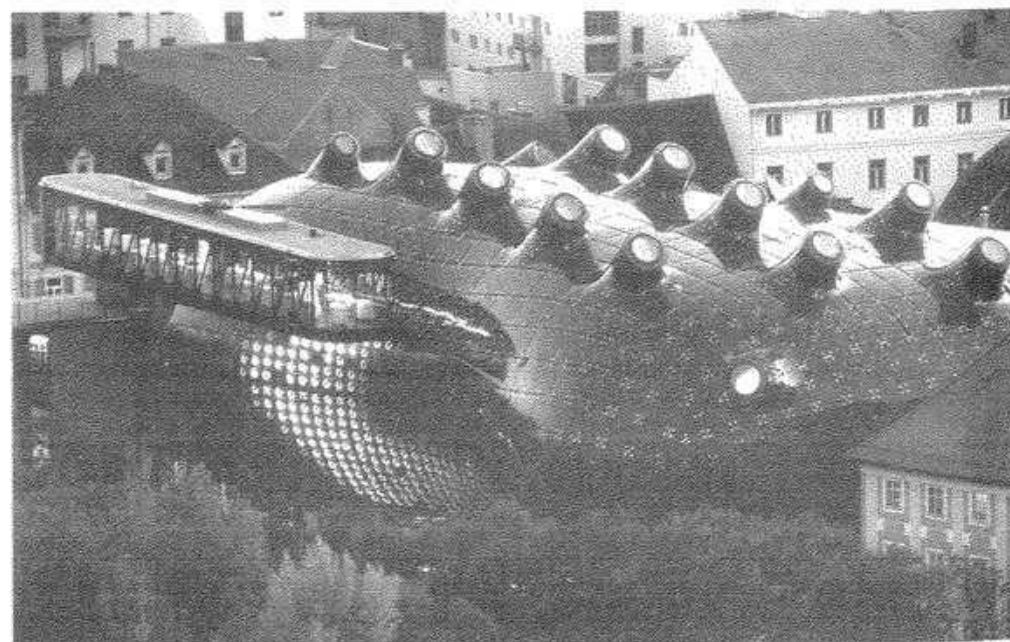


Fig. 46: Lenguaje formal orgánico en un contexto histórico
Peter Cook y Colin Fournier: Kunsthaus, Graz, Austria, 2003

formal de esta institución cultural austriaca supone un provocativo acento en el interior de la capital regional barroca. Su extraña forma se pone aún más de manifiesto con la fachada multimedia, provista de una pantalla urbana donde se proyectan todo tipo de imágenes.

Construcciones inestables: ejemplos

En el principio fue el neumático. Con esta tesis asume el ingeniero alemán Frei Otto el trabajo de construir los más variados proyectos de membranas con formas inestables. Junto con otros pioneros de las estructuras de membranas, ha desarrollado sistemas constructivos de superficies portantes ligeras, textiles, curvadas repetidas veces y reforzadas en parte con plástico.

La cubrición con membranas híbridas colgantes para las instalaciones olímpicas de Múnich (1967-1972), de los arquitectos Benisch + Partner y los ingenieros Frei Otto y Heinz Isler, pertenece a los primeros sistemas constructivos de carpas con mayores luces de aquella época. Como una inmensa vela, las cubiertas se extienden a lo largo del parque olímpico, constituyen conscientemente una parte intrínseca del mismo y establecen un estrecho diálogo con las colinas que modulan dinámicamente el paisaje. Estas cubiertas con forma de carpa están por un lado formalmente emparentadas con los sistemas constructivos de Heinz Honsdorf, pero, por otro, se diferencian por el procedimiento de su puesta en obra. A causa de su compleja estructura y forma, la cubrición con membranas sólo podía investigarse con la utilización de maquetas. Se ensayaron métodos tanto en el laboratorio suizo de Heinz Isler como en el Institut für leichte Flächentragwerke [Instituto para Estructuras Ligeras] de Frei Otto, en Stuttgart. De los ensayos resultó finalmente una estructura formada por sólidos pilones de acero, barras de compresión y un sistema de cables para la absorción de los esfuerzos a tracción.



Fig. 48: Las membranas de plástico modelan un paisaje de cubiertas: maqueta del conjunto. Benisch + Partner con Frei Otto y Heinz Isler: estadio olímpico, Múnich, Alemania, 1967-1972.

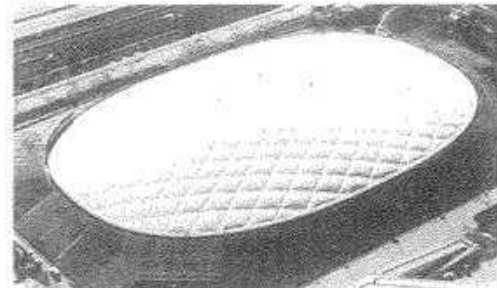


Fig. 49: Sistema constructivo de membrana neumática para cubrir un espacio sin soportes. Walter Bird, Sam Brody, Serge Chereyeff, Lewis Davis y David Geiger, pabellón inflable, Exposición Universal de Osaka, Japón, 1970.

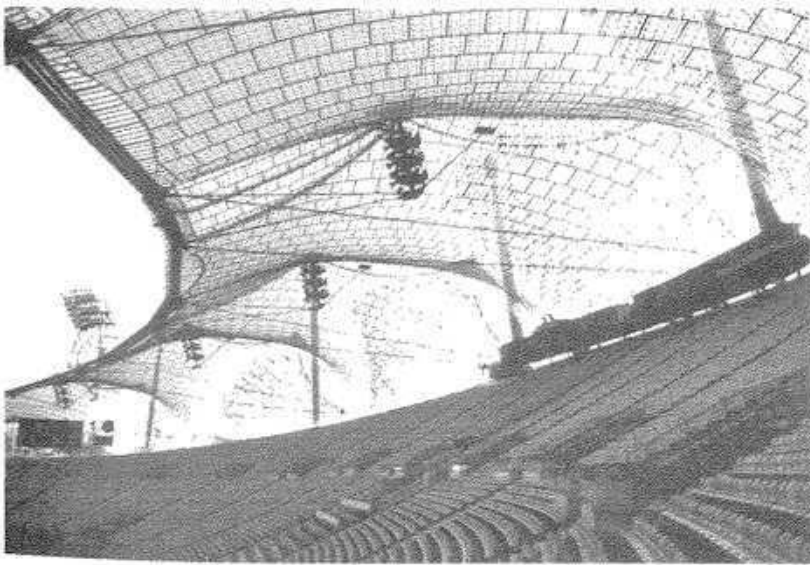


Fig. 47: Sistema constructivo de carpas con vidrio acrílico como piel. Benisch + Partner con Frei Otto y Heinz Isler, estadio olímpico: Múnich, Alemania, 1967-1972.

Estos elementos estructurales constituyen el armazón inestable de una ligerísima malla de acero suspendida por encima con uniones articuladas. Paneles romboidales de vidrio acrílico rígido conforman, en fin, la piel traslúcida que protege de las inclemencias meteorológicas.

Los sistemas neumáticos, también denominados inflables, representan el grupo principal dentro del constituido por los sistemas constructivos de membranas inestables. Estas membranas, de una o varias capas tensadas y con aire interior comprimido en su interior, permiten cubrir grandes espacios sin necesidad de utilizar soporte alguno.

El espacio cubierto de casi 10.000 m² del pabellón de Estados Unidos para la exposición de Osaka de 1970, muestra ejemplarmente la ligera ondulación típica de una

membrana de fibra de vidrio, con aire interior comprimido y recubierta con politetrafluoretileno (PTFE). Una red exterior de cables de acero, junto con un anillo perimetral de compresión, sujeta y estabiliza los almohadones rell-

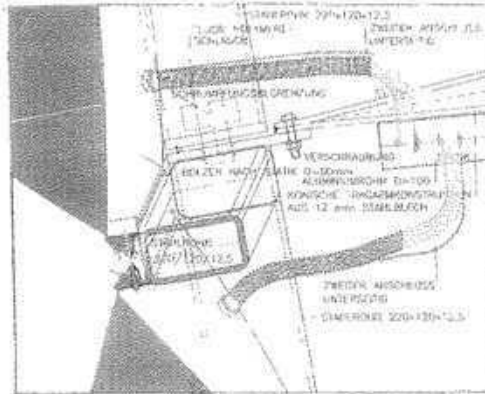


Fig. 50: Suministro de aire y de iluminación en los almohadones blancos EFFE Herzog & de Meuron; Allianz-Arena, Múnich, Alemania. 2002

nos de aire. El pabellón, que recuerda a una colchoneta hinchable gigante, marcó un hito no sólo por sus dimensiones, sino también porque jugaba con la fascinación de lo aparentemente efímero. Este tipo de sistema constructivo fue utilizado también en almacenes, pabellones deportivos y cubiertas de canchas de tenis. Sin embargo, en lo sucesivo, el elevado consumo energético necesario para mantener constantemente la presión del aire, provocó su desaparición en pocos años.

También la imagen del estadio Allianz-Arena en Múnich, construido en 2002 por Herzog & de Meuron, se caracteriza por una envolvente de almohadones neumáticos. Aquí, no es el espacio contenido en el volumen edificado lo que se rellena e infla con aire a presión, sino su piel membranosa formada por dos capas. Los almohadones romboidales se componen de una lámina altamente resistente de EFTE (copolímero de etileno-tetrafluoretileno), de 0,2 mm de grosor, difícilmente inflamable y con una capacidad para dejar pasar la luz del 90 % que la hace casi transparente. Para el soporte de los neumá-



Fig. 51: Los almohadones neumáticos, formados por membranas, configuran la envoltura traslúcida del estadio de fútbol Herzog & de Meuron: Allianz-Arena, Múnich, Alemania, 2002

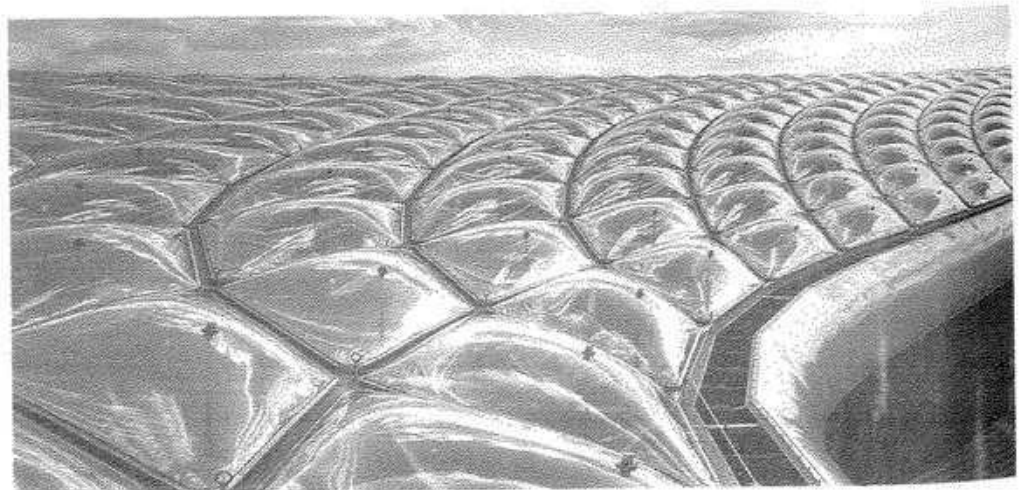


Fig. 52: Los almohadones neumáticos, formados por membranas, sobre la cubierta del estadio Herzog & de Meuron; Allianz-Arena, Múnich, Alemania, 2002

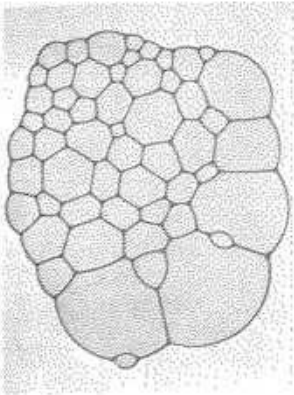


Fig. 53: La espuma como modelo para la arquitectura: formación de pompas de jabón

Notas

1. Semper, Gottfried, "Textile Kunst, Stoffe, Kautschuk", en *Der Stil in den technischen und tektonischen Künsten oder praktische Ästhetik* (tomo I), Verlag für Kunst und Wissenschaft, Frankfurt, 1860, págs. 112-119.
2. Barthès, Roland, *Mythologies*, Éditions du Seuil, París, 1957 [versión castellana: "El plástico", en *Mythologies*, Siglo XXI de España Editores, Madrid, 2008], págs. 175-178.
3. Lampugnani, Vittorio Magnano, "Telematik im Urbanen: von A wie Arbeiten bis W wie Wohnen", en *Verhaltens Geschwindigkeit, die Zukunft der telematischen Stadt*, Klaus Wagenbach Verlag, Berlin, 2002, págs. 21 y 23.
4. Giese, Elke, y Voigt, Pamela, *Introducción a Kunststoffbauten Teil I, die Pioniere*, Universitätsverlag, Weimar, 2005, pág. 8.
5. Sloterdijk, Peter, *Sphären III (Plurale Schönheit)*, Suhrkamp Verlag, Frankfurt, 2004 [versión castellana: *Esféricas III: espumas*, Ediciones Siruela, Madrid, 2006].

ticos romboidales de 8 m de lado se empleó una trama de perfiles de acero galvanizado que, a su vez, se apoya sobre una estructura de hormigón. En la capa situada entre la estructura portante maciza y el sistema constructivo de la fachada, se integra la iluminación artificial. Ésta, además de proporcionar luz en su interior, puede transformar el estadio en un gigantesco objeto luminoso de color.

La piscina cubierta para los Juegos Olímpicos de Pekín de 2008, obra del estudio PTW Architects, se inspira en la imagen de la estructura de una pompa de jabón. La envoltura del edificio, formada por EFTE (copolímero de etileno-tetrafluoretileno), evoca metafóricamente la expresividad del agua con sus reflejos, juegos de luces y burbujas. Los almohadones rellenos de aire reflejan el entorno inmediato y, por la noche, actúan como una pantalla para la iluminación y la proyección. Los 3,7 m de grosor de la fachada del edificio se componen de una estructura metálica dispuesta de forma supuestamente arbitraria, así como de cojines de EFTE rellenos de aire y encajados en bastidores de acero. Así pues, tras una estructura en apariencia caótica, se encierra una estricta geometría, como sucede con las estructuras cristalinas, celulares o moleculares de los sistemas naturales. Este sistema constructivo ligero tiene un peso global muy inferior a cualquier elemento individual correspondiente a uno de vidrio y acero, por lo que resulta eficiente y económico.

Resumen

Debido a sus múltiples posibilidades de aplicación, los materiales artificiales ya se han consolidado dentro de la arquitectura contemporánea. Según el uso que se haga de ellos, pueden caracterizar de forma fundamental la

imagen de la arquitectura. Pero aún resulta incierto afirmar que los materiales ligeros den lugar a la creación de una nueva arquitectura que pueda liberarse de los elementos estructurales tradicionales, como señala Peter Sloterdijk, en su libro *Esféricas III: espuma*.⁵ Si bien los primeros proyectos apuntaban en esta dirección, la dinámica de los ejemplos de la arquitectura más actual no ha creado las premisas esenciales para una nueva concepción constructiva y espacial, sino, y de manera primaria, la reducción a una imagen que se fija en la envoltura exterior. En consecuencia, los plásticos salen al encuentro de la virulenta y abierta necesidad que tiene la arquitectura contemporánea de convertirse en espectáculo. Una sobresaturación mediática en nuestro entorno construido podría en todo caso conducir a un hartazgo, a algo semejante a la crítica que tuvo lugar en la década de 1970 con la proliferación de las construcciones de hormigón en nuestras ciudades. Sin embargo, este material dúctil y flexible encarna, como acaso ningún otro, la idea de una arquitectura dinámica y, al mismo tiempo, efímera.

Desde el punto de vista técnico, el plástico muestra un enorme potencial de desarrollo. Con la integración de células solares, microsensors o metales conductores, podría hacerse realidad en pocos años la idea de una envoltura o piel inteligente para los edificios. Con todo, hay que tener en cuenta determinadas reservas con relación al uso del plástico. Los efectos negativos que produce sobre la conservación del medio ambiente, la necesidad de su aislamiento térmico y acústico, su comportamiento frente al fuego, su proceso de envejecimiento y, por último, sus posibilidades de reciclaje, son cuestiones que todavía hoy no han encontrado una respuesta satisfactoria.

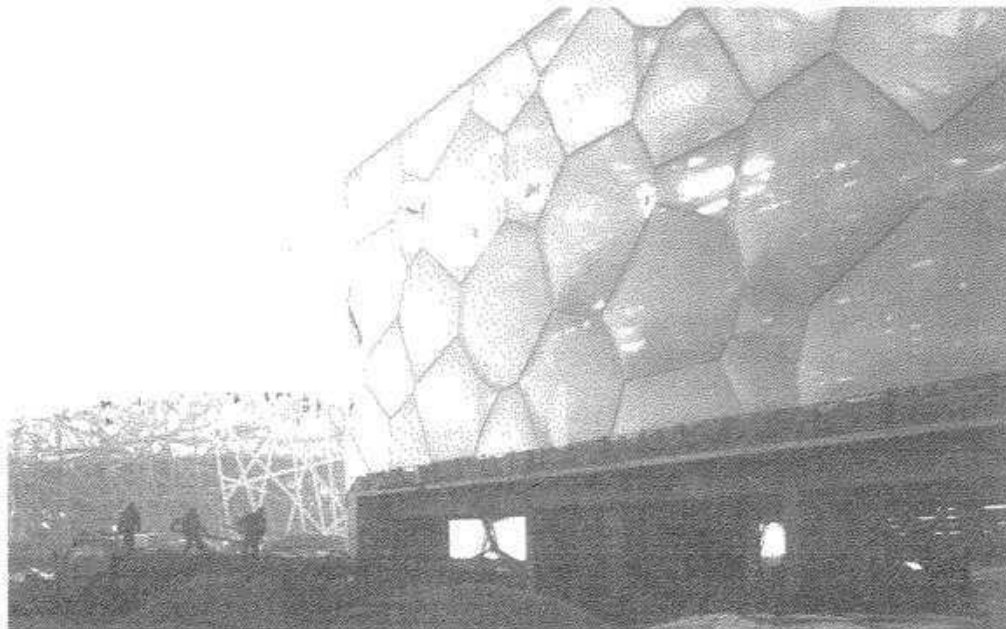
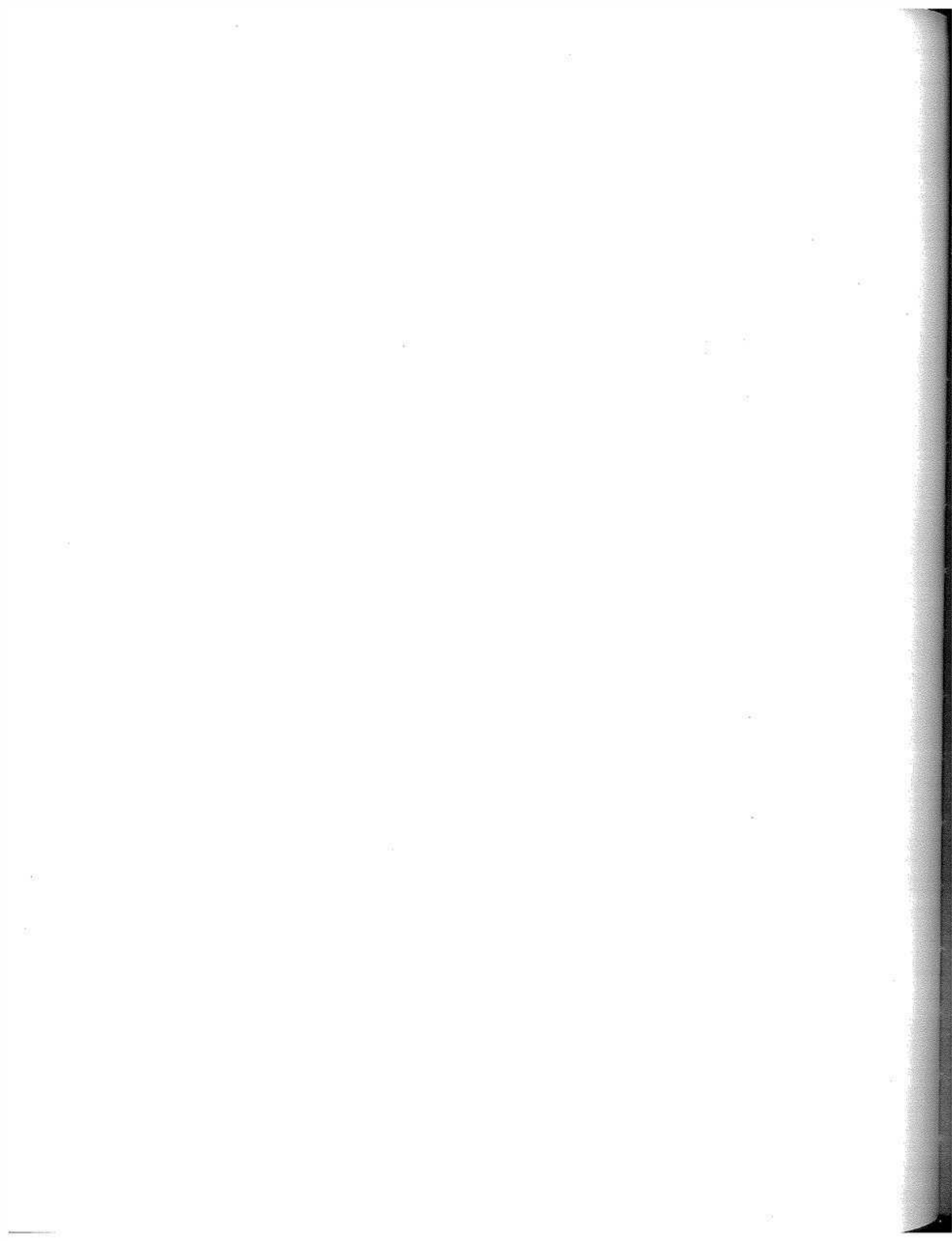
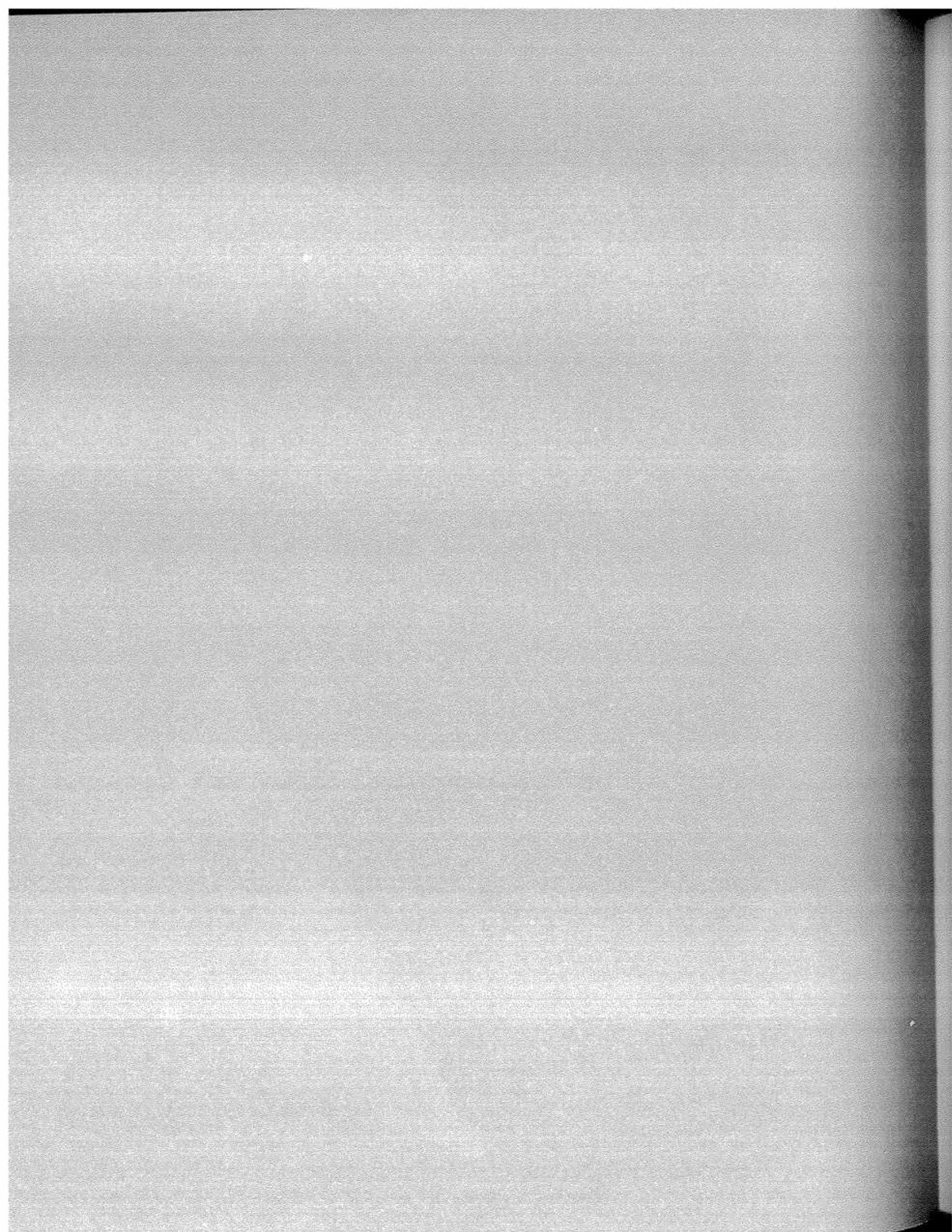


Fig. 54: Los almohadones neumáticos formados por membranas de plástico permiten una configuración libre de la fachada PTW Architects: piscina cubierta para los Juegos Olímpicos de 2008, Pekín, China, 2008





Construir bajo tierra

Alois Diethelm

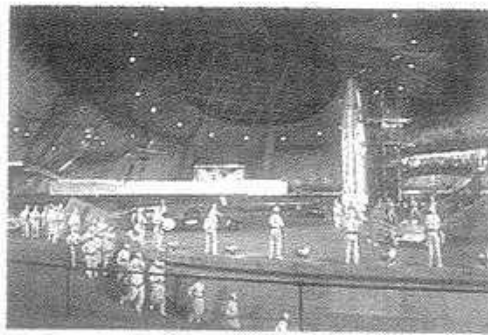


Fig. 1: El subsuelo plasmado como mundo anónimo y secreto
Escenario de rodaje de la película de James Bond *Sólo se vive dos veces* (1967)

Las construcciones subterráneas están presentes en todas partes, aunque apenas sean perceptibles; constituyen un hecho que, dependiendo de la situación, puede resultar fascinante o provocar rechazo. Lo que se desconoce total o parcialmente, por ser invisible, fomenta conjeturas acerca de su auténtica singularidad. Nosotros especulamos sobre "la ciudad bajo la ciudad" como un organismo vivo que se ha materializado en las más diversas infraestructuras o en las huellas de tiempos pasados (como ocurre con Roma, una ciudad fruto de sucesivas destrucciones y reconstrucciones). Esperamos que tras puertas y huecos imperceptibles yacían magníficas obras "secretas", como complejos o refugios defensivos. A su vez, en Europa, y especialmente en Suiza, las construcciones subterráneas constituyen hoy la expresión de una expansión espacial que no debe modificar la imagen urbana que nos resulta familiar. En construcciones preexistentes, cuyo valor arquitectónico depende en parte de la relación entre el edificio y el contexto, encontramos intervenciones bajo tierra que pasan "desapercibidas" y satisfacen las nuevas necesidades espaciales. El mismo destino alcanza a edificios cuyo uso es indispensable para la vida moderna de la colectividad, aún suponiendo concesiones desagradables, como, por ejemplo, los aparcamientos.

Los ejemplos siguientes intentan definir las diversas categorías y características de las construcciones enterradas, atendiendo a su relación con la topografía y a los principios utilizados respecto a su configuración espacial. Se trata de analizar las condiciones, posibilidades y límites específicos que encierran los edificios subterráneos. A su vez, se plantea repetidamente la cuestión de la experimentación de lo enterrado: ¿qué conceptos podemos considerar "automáticamente" como immanentes?, ¿cuándo se requieren "medidas adicionales"?

Lo subterráneo a flor de tierra

Actualmente, en nuestras latitudes, incluso en edificios que se encuentran totalmente sobre el nivel del terreno, la actividad constructiva comienza con una excavación. Ello es debido a la necesidad de asentarlos sobre una cimentación sólida y resistente a las heladas. El modo más fácil y práctico de conseguirlo (además del valor añadido que supone contar con un espacio adicional), es mediante la construcción de una planta sótano. En primer lugar se lleva a cabo una excavación en forma de zanja, que hace posible la realización de un espacio subterráneo, variable según las condiciones que impone la altura del edificio. Para el proyecto, resulta relevante saber si la excavación estará ocupada en su totalidad por el edificio (lo que implicaría una protección necesaria del mismo frente a posibles empujes del terreno) o si éste es conce-

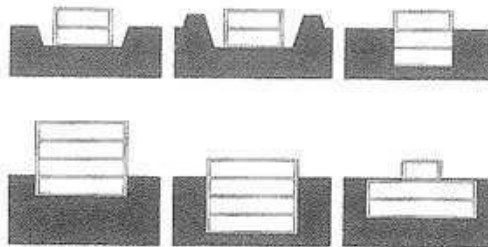


Fig. 4: Esquemas de construcción enterrada en edificios de varias plantas
Arriba (de izquierda a derecha): la excavación como zanja abierta, cuyo material extraído configura un terraplén en torno al edificio o rellena totalmente el espacio excavado. Debajo: relaciones posibles entre la parte situada por encima del terreno y la enterrada

bido como un volumen autónomo, independiente de los muros de contención de la excavación. Este último caso permite una construcción idéntica tanto de las plantas enterradas como de las situadas por encima del terreno, facilitando además tanto la iluminación como la ventilación natural.

La cuestión de la construcción enterrada en edificios en altura plantea de nuevo el problema de la relación entre las partes que están por encima y las que se encuentran por debajo del terreno. Con ello se está pensando no sólo en una expansión vertical, sino también en una horizontal. Por un lado, podemos considerar la construcción de pisos subterráneos, cuyo número dependerá de la profundidad de la excavación. En otras palabras, puede darse un volumen constructivo que, según la profundidad de la excavación muestre más o menos plantas bajo el nivel del terreno. Por otro, podemos contar con la posibilidad de construir sótanos con una superficie en planta mayor que la de los pisos superiores. Lo que en este

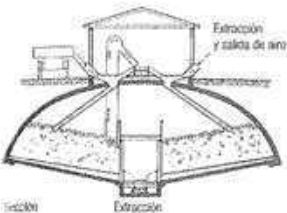


Fig. 2: Desde el exterior no se percibe ningún indicio de la existencia de un espacio enterrado: la bóveda como estructura ideal
Almacenamiento de patatas según el modo de construcción sueco

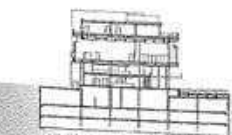


Fig. 3: Las partes del edificio situadas por encima y por debajo del terreno se desarrollan espacialmente entre sí de manera independiente, pero muestran una estructura de pilares continua
Richard Roth: edificio para el personal de la empresa Hoffmann-La Roche, Basilea, Suiza, 1971

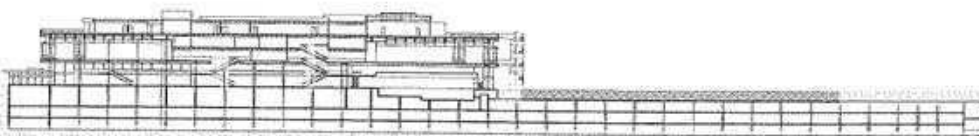




Fig. 5: Ampliación espacial hacia el exterior con los árboles como indicio de que existe un lugar construido bajo tierra
Tadao Ando: edificio de seminarios de Vitra, Weil am Rhein, Alemania, 1993

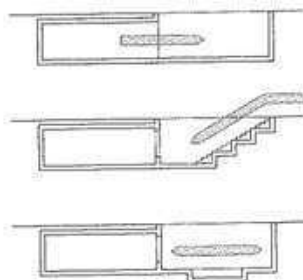


Fig. 6: Ampliación espacial horizontal
Relaciones (de arriba a abajo): interiores-exteriores, exteriores-interiores y centradas



Fig. 7: Incidencia de la luz cenital como la característica del espacio introvertido
Pierre de Zoelly: enterramiento hipotético del Panteón de Roma, Italia, 118-129 d. C.

caso vemos sobre la superficie es sólo una parte del edificio; como si fuera un submarino anclado del que tan sólo emergiera la escotilla sobre el agua. Se puede suponer por tanto que la mayor parte de las cubiertas planas no se encuentran sobre las casas, sino sobre terrenos y bases aparentemente firmes, sobre calles, plazas y jardines y, debido a ello, permanecen "invisibles".

La relación con el "mundo superior"

Al hablar de espacios subterráneos pensamos enseguida en grutas húmedas con atmósferas penumbrosas, pero ¿se corresponde todavía esa imagen con los métodos de construcción de hoy y las tareas actualmente planteadas? Tan sólo unos pocos usos, objetivamente ligados al subsuelo, deben tener lugar bajo tierra debido a sus condiciones específicas. Ya se mencionaron las posibles causas que explican el hecho de construir bajo tierra: la mayoría de ellas responde al deseo de proteger la imagen del entorno exterior (del paisaje o del lugar). En estos casos, de ello no se deriva ningún beneficio respecto al valor del espacio interior, al contrario: la imposibilidad de iluminarlo de forma natural se asume realmente como una carencia. En consecuencia, la iluminación y el grado de relación con respecto al espacio exterior o al situado por encima del nivel del terreno se convierten en un aspecto esencial de la edificación bajo tierra contemporánea.

Frente a esta dificultad, existe la posibilidad de iluminación cenital en el techo y la entrada de luz lateral si practicamos huecos en las paredes. Estas perforaciones —huecos o paredes "que faltan"— pueden configurar ampliaciones espaciales de los más diversos tamaños: desde patios de luz mínimos hasta grandes espacios exteriores, con frecuencia también transitables. La relación de estos ámbitos exteriores con el "mundo superior" oscila entre la mera conexión visual y una auténtica prolongación física, un *continuum*, del espacio. Las referencias dentro del campo visual —como edificios, árboles y personas— contribuyen a experimentar el espacio exterior enterrado como tal, mientras que la interconexión entre el ámbito superior y el inferior genera una relación espacial (ya sea con el objetivo de atraer el entorno hacia el subsuelo o de elevar los usos que se desarrollan bajo tierra, llevándolos hasta el espacio urbano o paisajístico). A diferencia de los patios de luces que, como su propio nombre indica, sirven tan sólo para captar la luz, los espacios exteriores configurados como patios transmiten la temperatura ambiente al subsuelo y, con frecuencia, contrarrestan la impresión de estrechez que causa una construcción bajo tierra. Con ello se cuestiona también otro aspecto de la experimentación espacial: el aislamiento, según el cual la percepción de un ámbito cerrado no está influenciada por el clima, la hora, la estación del año u otros acontecimientos. Sirvan como ejemplo los búnkers militares, cuya independencia se ve además reforzada por el autoabastecimiento eléctrico; los estudios de grabación y salas de ensayo, que deben aislarse acústicamente del

entorno; o las bodegas, donde una temperatura y una humedad constantes resultan de capital importancia. No considerar el entorno obliga no sólo a una ventilación artificial, sino también a una iluminación artificial, lo que constituye otra característica fundamental de las construcciones enterradas (al igual que la luz cenital). Al fin y al cabo, esto sirve también para estancias interiores construidas sobre el nivel del terreno y, generalizando todavía más, para todos aquellos espacios que gozan de una gran introversión. Ésto es lo que demuestra sugestivamente el dibujo de Pierre Zoelly de la sección del Panteón enterrado hasta su óculo. ¿Se necesitan entonces las huellas de la humedad en las paredes para experimentar un espacio construido enterrado?

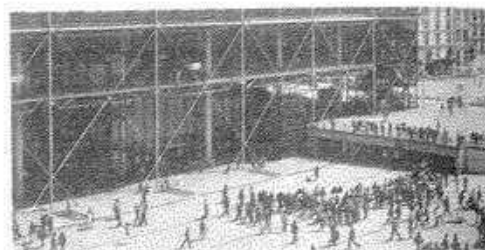


Fig. 8: Una plataforma inclinada conecta la entrada enterrada con el nivel de la calle
Renzo Piano y Richard Rogers: Centre Georges Pompidou, París, Francia, 1977

Conceptos topográficos

Una vez desligada de los aspectos estéticos o incluso ideológicos, la construcción subterránea —como cualquier otro tipo de construcción— tiene su origen en la necesidad de protección del hombre: de las inclemencias meteorológicas (sol, lluvia, viento, etc.), de los animales o de otros hombres. Partiendo de la importancia objetiva de esos peligros, y teniendo en cuenta las circunstancias topográficas y geológicas particulares, el espectro de cuevas (naturales, modificadas o construidas por entero como nuevas) varía desde los asentamientos del terreno hasta elevaciones cubiertas de tierra.

Cuevas. La cabaña primitiva maciza

Las cuevas que aparecen en las rocas de forma natural constituyen moradas humanas que no precisan adecuación especial alguna. La experimentación espacial de la construcción maciza fue uno de los dispositivos espaciales habituales para la satisfacción de las necesidades de protección y vivienda desde los tiempos primitivos, mucho antes de que surgiera la posibilidad de elaborar herramientas para labrar la piedra. Los cierres espaciales con pieles de animales o entramados y cubiertas de ramas trenzadas —empleadas a menudo por los pueblos nómadas como material reutilizable— constituyen complementos cuya técnica (por ejemplo, la elaboración de la madera) evolucionará hasta convertirse en componentes sustanciales de una construcción sencilla. Si existía la



Fig. 9: Aprovechamiento de la topografía existente
Antiguo anfiteatro en Stratos, Grecia, hacia 500 a. C.

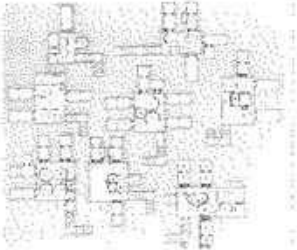


Fig. 10: Patios excavados y escaleras de acceso (sótano primero)
Poblado típico de la región de Xi'an, China

necesidad de construir cuevas, se elegían condiciones geológicas que facilitasen el trabajo, condiciones que, sin embargo, también presentaban por lo general una menor estabilidad. En la construcción de galerías de minas y, en parte, en la de cuevas, se siguen utilizando procedimientos en los que las construcciones de madera o acero contienen los empujes del terreno (suplidos por determinados revestimientos a medida que se desarrollan los avances técnicos). En el caso más sencillo se trata de sujeciones superficiales que impiden la caída de fragmentos de roca. Cuando el terreno es blando o disgregado, los dispositivos pueden convertirse en estructuras de soporte, provisionales o permanentes, que se sustituyen o recubren con un revestimiento portante de hormigón, dependiendo de las solicitaciones. A medida que disminuye la capa de tierra entre las superficies sobre el terreno y los espacios enterrados, nos acercamos más a una explotación a cielo abierto, donde la estructura, una vez construida, se cubre con tierra.

En esencia, la cueva representa una forma de construcción enterrada donde la topografía reviste importancia tan sólo para el acceso y para la entrada homogénea de luz natural. Con frecuencia, la cueva surge como una consecuencia adicional, ya sea por la necesidad de extracción de materias o para conseguir unas condiciones acústicas y climáticas que sólo pueden lograrse a una determinada profundidad.

Depresiones del terreno. Un concepto de luz natural

Las depresiones del terreno pueden estar relacionadas con otros espacios o bien configurar uno propio. Este último caso alude a las depresiones topográficas (como forma primitiva de la morada humana) donde, por ejemplo, se puede dormir a la intemperie protegido del viento. En anfiteatros como el de Stratos en Grecia se aprovecha la topografía existente para colocar asientos para los espectadores en las laderas y convertir el suelo de la "fosa" en el escenario, con una mínima transformación del terreno. Las depresiones producidas artificialmente para iluminar, ventilar y, en ocasiones, acceder a espacios enterrados colindantes, responden a otro concepto muy diferente. En las aldeas de la región china de Xi'an, los patios excavados en la tierra encarnan ejemplarmente la multiplicidad de funciones de los espacios rehundidos. Configuran recintos de paso a las estancias anejas que les proporcionan luz natural y, al mismo tiempo, hacen las veces de espacios de habitación y reunión. Estas depresiones de dimensiones generosas, generalmente de planta cuadrada, constituyen el punto de partida para un desarrollo espacial horizontal que, mediante un proceso de sustracción, como las galerías de una mina, hacen posible la producción de muchos más espacios en cualquier época. Así, es probable que en un principio sólo se excavasen habitaciones sobre dos de los lados y se comenzara posteriormente a hacerlo sobre los otros dos, cuando hubo necesidad de mayor espacio al crecer el núcleo familiar.

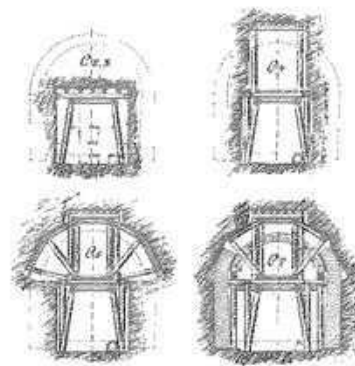


Fig. 11: Consolidación de rocas con cimbras de madera; la cimbra se va desmontando a medida que se construye el muro de revestimiento
Secciones transversales del túnel del ferrocarril de Albita, Los Grisones, Suiza, 1903

A vista de pájaro, la ampliación de la sede de la Unesco en París, obra de Bernard Zehruss, no se diferencia mucho de los poblados chinos mencionados. Pero una observación más detallada muestra que esta intervención responde a conceptos programáticos, estructurales y urbanísticos completamente distintos. Mientras que en las aldeas subterráneas chinas los rehundimientos del terreno constituyen el principio de un proceso constructivo, en París permanecen como lugares "sobrantes", sin edificar. El complejo fue construido como una mina a cielo abierto y, por tanto, recubierto de terreno una vez concluido. En un caso, la construcción enterrada responde a motivos climáticos, en el otro, a la relación con el entorno edificado que propiciaba una ampliación "ape-nas perceptible".

El edificio que Zehruss construyó en 1958, en colaboración con Marcel Breuer y Pier Luigi Nervi, asume una posición especial dentro del contexto: en el norte articula

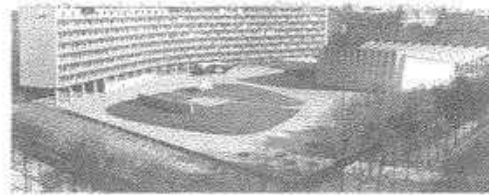


Fig. 12: Arriba: edificio principal de la Unesco en su estado original, con la plaza situada delante
Debajo: ampliación posterior con los patios construidos bajo el nivel del terreno
Marcel Breuer, Bernard Zehruss y Pier Luigi Nervi: sede de la Unesco, París, Francia, 1958

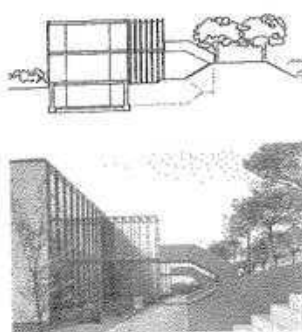


Fig. 13: Desmonte de tierras que forma un terraplén situado delante de un edificio: protección acústica y acceso a la planta primera.
Fritz Haller: escuela Haller, Solothurn, Suiza, 1959

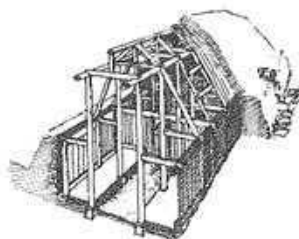


Fig. 14: Estructura de entramado de madera recubierta de turba.
Casa alargada (skali), Islandia



Fig. 15: El edificio se convierte en la topografía.
Bearth & Deplazes: telesilla de Carmenna, Arosa, Suiza, 2000

la Place de Fontenay con la estructura urbana, mientras que en el este y en el oeste (a tenor de los principios del movimiento moderno) libera grandes superficies que, según el concepto de composición abierta, están construidas sólo puntualmente y a pequeña escala. Con la ampliación efectuada bajo el nivel del terreno se salvaguardaron las proporciones volumétricas, pero se modificó sustancialmente el carácter del espacio público. Por tanto, sería falso suponer que las intervenciones soterradas permiten conservar intacto el contexto urbano.

Elevaciones del terreno. Topografías construidas

En los ejemplos anteriores, el espacio bajo tierra surgía mediante la extracción de material, con carácter inmediato en el caso de las cuevas, de manera indirecta en las construcciones con una excavación abierta. Sin embargo, las elevaciones del terreno necesitan un material adicional que, en condiciones ideales, procede de excavaciones en el propio lugar, donde el material extraído se emplea para su propia configuración. Aunque no sea propiamente una arquitectura soterrada, la escuela Bellach de Fritz Haller en Solothurn (1959-1960) ilustra las posibilidades de aprovechamiento de un movimiento de tierras. Entre la escuela y las instalaciones deportivas se encuentra un terraplén que protege del ruido y facilita el acceso a la planta superior de un edificio que carece de escaleras interiores.

A menudo, la elevación de los edificios sobre el terreno da a entender las condiciones topográficas preexistentes del espacio enterrado: un paisaje ondulado al que se le añade otra colina o una elevación existente cuya altura se aumenta. Los depósitos de agua y los hospitales militares funcionan de esta manera. Los primeros aprovechan una situación elevada (para aumentar la presión de servicio), están menos expuestos a los cambios de temperatura gracias a la masa de tierra que los rodea y, además, "estropean" menos la imagen del paisaje, bien sea natural, rural o urbano. En ambos casos (depósitos de agua y hospitales militares), un prado de suaves ondulaciones difumina la geometría que subyace debajo. Junto a la estrategia del contraste entre el interior y el exterior como recurso clásico de camuflaje, se busca en otros casos una interacción: una influencia recíproca entre la apariencia exterior y la interior. Esto puede observarse perfectamente en el telesilla de Carmenna, en el valle de



Fig. 16: Silueta del tejado plegado con las montañas como fondo.
Bearth & Deplazes: telesilla de Carmenna, Arosa, Suiza, 2000

Arosa (Suiza), obra de Bearth & Deplazes. La topografía quebrada, de suaves elevaciones y descensos, se interpreta en el tejado de faldones plegados linealmente. En el lado de la entrada, los pliegues aparecen como una silueta abstracta del macizo montañoso en el horizonte. Cuanto mayor es la distancia del borde sobre el tejado, más difusa se vuelve la distinción entre lo construido y la topografía natural. La tierra sobre la cubierta convierte los pliegues en curvas, y las superficies del tejado se funden en tres de sus lados con el terreno en terraplén. Tan sólo el telesilla, y con él la abertura a través de la cual se introduce en el interior de la "colina", dan testimonio de la artificiosidad de la topografía sobre la ladera.

Si bien la fusión con el lugar constituye un objetivo



Fig. 17: El edificio se adapta al paisaje, tanto por su forma como por los materiales empleados.
Museo al aire libre Skogar, Islandia

fundamental del proyecto en Arosa, en las construcciones islandesas de turba recubiertas de hierba, este hecho surge de manera casual. Ante la escasez de un barro adecuado para la fabricación de tejas y ladrillos, los tejados se recubrieron con turba (ya desde la colonización del país en el siglo IX). Sobre estos tejados crece hierba que, con sus espesas raíces, forma una capa enmarañada que actúa como barrera de protección impermeable en regiones con muy escasas precipitaciones (alrededor de 500 mm/año). La duración de la capacidad impermeabilizante depende directamente de la pendiente de la cubierta. Si ésta es demasiado inclinada, el agua fluye tan deprisa que la turba comienza a secarse en los periodos de escasas lluvias y el tejado se agrieta. Si, por el contrario, la cubierta es excesivamente plana, el agua se filtra al interior. Además, la turba regula la humedad y asume diversas funciones de acumulación. Una construcción sencilla de madera (ligera, como la estructura de acero de la estación para el funicular de Arosa) sirve como soporte para la turba en el ámbito de la cubierta, e impide el desprendimiento de aquella gracias a unos muros exteriores macizos. Las cubiertas de color verde, delimitadas por suaves líneas de contorno, parecen cumbres de colinas de un paisaje variado, mientras que el color marrón musgo de los muros de turba recuerda los accidentes del terreno. La integración, por tanto, no se produce porque la hierba o los prados se extiendan como una alfombra sobre el edificio, sino por la incorporación de temas

ya existentes. Con ello se hace referencia tanto a esos accidentes o textura del paisaje como a su ritmo. Los pueblos en los valles de Tesino y Engadina son ejemplares en este sentido. En ellos, los edificios se construyen totalmente de piedra. La piedra se obtiene en el propio lugar y constituye, en forma de rocas monolíticas o fragmenta-

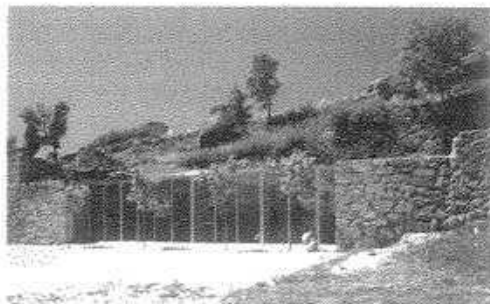


Fig. 18: Fusión del edificio y la topografía por medio de muros de contención
Eduardo Souto de Moura: casa en Baião, Portugal, 1991-1993

das, la estructura de casas y muros de contención; los límites son fluidos. Algo parecido sucede con la casa en Baião de Eduardo Souto de Moura, donde las partes de las fachadas laterales de piedra sin tallar se convierten en aparentes muros de contención del conjunto, de manera que la transición entre el terreno y la cubierta se hace imperceptible.

Si en este caso puede hablarse de una naturalidad de lo artificial, en otros, como en el templo de Abu-Simbel (cuya entrada está flanqueada por cuatro figuras de 20 m de altura talladas en la roca), los términos se invierten, pudiéndose hablar de una artificiosidad de lo natural.

Conceptos de configuración del espacio

En los apartados anteriores se ha tratado el proceso de la construcción bajo tierra de una manera más bien temática. A continuación deben exponerse los principios de la configuración espacial, desde la generación del espacio individual al desarrollo tridimensional de secuencias o sucesiones espaciales, y que surge como consecuencia de las condiciones específicas y las posibilidades intrínsecas de la construcción bajo tierra.

Conceptos geológicos

Las relaciones geológicas influyen sobre diversos planos en la configuración espacial. Así, la propia disposición de los estratos de piedra, superpuestos o colindantes, condiciona el desarrollo espacial, ya que se elige la capa que resulta más fácil de trabajar (por ejemplo, la piedra arenisca, más blanda, frente a la caliza). Con ello, el lugar concreto de un espacio o de una secuencia espacial se ve supeditado a aspectos económicos asociados a la geología. En este caso, el cambio de material configura, como mucho, los límites de la expansión espacial. Tanto la capacidad portante y, con ella, las posibles luces que determinan las dimensiones del espacio, pueden verse condicionadas por la estructura del estrato limitrofe. En el caso más sencillo se retira tanta piedra "blanda" como sea posible, dejando, eso sí, fragmentos sobrantes de muros o pilares que trabajen a tracción y soporten la formación rocosa superior (que descansa más o menos horizontalmente), sin necesidad de trabajos posteriores. Si la distancia vertical entre dos estratos duros es reducida, será preciso trabajar el estrato superior macizo configurando formas estructuralmente ideales, arcos, trapecios o elipses para la formación de bóvedas o cúpulas que salven grandes luces. Si,

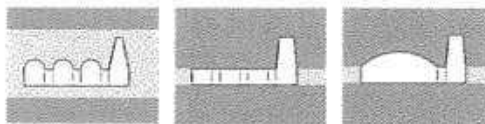


Fig. 21: Configuración espacial en roca maciza
Izquierda: roca blanda; luces pequeñas con arcos
Centro: roca dura; luces pequeñas sin arcos
Derecha: roca dura; luces grandes con arcos

por el contrario, los estratos se encuentran muy separados, el desarrollo espacial depende sólo de las condiciones impuestas por la formación rocosa. Por supuesto, también en este caso pueden conseguirse grandes luces mediante arcos o construcciones peraltadas, siempre y cuando las relaciones geológicas internas sean homogéneas.

De este modo, el lenguaje formal refleja las posibilidades estáticas, por un lado, y, por el otro, el proceso constructivo (ya sea por los agujeros taladrados o por los ángulos redondeados provocados por los movimientos circulares que describe el brazo humano al horadar la roca con el pico).

En la era preindustrial, la difusión del "concepto geológico" reunía las propiedades de las rocas por la facilidad de su trabajo y la gran estabilidad propia. A este respecto, los loess, unas arenas de marga, resultan ideales. En algunas regiones, sobre todo en Henan (China), se cuenta con una tradición en el campo de las construcciones enterradas que se mantiene viva desde la edad de piedra hasta nuestros días. Ejemplos semejantes se hallan, entre otras, en la región de Matmata (Túnez) y en Guadix, provincia de Granada (España).



Fig. 19: La roca natural tallada adquiere un carácter artificial
Templo de Abu-Simbel, Egipto

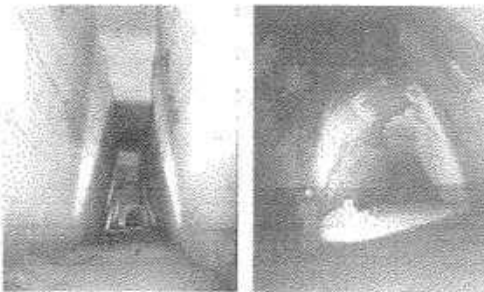


Fig. 20: Bóvedas de toba en Nápoles
Secciones transversales trapecoidal y elíptica como formas estáticas ideales

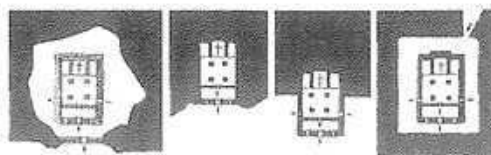


Fig. 22: Tipologías de las iglesias etíopes excavadas en la roca. De izquierda a derecha: construida en una gruta, excavada en la roca y monolítica.

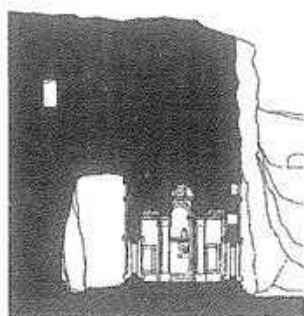
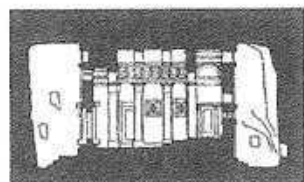
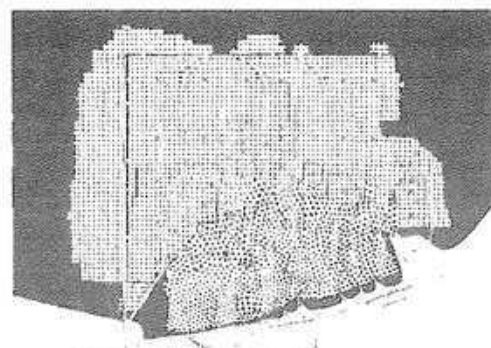


Fig. 23: Iglesia de Libanos, Etiopía, hacia 1400. La talla de la roca en todas sus caras hace que surja una construcción de muros y pilares monolíticos.



La creación de espacios en formaciones rocosas de mayor dureza, conseguidos mediante un esfuerzo razonable, ha sido posible desde la introducción de la dinamita, descubierta en 1867, y de los métodos mecánicos de extracción. Ciertamente es que los egipcios construyeron enormes tumbas en la roca en el valle de los Reyes 1.500 años a. C., y que en Etiopía se realizaron una serie de iglesias totalmente excavadas en la roca durante la edad media. Entre estas últimas, la anchura excavada se extiende desde el núcleo interior hasta la liberación total de las paredes exteriores de la iglesia; el desmonte de material hace superflua la existencia de muros monolíticos que soporten la masa de roca que descansa por encima de ellas como cubrición. En cuanto construcciones de "un espacio dentro de otro espacio", las iglesias etíopes son difícilmente localizables debido a la masa que las rodea, pero disponen de fachadas libres como las iglesias exentas.

Actualmente, la excavación de las masas rocosas tiene como principal objetivo la obtención de piedra, la extracción de materias primas (como carbón o sal) o la eliminación de obstáculos (como en la construcción de túneles o en el movimiento de tierras para edificación). Son raros los casos de ejemplos contemporáneos que aprovechen de modo directo las propiedades específicas de la piedra: su alta capacidad de acumulación térmica que, en lugares bajo tierra libres del influjo de las estaciones y los cambios de temperatura a lo largo del día, ofrece un comportamiento climático constante con un uso mínimo de tecnología y mantenimiento. Por ello se utiliza, por ejemplo, el Great Midwest Underground (Kansas City, Misuri), un espacio refrigerado de producción y almace-



namiento con una superficie de casi 300.000 m². Este ejemplo es especialmente interesante porque hace uso simultáneo de las propiedades de acumulación climática y de la gran resistencia portante de la roca existente. Al igual que en las mencionadas iglesias etíopes, mediante la excavación se consigue una estructura monolítica (una red regular de pilares) que no precisa de medio auxiliar alguno.

Conceptos constructivos

Un factor esencial de esta arquitectura —y ahí estriba una diferencia fundamental con la edificación en superficie— es la acción permanente de los empujes del terreno desde varios lados sobre el edificio. A este respecto, pueden establecerse dos modos de construcción diferenciados: sistemas autárquicos que sencillamente soportan los esfuerzos y sistemas complementarios que sólo funcionan mediante la acción de fuerzas externas.

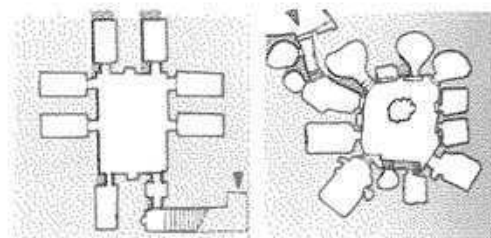


Fig. 25: El patio como núcleo central, con muchas habitaciones agrupadas en torno a él. Izquierda: Luoyang, valle del Henan, China; derecha: Matmata, Túnez.

Dentro de estos últimos se encuentran las cuevas de Monte Albán, en el sureste de México, donde las placas de piedra del techo apoyadas unas contra otras alcanzan su estabilidad gracias exclusivamente a la carga y a la resistencia del terreno.

Dentro de los sistemas autárquicos cabe diferenciar entre elementos portantes por su sección o por su forma. Si, por una parte, un elemento constructivo se dimensiona de forma que (de acuerdo con la ley de gravedad) se sostiene por sí mismo y, por otra, es capaz de absorber los esfuerzos horizontales que actúan sobre él en su sec-



Fig. 24: Pilares monolíticos de 7,5 x 7,5 m; distancia entre ejes de 19,5 m. Great Midwest Underground, Kansas City (Missouri), Estados Unidos, desde 1940.

Fig. 26: Espacio macizo vaciado bajo tierra y utilizado como almacén y cámara refrigerada. Great Midwest Underground, Kansas City (Missouri), Estados Unidos, desde 1940.

ción transversal, hablamos de un elemento portante activo por su sección. Contrariamente, una construcción puede realizarse con una mayor esbeltez en la medida en que la forma del elemento sometido a esfuerzos estáticos se hace corresponder con la trayectoria y distribución de éstos dentro del mismo (elemento portante activo por su forma). Desde este punto de vista, un abovedamiento (por ejemplo, la bóveda de un túnel) constituye un sistema estructural ideal, pues aplicado verticalmente trabaja como un sistema de muros portantes en arco. En los de-

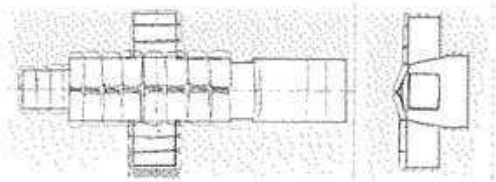


Fig. 27: Grandes losas de piedra apoyadas unas en otras y encajadas en el terreno
Tumbas (planta y sección) en Monte Albán, México

pósitos de la fábrica de aluminio Chippis, éstos surgen como adición de elementos de cubrición curvos cuya plasticidad reacciona ante los esfuerzos a que se ven sometidos. Con una curvatura plana se consigue sólo la resistencia a pandeo de los elementos en arco, pero no se garantiza su estabilidad. Para conseguir su estabilidad es necesario añadir nervios, lo que exige ampliar la altura de cumbrera o una disposición en anillo de los elementos de cubrición. Por lo general, las estructuras activas por su forma funcionan de un modo intensivo, pero precisan menos material y explicitan claramente la relación de fuerzas existente. Las activas por su sección necesitan más material y "niegan" el flujo de fuerzas pero, por otra parte, en su mayoría se realizan con menos gasto.

Los sistemas estructurales activos por su sección ayudan además al refuerzo de la construcción, lo que a partir de una determinada profundidad se convierte siempre en un tema central. Cuando la excavación presenta una superficie reducida, ésta se sujeta con un apuntalamiento en anillo soldado. Si la distancia entre los ángulos es grande, entonces el apuntalamiento se refuerza todavía más. En caso de que no haya edificios o instalaciones colindantes que impidan el taladrado, el apuntalamiento se realiza con anclajes en el terreno. Si se aumenta el número de anclajes es posible incluso prescindir del apuntalamiento. A la inversa, los anclajes son innecesarios cuando el edificio colabora como un elemento mismo de refuerzo. La propuesta de concurso de Christian Kerez para la ampliación de la escuela cantonal Freudenberg en Zürich-Engel, aporta un concepto muy evidente al respecto (y, en general, para todas las construcciones bajo tierra). Aunque la planta parezca describir aparentemente una figura libre y arbitraria, en realidad surge del máximo aprovechamiento de la superficie edificable situada entre las construcciones y los árboles preexistentes. El perímetro exterior muestra, por tanto, codos y segmentos curvos

de apariencia complicada. Con el muro de contención propuesto, formado a partir de la adición de pilotes individuales, la geometría del edificio carece de significado, puesto que, gracias a su forma redonda, la conexión entre pilotes permanece inalterada ante cualquier cambio de dirección que se produzca. En otras palabras, para la construcción de un muro, que sea recto o curvo no juega ningún papel. Además, estos muros de pilotes son capaces de soportar cargas verticales (a diferencia de los machihembrados), por lo que trabajan al mismo tiempo como entibación y como muro exterior portante. Kerez aprovecha esta cualidad y emplea el forjado, que descansa sobre los pilotes, para reforzarlos sin necesidad de utilizar anclajes en el terreno.



Fig. 28: Muros de contención en arco para absorber el empuje del terreno
Duchas de combustible de la empresa Chippis, Suiza

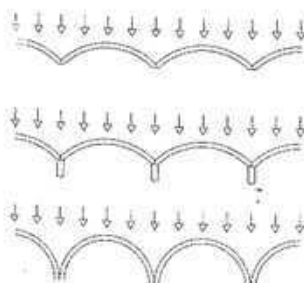


Fig. 29: Muros de contención en arco
Esquemas en planta (de arriba hacia abajo):
líneas curvas sencillas
resistencia mayor gracias a las nervaduras
mejora del comportamiento estático gracias a la mayor altura de la cumbrera

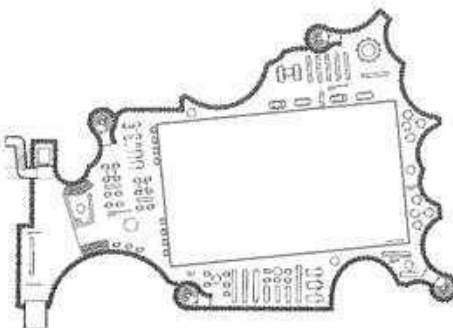


Fig. 30: Forma aparentemente arbitraria, configurada a partir de las construcciones cercanas y de los árboles preexistentes sobre el terreno
Christian Kerez: proyecto para la escuela Freudenberg, Zürich-Engel, Suiza, 2002

Conceptos informales

Como el exterior de las construcciones enterradas no es visible, permiten rápidas ampliaciones incontroladas y por adición. Con ello se hace referencia al desarrollo espacial de un programa sin la influencia de las habituales "fuerzas" externas; no existe en este caso ni un contexto urbano que sea un parámetro que haga plausible una determinada volumetría (en el sentido de una adecuación a ese contexto), ni tampoco entran en juego factores estéticos que contribuyan a condicionar la imagen plástica de todo el proyecto pensado de dentro a fuera. No hay en esencia una forma exterior que tenga que ser "bella". Pese a esta enorme libertad, hoy en día los edificios enterrados son en su mayoría "cajas simples", que sólo rechazan esa forma como consecuencia de la infraestructura preexistente (instalaciones), límites parcelarios y catas geológicas, pues los presupuestos reducidos dan pie, por lo general, a volúmenes sencillos. Las irregularidades aumentan la superficie de revestimiento de un edificio y generan complicadas configuraciones en ángulo. Estos juegos formales son rentables tan sólo en sección, cuando

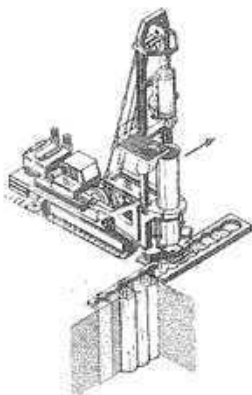


Fig. 31: Muro de pilotes de perforación. Solo se perfora y hormigona cada segundo pilote, el terreno actúa como encofrado.

los retranqueos de una planta de altura hacen posible excavaciones que no requieren medidas adicionales de seguridad (como muros de contención anclados en el terreno).

El término "conceptos informales" alude aquí a un conjunto de contenidos en el que tienen cabida todas aquellas construcciones cuya naturaleza no se basa específicamente en condiciones geológicas o técnicas, sino que configuran un hecho imperceptible. Aquí se engloban tanto la caja compacta, el conglomerado espacial en expansión (sometido a fuerzas interiores) y el contenedor parcialmente "perturbado" (sometido a fuerzas exteriores). Con frecuencia, la ausencia de reglas es la única regla (al menos la falta de aquellas reglas que pueden derivarse de la construcción bajo tierra).

Un amplio espectro de condicionantes muy diversos aún el conglomerado espacial en expansión. En ocasiones surge como resultado de la ejecución ideal de una transformación espacial activa, en otras porque la creciente necesidad de mayor espacio con los años ha ido encontrando regularmente, y según lo deseado, respuesta en el subsuelo (por ejemplo, en áreas industriales del interior de la estructura urbana o sin reservas de suelo), o cuando la escasez de espacio se manifiesta ya en la fase de planeamiento, pero la construcción de una planta más amplia de subsuelo se considera desproporcionada. Los espacios adicionales se incorporan en las dimensiones precisas exigidas allí donde se necesitan o donde, por otros motivos, "se encuentran disponibles". El conglomerado espacial que crece responde tanto al pragmatismo del "todo vale" como al resultado de secuencias espaciales controladas con precisión. Lo informal, es decir, lo desprovisto de normas, significa también que se reacciona ad hoc y en función de la situación, tanto a las fuerzas exteriores como a las instalaciones o modificaciones geológicas puntuales del terreno ya mencionadas.

Conclusión

El proyecto de Jørn Utzon para el Museo de Arte de Silkeborg (1963) reúne de forma ejemplar muchos de los temas tratados en este capítulo, condensando en una estructura espacial contenedores espaciales más o menos extensibles, dispuestos en hilera unos sobre otros, o bien incrustados unos en otros. Las capas bulbiformes se refuerzan recíprocamente y reflejan (en planta y en sección) una estructura portante activa y, gracias a su dimensión y grado de curvatura, las relaciones entre las fuerzas. Las modificaciones de la sección transversal se manifiestan en las zonas de transición. De haberse construido, el museo de Silkeborg hubiera plasmado "lo subterráneo", conceptual y espacialmente, sin malentendidos o interpretaciones románticas, aunque su iluminación cenital y la experiencia física de la inmersión (concepto de recorrido) como acontecimientos singulares no deben relacionarse forzosamente con las construcciones bajo tierra.

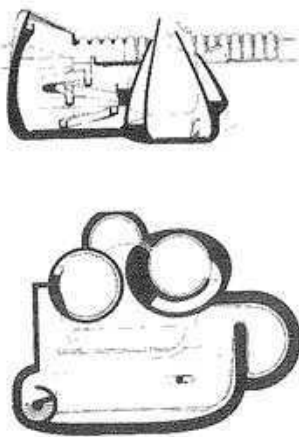


Fig. 32: Paredes abovedadas para resistir el empuje del terreno (como sistema estático portante, activo por su forma). Jørn Utzon: proyecto para el Museo de Arte de Silkeborg, Dinamarca, 1963.

Bibliografía

- Zooly, Pierre, *Terratektur*, Birkhäuser, Basilea/Boston/Berlin, 1989.
- Sterlin, Henri, y Zooly, Pierre, "Unterirdisches Bauen", en *Werk*, 10, 1975.
- Auer, Gerhard (ed.), *Kirchen im Fels*, Zürich, 1972.
- Albertini, Vincenzo, Baldi, Antonio, y Esposito, Clemente, *Napoli: la città riscoperta*, Associazione Napoli Sotterranea, Nápoles, 1996.
- Rudofsky, Bernard, *Architecture without architects*, Museum of Modern Art, Nueva York, 1964 (versión castellana: *Arquitectura sin arquitectos*, Editorial Universitaria, Buenos Aires, 1973).

Preparación de la obra Arquitecto técnico

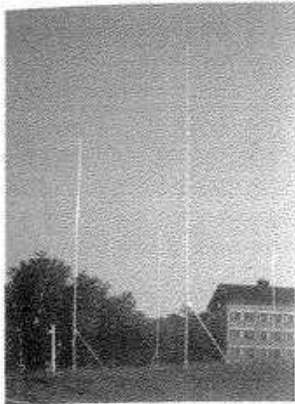


Fig. 33: Visualización de una nueva obra

Datos básicos

Existe un registro oficial digital que engloba prácticamente toda la superficie de Suiza (red de coordenadas y/x con origen en el antiguo observatorio astronómico de Berna: 600.000.000/200.000.000 m). Esta medición catastral suiza se basa en una triangulación (una representación espacial compuesta por múltiples superficies triangulares añadidas unas a otras). La información más importante contenida en dicho levantamiento oficial topográfico es la documentación de terrenos, que describe la distribución de parcelas. Las parcelas se delimitan por puntos limítrofes. La unión de los distintos puntos de límite se denomina recíprocamente línea de límite. Cada elemento (puntos fijos, hitos, puntos del polígono, ángulos de los edificios, pavimentos, objetos específicos, etc.) está numerado. Esto significa que han sido determinados con los valores y/x de la red de coordenadas. En los puntos fijos se marca también una altura z. La medición catastral regula los parámetros del registro de la propiedad.

Fig. 34: Plano del catastro (plano de situación y distribución de parcelas)
Esquema de un replanteo con cuatro puntos

Replanteo

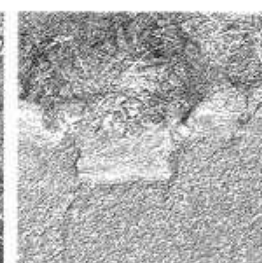
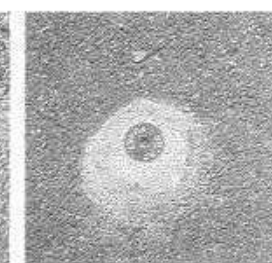
Una vez presentada la solicitud de la licencia de obras del edificio, éste debe replantearse colocando estacas que permitan visualizar la forma en planta del mismo (ángulos entrantes y salientes o retranqueos), la forma de la cubierta (indicación de los bordes del tejado en sus puntos de encuentro con la fachada) y, en caso de necesidad, el nuevo terreno proyectado.

El replanteo se realiza partiendo de los límites de la parcela (líndes) según las medidas proyectadas de distancia del límite. Actualmente, en las áreas urbanas suele intervenir un arquitecto técnico, quien señala y clava estacas en el terreno siguiendo las coordenadas del edificio proyectado, calculadas en el estudio de arquitectura. El replanteo se basa en los puntos fijos facilitados por el registro oficial.

Los datos preparados en el estudio se introducen en el taquímetro. Para orientarse en el lugar se toman determinados puntos de referencia o pináculos visibles de las torres de algunas iglesias. Las coordenadas tomadas sobre el terreno se trasladan al taquímetro y se convierten en valores de ángulo y distancia. El aparato se erige sobre el mismo lugar en el punto de partida apropiado. Para hacer efectivo el replanteo, son necesarios como mínimo dos puntos de referencia. Un ayudante se acerca al punto buscado con un jalón reflectante de medición (para medir las distancias), hasta que se encuentra a pocos centímetros del citado punto. Entonces, en lugar del jalón reflectante clava allí una estaca.

También es posible realizar el replanteo con el GPS. Para ello es preciso que el horizonte se encuentre en su mayor parte libre de árboles o edificios. Para calcular la longitud exacta de los jalones, en el replanteo el aparejador se encarga también de determinar las cotas del terreno. Esto es posible con un pequeño gasto adicional. También resulta práctico el conocimiento de la cota sobre el nivel del mar. Con ello, en un momento posterior, la empresa que realice la excavación puede determinar el nivel de asiento de la cimentación.

Finalmente, tras el replanteo, la fijación de la cota de solera (cota de desmonte) y la determinación del ángulo de talud, se marca el borde de éste con gravilla o con spray de colores. A partir de ahí, la empresa correspondiente puede comenzar con la excavación.

Fig. 35:
Punto fijo en una arqueta de registroFig. 36:
Punto fijo de cota en una fachadaFig. 37:
Hito antes de ser hincado en el terrenoFig. 38:
Hito una vez colocadoFig. 39:
Punto de límite insertado en el terreno

Preparación de la obra

Excavación

Movimiento de tierras

El movimiento de tierras es un trabajo difícilmente predecible que suele planearse en detalle por los ingenieros de obras públicas y los geólogos. Un estudio geotécnico (realizado mediante catas del terreno) permite averiguar datos sobre el material que se precisa excavar y, con ello, la resistencia del terreno. En función de los mismos puede entonces determinarse el modo de cimentación que debe emplearse en la construcción del edificio.

La empresa encargada de la excavación retira en primer lugar el humus (la capa superior de tierra vegetal, de unos 30 cm de grosor) y almacena una parte del mismo junto al terreno removido. Después, procediendo por etapas, inicia la excavación propiamente dicha. En caso de que haya sitio en la parcela o en las proximidades, se depositan allí tanto el humus como el material de relleno necesario para ser utilizado posteriormente (pues el transporte de la tierra excavada es costoso, por lo que debe evitarse en la medida de lo posible).

El manejo de las máquinas exige gran pericia, pues el conductor de la excavadora debe mover la pala con una exactitud calculada hasta el centímetro.

Una vez alcanzado el fondo de la excavación, se vierte una capa de hormigón pobre de limpieza (de unos 5 cm). Este hormigón hace posible disponer de una base de trabajo limpia sobre la que, por ejemplo, pueden señalarse los conductos de las canalizaciones o la solera. En terrenos rocosos se puede prescindir de esta capa.

Por lo general, en la excavación se deja un margen de 60 cm alrededor de la planta del edificio, espacio que sirve de área de maniobra a los operarios. El ángulo del talud (así como, en todos los casos, las medidas necesarias para la solidez y afianzamiento del mismo) depende del tipo de suelo. También debe garantizarse la seguridad de los operarios frente a posibles desprendimientos del terreno. En función de la climatología y de la presión del agua (aguas freáticas o de escorrentía), será necesario aplicar las prescripciones normativas adecuadas para su eliminación.

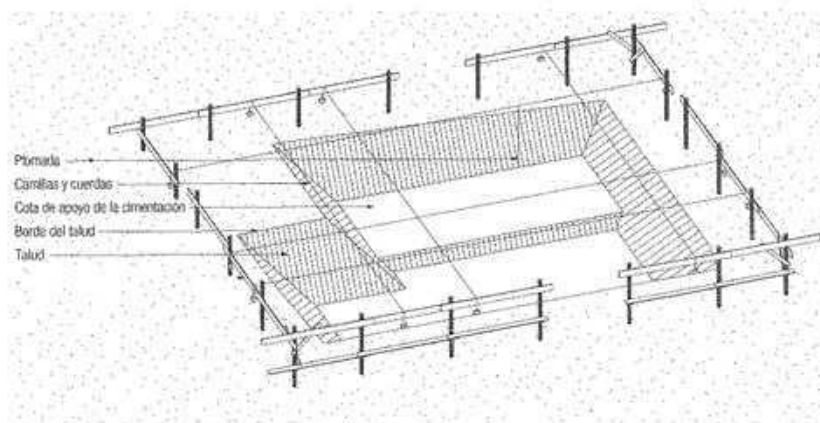


Fig. 40: Superficie excavada con consolidación del talud

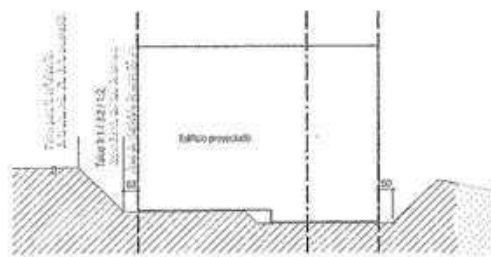


Fig. 41: Esquema en sección de la excavación

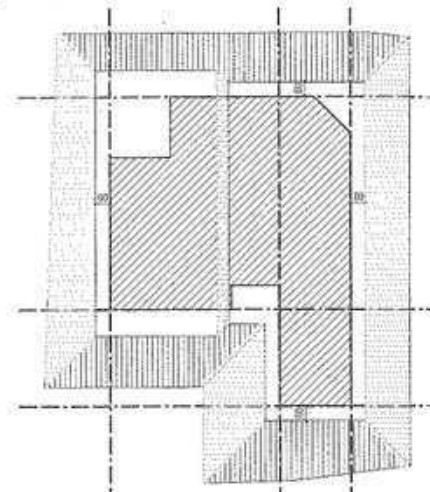


Fig. 42: Esquema en planta de la excavación (representación de los taludes)

Camillas y cuerdas de atirantar

Tan pronto como se ejecuta la capa de limpieza, se procede al montaje de las camillas: se fijan los ejes principales o los bordes exteriores de la obra en bruto con cuerdas y ladrillos. El maestro de obras realiza la comprobación y, a continuación, el arquitecto técnico los revisa tomando como referencia los puntos de unión ya fijados anteriormente. Siguiendo el mismo procedimiento que en el replanteo, señala la alineación de las fachadas sobre las camillas (con una tolerancia de ± 5 mm). La planta se proyecta sobre el hormigón pobre de limpieza con ayuda de plomadas, marcando así la ubicación del edificio. Entonces puede proseguirse con la canalización o con la solera para la ejecución del mismo.



Fig. 43: Consolidación del talud recubierto con láminas de plástico

Cimentación

Planteamiento de la cuestión

"El contacto del edificio con el terreno implica tanto la transmisión de cargas al mismo como su confrontación con la topografía [...]. La cimentación de un edificio es, en el más sencillo de los casos, una consecuencia directa de las decisiones tomadas dentro de un conjunto de circunstancias inherentes a la construcción sobre el nivel del suelo. Tan pronto como el terreno plantea dificultades en el ámbito de la construcción necesaria de ejecutar bajo ese nivel, bien por su topografía, bien por su geología, habrá que reaccionar ante esa realidad".

Extraído de: Ronnet, Heinz, *Beaukonstruktion im Kontext des architektonischen Entwerfens*, Haus Sackel, Basilea, 1991.

Influencias

Solicitaciones mecánicas, biológicas y químicas:

Cargas	Carga propia y de uso
Asentamientos	Compresión del terreno durante y después del proceso de la obra
Empuje del terreno	Esfuerzos que en su mayor parte actúan horizontalmente sobre los muros
Humedad	Atmosférica (precipitaciones) Sobre la superficie terrestre (rocíos) En el terreno (humedades del suelo, heladas, aguas freáticas) Agua en el edificio (difusión de vapor)

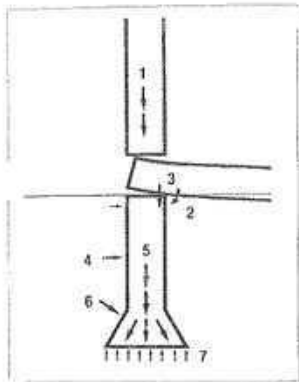


Fig. 44: Diagrama de los diferentes componentes de la carga

- 1 Carga propia y carga útil
- 2 Momento de flexión en el apoyo sobre el terreno
- 3 Compresión en el apoyo sobre el terreno
- 4 Empuje del terreno y de las aguas
- 5 Carga de la propia cimentación
- 6 Propagación de los esfuerzos de compresión (reparto de cargas)
- 7 Presión del suelo (apoyo de la cimentación)



Fig. 45: Barrera de protección contra las heladas

Sin función estructural específica, impide que el agua llegue a penetrar bajo la solera dentro de la zona con riesgo de heladas. En altitudes de hasta 800 m sobre el nivel del mar, la profundidad de esta zona mide 80 cm; en altitudes mayores, 1/10 del valor de la altitud (es decir, para 1.200 m sobre el nivel del mar, 120 cm).

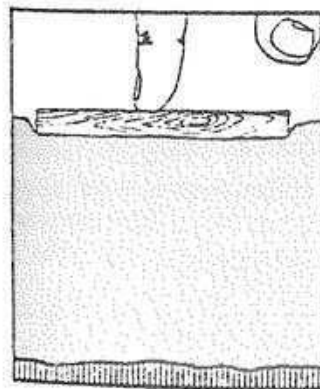
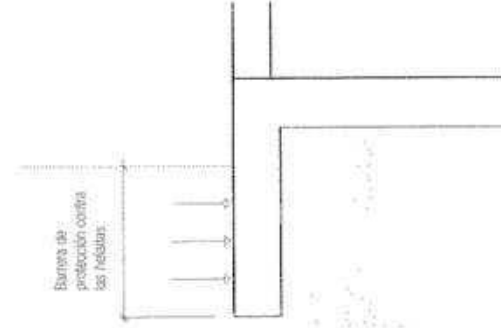


Fig. 46: Cimentación superficial

Para terrenos con capacidad portante homogénea, profundidad de la cimentación = profundidad de la zona con riesgo de heladas (alternativa: barrera de protección contra las heladas)

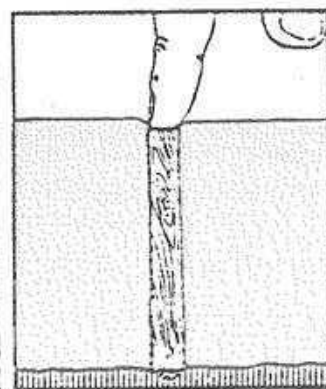


Fig. 47: Cimentación profunda

Para terrenos con capacidad portante desigual o capacidad portante insuficiente, profundidad de cimentación = hasta alcanzar una capa del terreno resistente

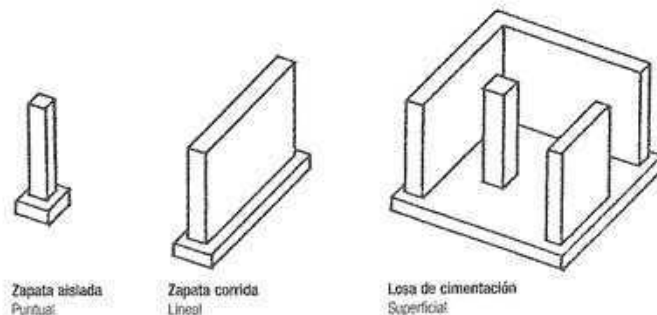
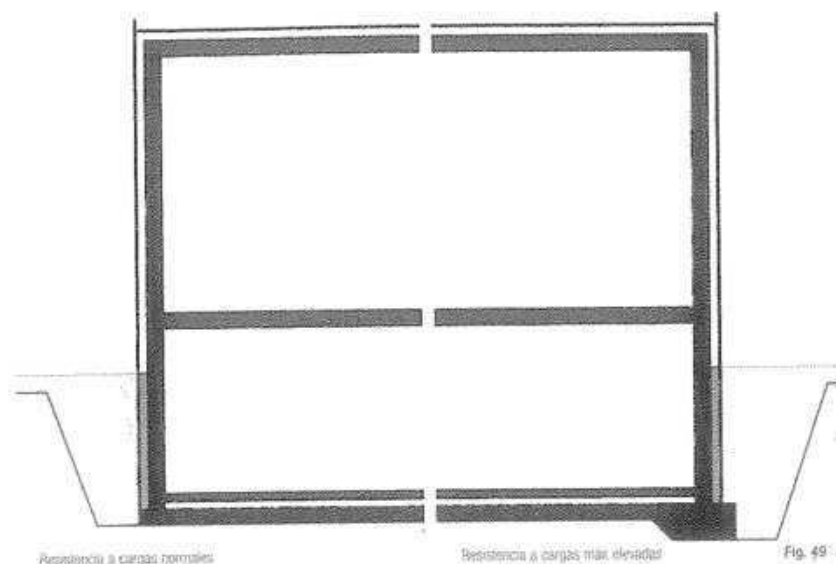


Fig. 48: La cimentación sobresale frente a las partes de la construcción que comienzan a ejecutarse

- a) Debido al reparto de cargas
- b) Para servir de apoyo al encofrado (las partes de la construcción enterradas son hoy en día casi siempre de hormigón)

Diagramas de zócalos

Capa portante interior



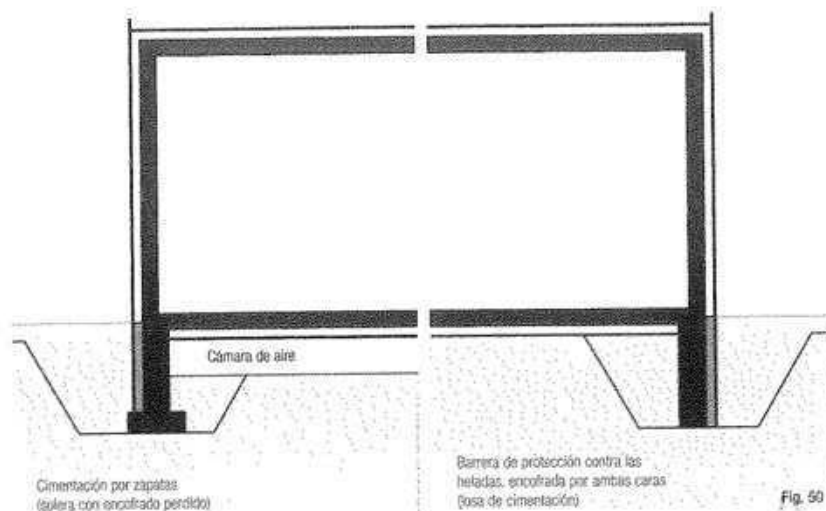
Aislamiento térmico, capa interior portante (caso normal).

Por lo general, todos los elementos de la cimentación relevantes (partes de la construcción bajo tierra) se realizan actualmente de hormigón armado.

Cámara excavada del zócalo

Hundida en el terreno

Apoyo del edificio sobre una losa de cimentación; en caso de grandes cargas, empleo parcial de zapatas bajo los muros; cambio de material del edificio en el aislamiento del perímetro; problema en la base del muro: interrupción del aislamiento térmico en la planta calefactada bajo el terreno



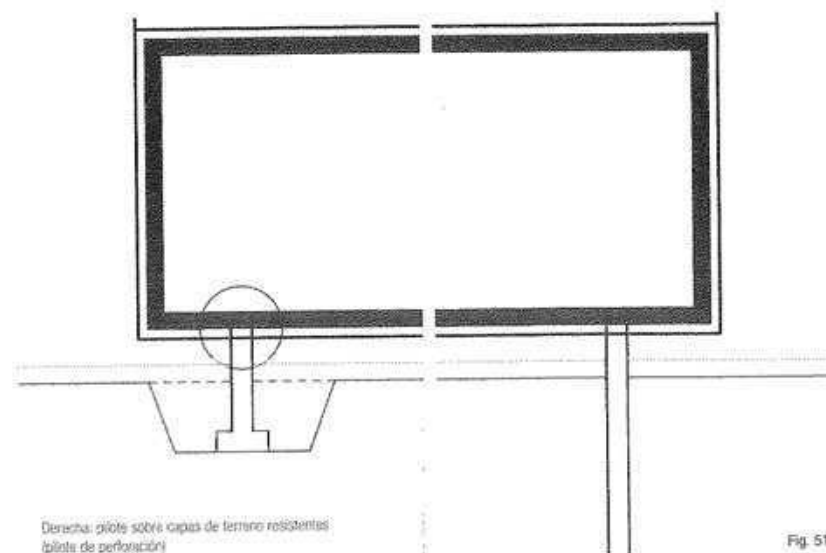
Cimentación por zapatas, barrera de protección

Apoyada sobre el terreno (sin soterrar)

Apoyo del edificio sobre zapatas de cimentación si:

- a) mayor profundidad de las capas resistentes del terreno;
- b) cámara de aire (permite la construcción de la solera sin barrera de protección contra la humedad).

Fondo de la cimentación por zapatas hasta la profundidad en que se manifiestan las heladas; con losa de cimentación se necesita una barrera de protección contra las heladas; cambio de material del edificio en el aislamiento del perímetro; problema en la base del muro: interrupción del aislamiento térmico.



Cimentación puntual

Separación del terreno

Apoyo del edificio sobre pilares, pilotes, puntales, etc. Ventajas arquitectónicas de ligereza, pragmatismo; por ejemplo, protección frente a la crecida de aguas (véase la casa Farnsworth de Mies van der Rohe); fondo de la cimentación hasta la profundidad en que se manifiestan las heladas con relación a las capas de terreno resistentes (pilotes de perforación); problema en la cabeza de pilote: penetración del aislamiento térmico; estabilidad lateral según la altura del pilote mediante su sujeción y/o por medio de riostras.

Diagramas de zócalos

Capa portante exterior

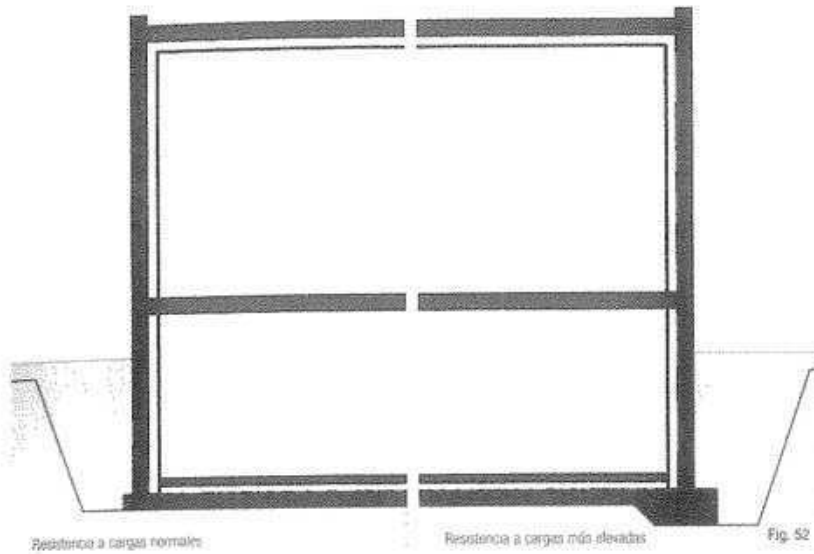


Fig. 52

Aislamiento térmico, capa interior no portante (caso especial en hormigón visto o construcción de madera).

Cámara excavada del zócalo

Hundida en el terreno

Apoyo del edificio sobre una losa de cimentación; en caso de grandes cargas, empleo parcial de zapatas bajo los muros; en caso de utilización de hormigón visto no es posible un cambio de material en la parte situada bajo el terreno; problema con las losas de forjado: interrupción del aislamiento térmico.

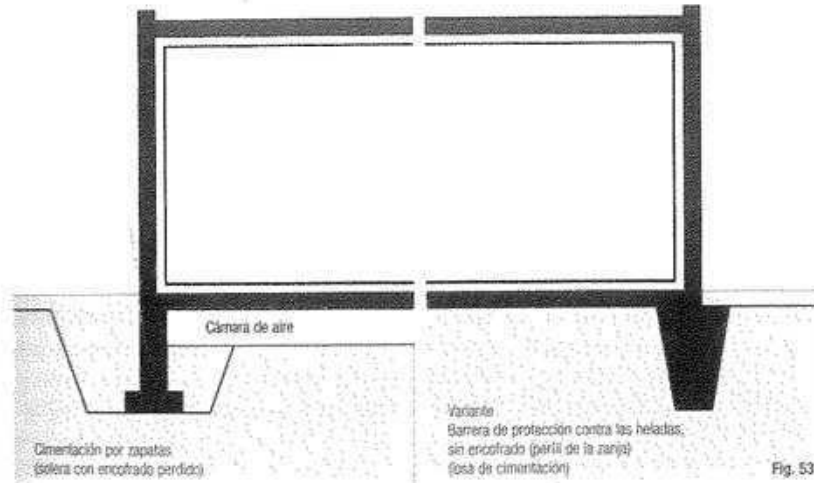


Fig. 53

Cimentación por zapatas, barrera de protección contra las heladas

Apoyada sobre el terreno (sin soterrar)

Apoyo del edificio sobre zapatas en el caso de:

- mayor profundidad de las capas resistentes del terreno;
- cámara de aire (permite la construcción de la solera sin barrera de protección contra la humedad).

Fondo de la cimentación por zapatas hasta la profundidad en que se manifiestan las heladas; con losa de cimentación se necesita una barrera de protección contra las heladas; ventaja: no hay interrupción/penetración en el aislamiento térmico.

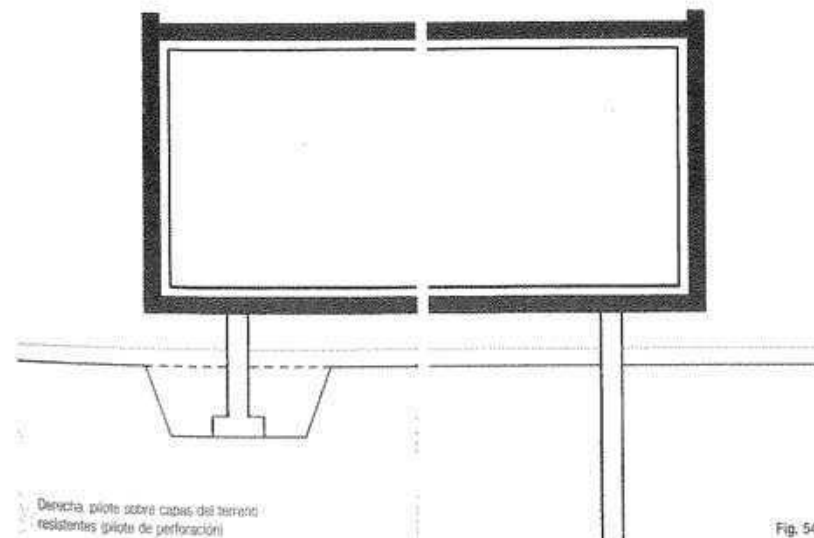


Fig. 54

Cimentación puntual

Separación del terreno

Apoyo del edificio sobre pilares, pilotes, puntales, etc. Ventajas arquitectónicas de ligereza, pragmatismo; por ejemplo, protección frente a la crecida de aguas (véase la casa Farnsworth de Mies van der Rohe). Fondo de la cimentación hasta la profundidad en que se manifiestan las heladas; ventaja: no hay interrupción/penetración en el aislamiento; estabilidad lateral según la altura del pilote mediante su sujeción y/o por medio de riostras.

El origen del zócalo

Alois Diethelm



Fig. 55: Zócalo como plataforma para la preparación del terreno. Templo griego, hacia 500 a. C.

El zócalo regula la relación del edificio con el terreno. Con el término 'zócalo' se designa por lo general a una parte del edificio de carácter autónomo respecto a la fachada, que puede aparecer como revestimiento o como muro macizo. Pero también hablamos, por el contrario, de un "detalle de zócalo" si un edificio que carece de él muestra una solución constructiva en su unión con el terreno.

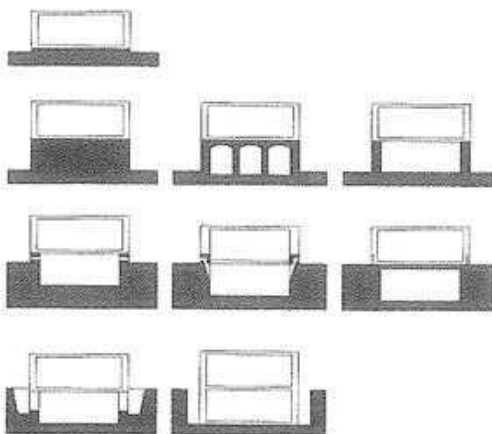


Fig. 56: Tipos de zócalo. De arriba a abajo: como plataforma, elevados sobre el terreno, de sótanos soterrados y de cámaras o cajas construidas bajo el nivel del terreno.



Fig. 57: Volúmenes constructivos superior e inferior como edificios estructuralmente autónomos con idéntica función (residencial). Philip Johnson: casa Wiley, New Canaan (Connecticut), Estados Unidos, 1953.

El zócalo sobre el terreno

En su evolución histórica, el zócalo abarca un espectro que se extiende desde la pragmática preparación del solar hasta la imagen atectónica referida a la morfología en el posmodernismo, pasando por la protección personal ante los peligros externos (animales, clima, guerras, etc.). En ninguna otra parte del edificio como en el zócalo se encuentran exigencias técnicas e intenciones formales tan variadas que se mezclan en sus orígenes sin que aparezcan divididas. Ya en los templos griegos, cuya plataforma se deriva básicamente del desmonte del terreno, gran parte de su fuerza emana de su carácter de superficie elevada transitable y, por tanto, susceptible de ser experimentada espacialmente. La plataforma elevada construida en piedra llega a alcanzar en su desarrollo la

altura de una planta (como, por ejemplo, en la romana Maison Carrée de Nîmes, 16 a. C.) y fue sólo cuestión de tiempo que ese zócalo alojara un espacio en toda la amplitud de su superficie.

Hasta mediados del siglo XX, el tema del zócalo que abarcaba toda una planta se encuentra fundamentalmente en palacios y villas, mientras que en el resto de los edificios la planta baja no suele diferenciarse de las superiores (véanse los edificios residenciales medievales). Con independencia de su aprovechamiento (inicialmente en espacios secundarios y después también en principales), el carácter sólido y macizo de este elemento prosiguió hasta comienzos del siglo XX, ya fuera construido con piedra natural (maciza o como revestimiento) o con obra de fábrica barata revocada que imita sillares regulares.

El zócalo enterrado

Otros motivos para que el zócalo se manifieste de manera visible y por lo que se elevó la planta baja, son los espacios soterrados, que por una parte llevan a plantear las posibilidades de una necesaria ventilación natural y, por otra, de un menor volumen de tierra excavada. Los muros del sótano sobresalen del terreno y se muestran como una parte constructiva independiente, puesto que, por lo general, su realización es distinta a la de la fachada que se desarrolla por encima de ellos (debido a la necesidad de consistencia frente a la humedad del terreno y los empujes del mismo, etc.). Independientemente del zócalo, la planta baja elevada se convierte también en el tema central del acceso a los edificios donde, según la necesidad de la altura que debe superarse, se levanta por la parte exterior del edificio en el grosor de la fachada o sólo en la entrada con relación a la sala principal. Desde el exterior, apenas pueden distinguirse los muros que contienen el espacio del sótano y que, independientes de la planta baja, se elevan sobre el terreno e iluminan la parte baja del edificio por medio de huecos abocinados.

El denominado patio inglés funciona de forma parecida, aunque, contrariamente, puede interpretarse como cavidad soterrada. Utilizado como elemento puntual, el mecanismo del patio inglés no se diferencia esencial-

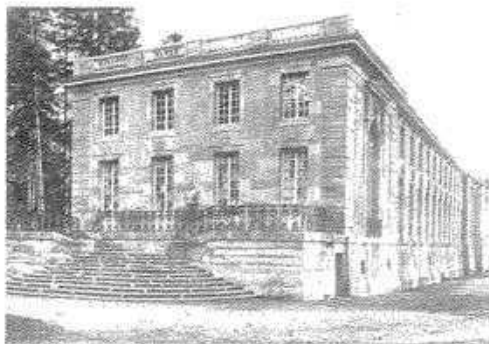


Fig. 58: Sólido enlace estructural entre los volúmenes constructivos superior e inferior con usos diferentes (residencial y de representación frente al de sótano). Hardouin-Mansart de Cotte: Grand Trianon, Versalles, Francia, 1687.



Fig. 59: La elevación de la planta baja deja libre el sótano; iluminación y ventilación natural de los espacios del sótano; el acceso al edificio implica una discontinuidad del zócalo. Diener & Diener: viviendas en Wartehof, Basilea, Suiza, 1993-1996.

mente del muro de cerramiento. A la ventaja de su fácil construcción como elemento prefabricado de hormigón o plástico, se añade la desventaja que supone la apertura de un hueco en el suelo de la plaza, de la acera o en el césped y que debe cubrirse con una rejilla. Como elemento lineal, que se prolonga a lo largo de amplias partes de la fachada, suponiendo que posee una amplitud suficiente (1-2 m), permite una iluminación eficaz de los espacios enterrados, que cumplen entonces todos los requisitos requeridos y sólo se diferencian de las situadas por encima del terreno por la falta de vistas.



Fig. 64: El edificio crece a partir del terreno inclinado como si fuera un monolito
Valerio Olgiati: escuela de Paspels, Suiza, 1998

las plantas de modo semejante (por ejemplo, en la construcción con madera).

La supresión u ocultación del zócalo

Dentro de la producción arquitectónica actual, el tema del zócalo se sitúa primordialmente sobre un plano técnico constructivo. Si las condiciones topográficas no hacen recomendable la construcción de una planta soterrada que se manifieste al exterior a través de un zócalo, el edificio como objeto se ve obligado en parte a hacer gala de una mayor ostentación. En efecto, cada vez más los edificios se conciben como objetos (similares a las obras de arte) sin que por ello se construyan de manera diferente. Los métodos empleados en su construcción son, en su mayor parte, idénticos a los de hace cincuenta años, o con cambios poco significativos, con la diferencia de que para responder a una abstracción cada vez mayor, suelen desafiar las "reglas de la arquitectura".

El edificio objeto origina tres planteamientos fundamentales respecto a la relación con el terreno: como objeto que crece a partir del terreno, como objeto que reposa sobre el mismo o, por último, como objeto que se desprende de él. Desde el punto de vista técnico, el primero presenta el mayor problema, pues los requerimientos a los que se ve sometido un revestimiento exterior homogéneo son distintos: estabilidad climática y protección ante los esfuerzos mecánicos sobre el terreno, humedad y empujes bajo el suelo. Los materiales homogéneos como el hormigón in situ y el enfoscado (revocos impermeables y/o materiales de base que admiten un revestimiento de revoco, resistentes a la humedad), no suelen resultar problemáticos. Por el contrario, las construcciones con materiales vistos con juntas presentan más dificultades (obra de fábrica, elementos prefabricados de hormigón o revestimientos ligeros de madera, chapa o paneles de fibras). Los puntos débiles son tanto las juntas con problemas de estanquidad como una insuficiente resistencia a la humedad del material mismo (efluorescencias, pudrición, etc.).

En el polo opuesto se encuentra la consideración del edificio como objeto que se desprende del suelo, con va-



Fig. 60: Patio inglés con espacios útiles en el sótano
Steger & Eggen: escuela de artes aplicadas, Zürich, Suiza, 1933



Fig. 61: El patio inglés se extendió al jardín transitable
Steger & Eggen: escuela de artes aplicadas, Zürich, Suiza, 1933

La "manifestación exterior" del zócalo

Cuando el patio inglés se coloca sobre el nivel del pavimento exterior, el espacio al aire libre resulta transitable, solución que cuenta con una larga tradición, sobre todo en Reino Unido. Los espacios soterrados admiten incluso viviendas de servicio o pequeños locales industriales, siempre que tengan accesos independientes por una escalera exterior. A partir de esta solución, las exigencias respecto a los muros del sótano de la fachada ya no se diferencian de los de la fachada propiamente dicha, situados encima. En el caso de que exista una disposición de patios ingleses alrededor del edificio, resulta una cámara soterrada, que posibilita que el edificio no se vea afectado por circunstancias geológicas y que se construyan todas

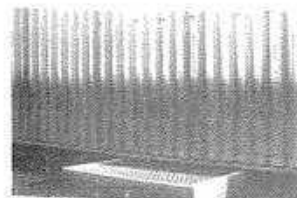


Fig. 62: Patio inglés puntual como indicio de un sótano
Marques & Zukircher: casa Krian-Lang, Emmenbrücke, Suiza, 1994

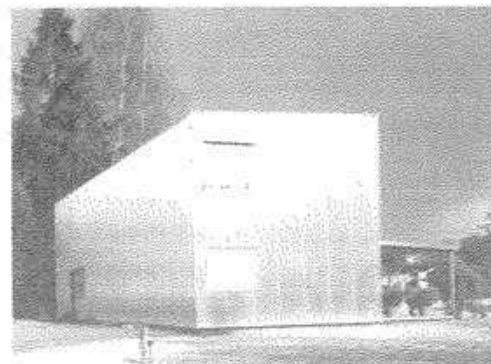


Fig. 63: Imagen de un contenedor sin anclaje en el terreno, como si estuviera colocado "temporalmente" sobre un prado
Marques & Zukircher: casa Krian-Lang, Emmenbrücke, Suiza, 1994

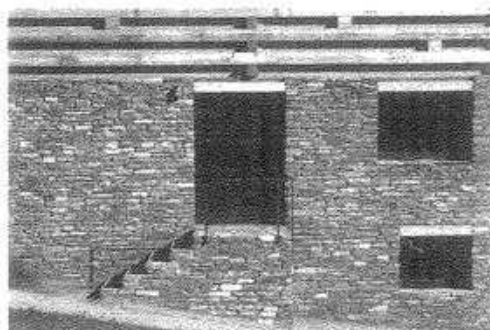


Fig. 65: La diferencia de alturas del terreno es absorbida por el zócalo construido con un material macizo sobre el que descansa la construcción de madera
Gion Caminada: pequeño matadero, Vrin, Suiza, 1999



Fig. 68: El zócalo de hormigón es la parte visible de una cámara donde se apoya la casa de madera. Tablas horizontales de madera arrancan de los escalones de hormigón y dejan al descubierto las juntas
Peter Zumthor: casa Guggelin, Versam, Suiza, 1994



Fig. 66: Fachada enfoscada con aislamiento térmico y zócalo de piedra natural
Dolf Schnebli: edificio de viviendas, Baden, Suiza, 1990

riantes tan dispares como la colocación de zapatas por encima del terreno llegando hasta la elevación del edificio mediante *pilotis* que alcanzan la altura de una planta, de modo que el objeto arquitectónico se desprende de todas las influencias del subsuelo. Entre ambos polos se sitúa el planteamiento de hacer descansar el edificio sobre el terreno mediante una solera que actúa como anclaje estructural (lo que incluso se produce de forma más consistente si existe una planta de sótano). Si, además, el revestimiento de la fachada no llega hasta el terreno, el edificio produce la impresión de un objeto posado sobre la tierra.

La imagen del zócalo

La tendencia hacia el objeto abstracto constituye también una reacción frente al posmodernismo. El posmodernismo buscaba realizar, con la utilización de técnicas

semejantes, no un objeto abstracto, sino edificios con una multiplicidad estructuralmente inexistente de estratos para conseguir la imagen del edificio clásico (zócalo, cuerpo central y cornisa, diferenciados tan sólo por la textura del material de revestimiento).

Aunque también sea un revestimiento —cuyo grosor queda reducido a unos pocos centímetros—, esta forma de zócalo constituye algo más que un simple elemento de articulación de la fachada, pues protege a la fachada tanto de la suciedad como de los daños mecánicos.

El zócalo necesario

Preferencias arquitectónicas aparte, la topografía determina en gran medida la necesidad de un zócalo. Mientras que en terrenos llanos resulta relativamente sencillo suprimir el zócalo, o construirlo de poca altura, cuando el solar es inclinado surge inmediatamente la cuestión de si debe salvarse la diferencia de nivel mediante la formación de una auténtica planta con zócalo, o si el zócalo debe seguir la línea de pendiente del terreno. La primera solución sugiere un cambio de uso de una planta a otra, la segunda arroja interrogantes estructurales: ¿es el zócalo la base para la construcción de la fachada que debe erigirse por encima (y, por tanto, debe ser portante), o se trata más bien de un escudo protector capaz de hacer frente a acciones como el empuje del terreno y la humedad?

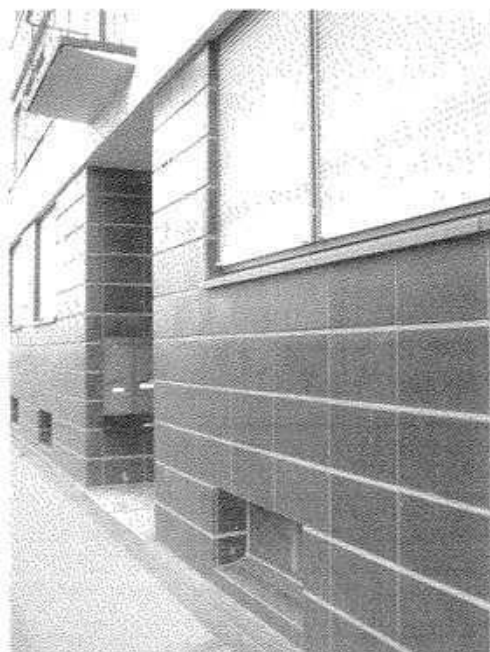


Fig. 67: Hormigón visto pintado, con zócalo de cerámica que protege al edificio de la suciedad y de los agentes meteorológicos y que, en sentido convencional, también asume su función de zócalo
Otto Rudolf Salvisberg: edificio de viviendas de alquiler, Zurich, Suiza, 1936

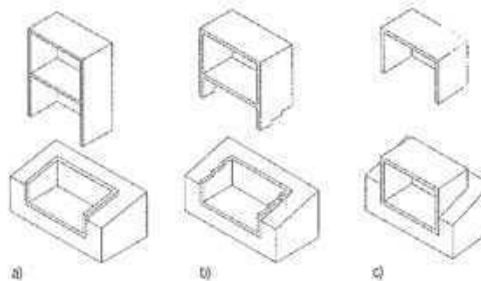


Fig. 69: Configuración del zócalo en terrenos con pendiente
a) el edificio se encuentra dentro de una cámara o caja ("escudo de protección")
b) por lo que se refiere a sus distintos volúmenes constructivos, el edificio se encuentra sobre la cámara o caja
c) "planta de sótano" con otra planta situada por encima de esta

Muros exteriores por debajo del terreno Repercusión sobre la envolvente

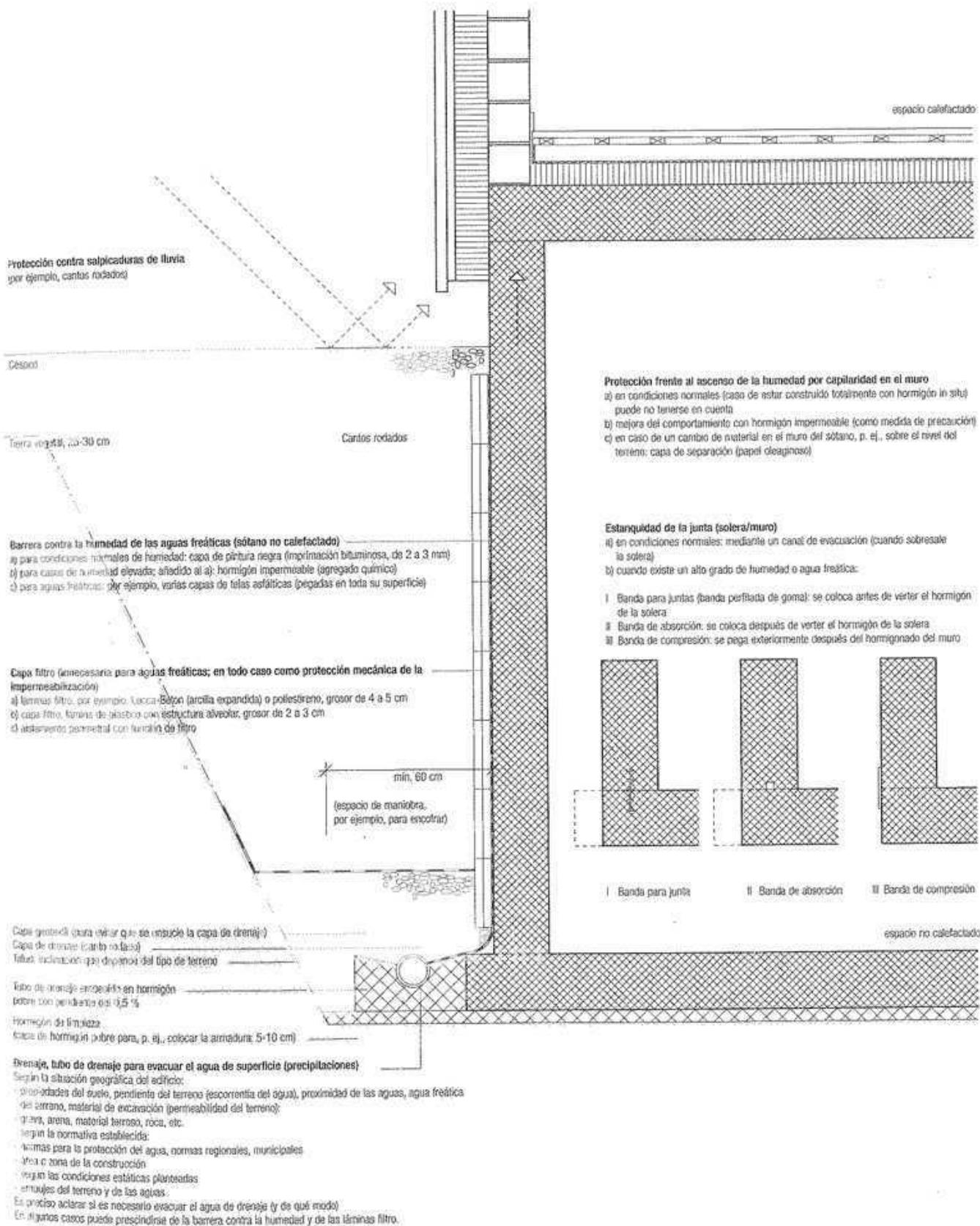


Fig. 70: Muro exterior 1:20

Acerca de la pared



Fig. 1: La construcción de la cabaña primitiva
De Antonio Averano Filarete: *Tratado de arquitectura* 1460-1464, Florencia, (Bibl. Naz., Cod. Magl. II, I 140 fol. 5v)

Cordula Seger

La pared posee una gran carga histórica y cultural. Expresiones como "estar entre la espada y la pared" o "darse de cabeza contra la pared" dan testimonio de este elemento constructivo como límite perceptible de un espacio específico. Además, y según una convención asumida colectivamente, la pared como elemento de delimitación es algo ineludible, pleno de significado.

Los conceptos están ligados a la lengua y pueden definirse tan sólo a través de sus límites. Es decir, una palabra adquiere significado dentro de un contexto y también por su delimitación con respecto a otras palabras y su correlato material. La pared, por tanto, se diferencia del muro porque no posee realmente grosor, no tiene ni volumen ni carácter plástico, es plana y delgada. El muro ejerce su influencia sobre ambos lados del mismo, pues delimita un interior y un exterior, un acá y un allá; es un elemento arquitectónico autónomo capaz de posibilitar por sí mismo la delimitación del espacio y, por tanto, de crearlo. Por el contrario, la pared aparece forzosamente unida al suelo y al techo, o a un sistema constructivo de pilares, y cobra vida gracias a las transiciones espaciales. De acuerdo con sus cualidades, la pared puede catalogarse como un elemento constructivo ligero. En los entramados tradicionales constituye un elemento de relleno, mientras que el muro puede ser considerado un elemento constructivo de carácter macizo. En alemán, esta diferenciación entre construcción ligera, o entre tectónica y estereotomía, se pone de relieve por medio de la diferenciación lingüística entre pared y muro: "Esta distinción tectónica estereométrica se vio reforzada en alemán por una diferenciación lingüística entre dos clases de pared; entre *Wand*, que se refiere a una partición tipo pantalla, como las que encontramos en la construcción de relleno de adobe y cañas, y *Mauer*, que hace referencia a la fortificación maciza".¹

Según la teoría de Gottfried Semper, tal y como la desarrolla en su libro *Der Stil in den technischen und tektonischen Künsten*, la diferenciación conceptual entre muro y pared es fundamental. Semper recurre a la etimología y deriva el término *Wand* (pared) del sustantivo *Gewand* (traje, vestido) y el verbo *winden* (tejer, revestir), de modo que dentro de la división que efectúa de las diferentes artes (textiles, cerámicas, tectónicas, en su opinión centradas en la construcción con madera y estereométricas), incluye a la pared dentro de las textiles. Tanto la deducción lingüística y, en sentido contrario, la argumentación de índole etnográfica, así como la fundamentada en el desarrollo histórico, apoyan esta teoría. "Aquí aparece de nuevo el hecho notable de que el lenguaje coloquial, relativo a la prehistoria del arte, sirve como ayuda y aclara los símbolos del lenguaje formal en su aparición primitiva, confirma la autenticidad de la interpretación que se le da. En todas las lenguas germanicas, la palabra *Wand*, pared (que tiene la misma raíz y significado básico que *Gewand*, traje o vestido), recuerda directamente el antiguo origen y el tipo de los límites 'visibles' del espacio".² Esta superposición entre lenguaje y arte adquiere gran trascendencia en Semper, pues se arrastra como argumento a lo largo de toda su teoría. Por ello, en 1860, Semper confiaba también en un inmediato y fructífero intercambio, probado y efectivo, entre una investigación de las formas lingüísticas y las artísticas. El concepto agudiza para Semper la contradicción con lo real. El escritor Paul Valéry expresa de un modo poético este pensamiento en sus reflexiones sobre la arquitectura: "Verdaderamente, la palabra puede construir, como asimismo puede crear o destruir".³

La pared como tema

¿Dónde reside exactamente la diferencia entre el concepto muro y el de pared? Como ya se ha dicho, desde el punto de vista material, la diferencia comienza a manifestarse en el hecho de que el muro constituye un elemento que proporciona solidez al sistema constructivo y la pared es un elemento meramente superficial: mientras que el muro posee autonomía constructiva, la pared guarda una relación de dependencia respecto a otras partes de la construcción. Además, en este sentido, es posible realizar también una trasposición formal: un muro puede convertirse en pared cuando se reviste o cuando, gracias a la disposición de los elementos que la componen, adquiere una apariencia textil o, al menos, de carácter plano.⁴ Esto no debe entenderse en todo caso como un juego formal más, sino que el aspecto esencial reside en el hecho de que el revestimiento, sea de la clase que sea, genera un significado.

La pared como tema

El color aplicado como capa de pintura muy sutil convierte al muro en una pared. En este sentido, el descubrimiento de la policromía en la arquitectura griega durante la segunda mitad del siglo XVIII marcó el debate teórico. La policromía representa algo más que una posición contraria respecto a la elegancia del color blanco o a la sobriedad estética que se opone al exceso de lo multicolor. Más que eso, la policromía implica el giro de lo que, proyectado hasta entonces con un sentido plástico, se vuelve



Fig. 2: Entablamento policromado del Partenón en Atenas
Según Gottfried Semper, tabla V del *Anwendung der Farbe in der Architektur und Plastik*, Dresde 1836



Fig. 3: Los pilares no portantes forman parte de la configuración de la pared
Karl Friedrich Schinkel: iglesia de Friedrich Werder, Berlín, Alemania, 1830



Fig. 4: Vista de una casa con entramado de acero
Eugène-Emmanuel Viollet-le-Duc: lámina coloreada de *Conversations sobre arquitectura*, 1812

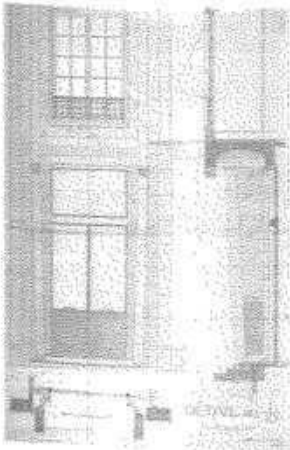


Fig. 5: Alzado y sección de la puerta de entrada, escala 1:10, 17 de agosto de 1903
Auguste Perret: edificio de viviendas en el número 25 de la rue Franklin, París, Francia, 1903-1904

hacia lo textil; es decir supone la conversión del muro en pared. En el primer volumen de *The antiquities of Athens*, obra aparecida en 1763, James Stuart y Nicholas Revett dibujan la palma y el friso de flor de loto que ellos habían encontrado en el templo de Ilisos, y ambas ilustraciones están profusamente coloreadas.⁵ Más adelante, en 1806, en una célebre conferencia, Quatremère de Quincy, establece esta nueva visión de la arquitectura griega. Por ello, será considerado y valorado por Semper como el promotor de esa polémica.⁶

Semper atribuye a la pared aspectos simbólicos de la creación espacial. Visible tanto interior como exteriormente, el revestimiento ornamental de una construcción comporta y pone de manifiesto la expresión espacial y arquitectónica de todo el conjunto. Una vez desprovista de toda función portante, la pared se convierte en el tema de la construcción, adquiere significado. Las diferencias y superposiciones existentes entre el muro constructivamente dependiente y la pared entendida como forma simbólica quedan patentes en el siguiente pasaje: "Incluso allí donde los sólidos muros se hacen necesarios, éstos no pasan de ser un entramado interior e invisible de los auténticos y legítimos representantes de la idea espacial; es decir, de las paredes fabricadas más o menos artificialmente y cosidas unas a otras".⁷ Este aspecto conscientemente simbólico de la pared es particularmente evidente en la iglesia de Friedrich Werder en Berlín, de Karl Friedrich Schinkel, las nervaduras góticas de su interior no son portantes, no concurren en el punto central de la bóveda y, en lugar de los cabezales de apoyo, se encuentra un vacío que pone de manifiesto la ausencia de su función estructural. Las nervaduras son parte del revestimiento de la pared, o mejor dicho, de la escenografía de la pared.

El significado más importante de la pared durante el siglo XIX se infiere también de la diferenciación establecida en 1849 por John Ruskin entre una parte de la arquitectura puramente constructiva y otra decorativa, y las consecuencias que tal diferenciación acarrea:⁸ las exigencias simbólicas y comunicativas de la arquitectura se destacan como un valor formal añadido, frente a su realización meramente técnica. Esta posición, llevada a sus últimas consecuencias, equipara revestimiento y arquitectura.

Sobre marcos y espacios enmarcados

A mediados del siglo XIX, Eugène-Emmanuel Viollet-le-Duc desarrolla un racionalismo estructural que considera el armazón constructivo como un aspecto esencial en la arquitectura. Viollet-le-Duc establece una diferenciación entre elementos primarios y secundarios: el comportamiento estático y la estructura de un edificio se cuentan entre los primeros, mientras que entre los segundos se incluye la pared o aquellos elementos de revestimiento que pueden ser pintados y decorados.⁹ Tal clasificación introduce una jerarquía dentro de los elementos arquitect-

tónicos. Así, el ornamento y la decoración sólo tienen cabida allí donde se encuentran liberados de una función constructiva. Viollet-le-Duc representa su teoría de forma ejemplar en el proyecto para un edificio con entramado visto de hierro y espacios intermedios rellenos de ladrillo esmaltado.¹⁰ En las postrimerías del siglo XIX alcanza gran difusión otro material: el hormigón armado y, con el uso de un sistema constructivo de armazón o esqueleto, adquiere una nueva significación el revestimiento de los espacios intermedios. Auguste Perret lleva a cabo una utilización ejemplar del hormigón armado en su casa en el número 25 de la rue Franklin de París. Estructura y entrepaños se conciben y adquieren relevancia como marcos y espacios enmarcados.

Significativamente, para Perret, el entramado de madera se encuentra en el origen de la arquitectura, y se reinterpreta en consonancia con los tiempos modernos gracias al nuevo material del hormigón armado. El marco determina y acentúa lo enmarcado, dotándolo así de su auténtico significado. En cualquier caso, en el edificio de viviendas de la rue Franklin, el marco o entramado estructural no se muestra como una construcción de hormigón desnuda, sino que también está revestido y, de ese modo, se hace explícito.¹¹ En tanto que el espacio entre los marcos o entrepaños se diferencia claramente de aquellos mediante sencillas baldosas cerámicas decoradas con motivos florales, la pared, comprendida dentro de un marco estructural, adquiere el significado de una imagen, de lo que como metáfora de lo tenue, de lo modificable,

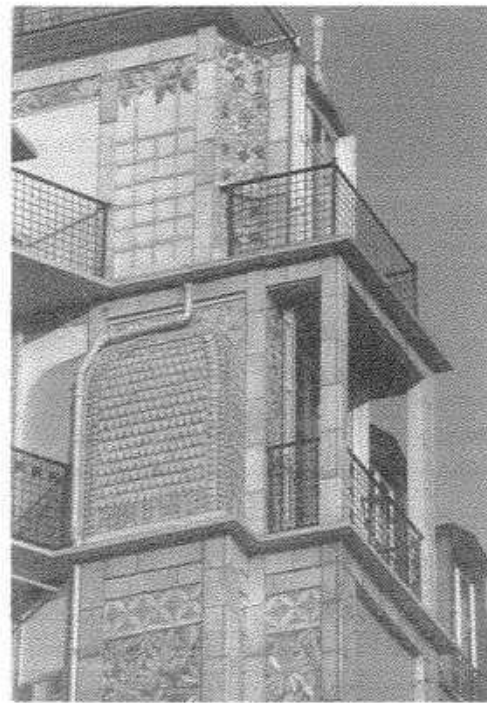


Fig. 6: Juego con diferentes placas cerámicas ornamentadas: vista de los pisos superiores
Auguste Perret: edificio de viviendas en el número 25 de la rue Franklin, París, Francia, 1903-1904

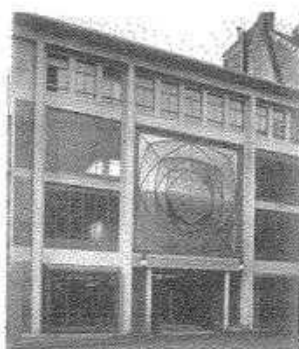


Fig. 7: Rosetón de vidrio centrado sobre la entrada
Auguste Perret: garaje de la Société Ponthieu-Automobiles de Paris, Francia, 1906-1907

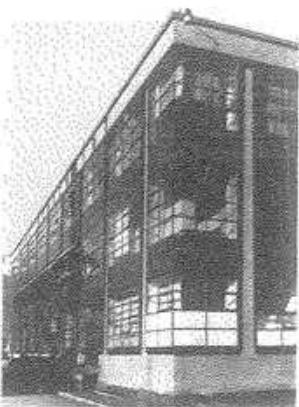


Fig. 9: El primer muro cortina de Europa se desarrolla en torno al edificio
Walter Gropius: fábrica Fagus, Alfeld an der Leine, Alemania, 1911-1914. Vista sureste, estado después de 1914.

puede variar con el tiempo. Los entrepaños y la articulación tectónica de los elementos constructivos que los rodean mantienen entre sí un diálogo de gran intensidad dialéctica, que expresa algo acerca de la forma del edificio, de su construcción y de su contexto. Esto plantea como exigencia que el edificio asuma un determinado carácter (pleno de riqueza en sus intenciones de poner en relación y hacer compatibles aspectos que interfieren, capaz de ir más allá de la pura consideración de los requerimientos funcionales) y le otorga su fuerza arquitectónica. Así pues, con la utilización de un revestimiento cerámico, Perret consigue establecer una distinción entre partes principales y secundarias de la construcción, a la vez que acentúa la manifiesta unidad de todo el conjunto. Con ello satisface tanto las pretensiones de Semper (la consideración del material de revestimiento como generador de un significado en la arquitectura) como los esfuerzos de Viollet-le-Duc, que tienden a establecer una jerarquía de los elementos constructivos.

La pared de vidrio

Si Auguste Perret entendía los sistemas constructivos de armazón o esqueleto como evolución de la construcción con madera, y fue capaz de trasladar un lenguaje formal semejante a la construcción de edificios utilitarios, como en el garaje de la Société Ponthieu-Automobiles de Paris (donde un rosetón central de vidrio le permitió ensalzar el sistema constructivo de armazón y entrepaños), en la fábrica Fagus (Alfeld an der Leine, 1911-1914), Walter Gropius buscó conscientemente romper el fraccionamiento que impone una estructura de armazón y entrepaños. Gropius antepuso una fachada reticular de metal y vidrio a la alineación de los pilares, y la desarrolló en torno a las esquinas del edificio como quintaesencia de la arquitectura, confiriéndole así la expresión de transparencia que deseaba.

Con la pared de vidrio, que permite la vista ilimitada tanto interior como exterior, y hace posible deslizar la mirada a través de las superficies, se plantea de nuevo la cuestión acerca del significado que puede alcanzar. La posibilidad, a veces la imposibilidad, de que la pared de vidrio transparente genere un significado arquitectónico, se discute por primera vez de manera relevante con motivo de la construcción del Crystal Palace en la Exposición

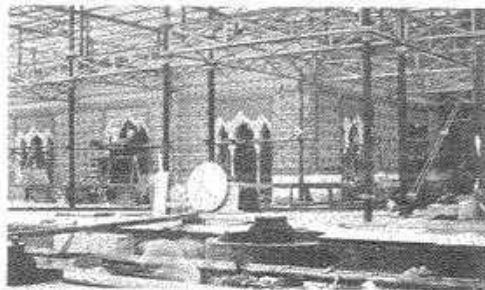


Fig. 8: Vista exterior del patio de la Alhambra, estructura versus arquitectura
Joseph Paxton: Crystal Palace, Londres, Reino Unido, 1851

Universal de Londres de 1851: "Joseph Paxton, jardinero e ingeniero civil, erigió ese armazón de hierro y vidrio, mientras que la decoración de los elementos con los tres colores primarios, rojo, amarillo y azul, la realizó el artista y arquitecto Owen Jones. En las formas ornamentales, e incluso en la pintura policroma vista del esqueleto de hierro, se debían preservar aparentemente las funciones tradicionales de la arquitectura como expresión simbólica de la sociedad en su conjunto".¹² Resulta curioso que no se atribuya al entramado de vidrio un valor simbólico y que éste tuviera que ser aportado por el arquitecto.

El edificio como contenedor de mercancías expuestas de la manera más espectacular posible, concepto que ya se había vislumbrado en el Crystal Palace, adquiere continuidad en la tipología del gran almacén. Durante los años que siguieron a la I Guerra Mundial, en Estados Unidos se desarrolló el empleo de auténticos muros cortina de vidrio para edificios de oficinas. La condición técnica necesaria para ello fue el descubrimiento del vidrio pretensado con capacidad portante. De acuerdo con el sugestivo término "muro cortina", los acristalamientos cuelgan como tejidos de las losas de hormigón de los forjados, que sobresalen más allá de la línea de pilares. Desde fuera, el frente continuo de vidrio se muestra como un revestimiento autónomo, alejado de la concepción clásica de la pared ligada al suelo y al techo.

Vista desde el interior, la pared transparente de vidrio muestra su gran y decidida capacidad para delimitar el espacio, no sólo de hecho, sino también simbólicamente. Pared y ventana se confunden en el sentido de constituir una abertura estructural. Aquello que los contemporáneos del período historicista consideraban un defecto en el Crystal Palace, es decir, que el acristalamiento continuo estuviera desprovisto de expresividad, se valora en el clasicismo moderno como indicio de calidad: se considera que sólo los edificios "neutros" proporcionan la necesaria libertad espacial a quienes hacen uso de ellos. Por otra parte, tampoco se renuncia a dotar al material de una carga ideológica: el vidrio significa luz y aire, y ello se entiende positivamente como un abrirse hacia el exterior. Del mismo modo puede aducirse que lo que contribuyó al uso y al desarrollo del material fueron intereses económicos: en los grandes almacenes tipo que surgieron a finales del siglo XIX, se trataba sobre todo de conseguir una buena visibilidad de las mercancías expuestas. El espacio interior se orientaba por tanto hacia el exterior y funcionaba como portador de información para los paseantes y potenciales clientes.

Si el muro cortina representa la inversión de la pared de un modo ejemplar y, literalmente, su enajenación en el sentido clásico, también son de interés los principios que, con anterioridad a la I Guerra Mundial trataron de implantar el vidrio como elemento dotado de una gran carga simbólica y de delimitar sus funciones recíprocas como material de cerramiento y abertura. La *Glasarchitektur* (arquitectura de cristal) de Bruno Taut, inspirada en los escritos y aforis-

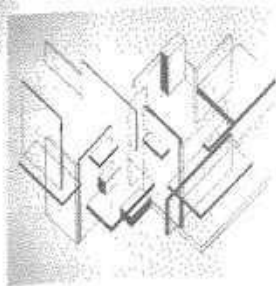


Fig. 10: La puesta en escena de la pared como panel divisorio
Theo van Doesburg: proyecto de Casa particular (en colaboración con Cornelius van Eesteren), *Centre-Construction (Analyse de l'architecture)*, 1921. Apso y tinta china, 55 x 38 cm

mos del poeta Paul Scheerbaart, empleaba sillares, prismas, azulejos y baldosas de vidrio, buscando crear una atmósfera espacial peculiar con estos elementos.

La pared autosuficiente

En la década de 1920, los arquitectos del grupo De Stijl combinan, gracias a las delgadas paredes de hormigón armado, el principio de la construcción maciza y el de la ligera, haciendo de la pared un elemento constructivo de primer orden, que genera espacio y se convierte en un elemento esencial de la forma del edificio. En consecuencia, se neutraliza visualmente la jerarquía entre partes principales y secundarias de la construcción.

En la supresión de las paredes, el color juega un papel central: arquitectos y artistas del grupo De Stijl revisten todas las paredes con colores, de modo que cuando las superficies cromáticas coinciden en sus bordes, el efecto volumétrico del edificio retrocede en favor de una liviana disposición estructural. En este sentido Arthur Rüegg comenta la Casa particular de Theo van Doesburg del modo siguiente: "Vista retrospectivamente, la configuración cromática, que sugiere una forma espacial abierta, aparece como una crítica progresista a una arquitectura que todavía se sujeta a las reglas tradicionales de la estática y del espacio cerrado".¹³ Aunque la pared de color deba acentuar la forma abstracta del edificio, y se desprenda aparentemente de todo significado, su actitud comporta contenidos nuevos, propios de un contexto histórico: los principios empleados se entremezclan para comunicar una nueva comprensión del espacio.

Intimidad y representación

En sentido estricto, la pared es una consecuencia del espacio interior. Cada espacio específico encuentra en ella su límite: "La pared es ese elemento constructivo que permite representar formalmente, de manera absoluta, el espacio incluido en cuanto tal, sin referencia alguna a conceptos colaterales, y que lo hace exteriormente reco-

nocible a la vista".¹⁴ La expresión "entre cuatro paredes" evidencia de una manera particularmente clara la existencia de un espacio interior.

Con el creciente auge de la burguesía en el siglo XIX, el espacio interior cobra relevancia como lugar colectivo de la autorrepresentación. Walter Benjamin acuñó el concepto formal de "funda", de lo que tiene el carácter de lo envuelto, atribuyéndoselo al habitar del siglo XIX. Pues, tal y como escribe Benjamin, marcada por la huella de sus moradores, "la vivienda se convierte en el caso extremo en una caja".¹⁵ En el Jugendstil, con el ideal de un espacio interior configurado de acuerdo con sus directrices estéticas, Walter Benjamin reconoce la ruptura con ese concepto de espacio interior cerrado: "El Jugendstil conmueve, al ser encerrado, hasta lo más profundo".¹⁶ A partir de esta reflexión, se puede afirmar que el Jugendstil, con sus motivos curvos florales y orgánicos, acentúa la superficialidad de la pared y deposita su mirada en los efectos ópticos antes que en la atmósfera del espacio. En consecuencia, en torno a 1900, las superficies de las paredes interiores se revisten como si fueran una lámina, y la señora de la casa, comprometida en la representación de la misma, desaparece en esa superficie de proyecciones sociales. Para corroborar todo ello, es significativa la fotografía de Maria Sèthe ataviada con un vestido diseñado por su marido, Henry van de Velde, que se funde con el interior configurado como una *Gesamtkunstwerk* (obra de arte total). En este caso se produce una auténtica superposición entre el revestimiento de la pared y el vestido de la mujer. Contemplado en un contexto histórico, el principio de revestimiento de Semper se muestra aquí en su punto más elevado. Para las mujeres, a las que se asigna el interior de la vivienda como su espacio vital central, si éste se observa como un mundo concreto, el principio formal del Jugendstil produce el efecto de una doble limitación. Adolf Loos (acervo enemigo de la arquitectura de estilo, en la que incluye tanto los proyectos de Henry van de Velde como los de la Secesión vienesa y los de los Wiener Werkstätte), criticó duramente la escenografía del Jugendstil ya que, según él, el espacio interior debía expresar el carácter de sus habitantes y no el de cualquiera de los narcisistas arquitectos artistas.

Sobre el vestir y el revestir

La fuerza expresiva de la pared parece hoy más bien reducida. En el tercer tomo del *Handbuch der Architektur*, publicado en Stuttgart en 1903,¹⁷ se dedicaba un capítulo entero al revestimiento de la pared con piedra, papel, cuero y materiales textiles, a pintar y empapelar, a taraceas y estucos, mosaicos y artesonados o entarimados. Asimismo, la pintura artística cuenta con su propio capítulo, al contrario de las publicaciones contemporáneas, que se concentraban en su mayor parte en lo que debe ocultarse tras la pared. Este desplazamiento del punto de mira y de la importancia que se otorga a la pared se pone de manifiesto también en el plano del lenguaje: según



Fig. 11: Imagen lateral de la calle y vista sobre el lado de acceso
Gerrit Rietveld: casa Rietveld-Schröder, Utrecht, Países Bajos, 1924



Fig. 12: La mujer está fotografiada de tal forma que se identifica con la habitación. Fotografía de hacia 1905 de la modista vienesa Mathilde Fröge, ataviada con un traje concebido por ella misma. Fröge se encuentra ante uno de los espacios proyectados por Koloman Moser y lleva elementos ornamentales diseñados por Josef Hoffmann.



Fig. 13: El vestido y la mujer que lo lleva forman parte de la puesta en escena de una *Gesamtkunstwerk* (obra de arte total). Marie Sélva con un modelo diseñado por su marido, el arquitecto Henry van der Velde. La fotografía está tomada hacia 1898 en su casa de Uccle, cerca de Bruselas, Bélgica.

Semper, ese libro habla de vestir la pared, mientras que en el lenguaje coloquial actual se habla únicamente de revestirla. El revestimiento hace referencia a lo que debe permanecer oculto o aparecer de forma variable; tras el revestimiento se ocultan el aislamiento térmico, la barrera de vapor, la cámara de aire, etc., todo lo que ocupa el espacio entre el muro y la pared.

Gottfried Semper valoró el papel que, como convención social, facilita la vida en común. Codificó gestos e imágenes para participar en un discurso público: "Soy de la opinión de que vestirse y disfrazarse es algo tan antiguo como la civilización humana, y que la satisfacción que producen ambas cosas es semejante a lo que motiva que los hombres se identifiquen con escultores, pintores, arquitectos, poetas, músicos, dramaturgos, en definitiva con los artistas. Cada creación artística por una parte, cada disfrute del arte por otra, presupone un cierto humor carnavalesco; por expresarme en lenguaje moderno: la auténtica atmósfera del arte es como la del carnaval. La aniquilación de la realidad, de lo material, es necesario allí donde la forma debe aparecer como símbolo pleno de significado, como creación independiente del hombre".¹⁸ El placer de Semper por el carnaval hizo que entrasen en colisión la modernidad con la exigencia moral de sinceridad, lo que conllevó la pérdida de la plenitud expresiva. Sólo el posmodernismo ha vuelto a redescubrir para sí el potencial comunicativo de la pared y ha vuelto a fundir el principio del vestir y del revestir.

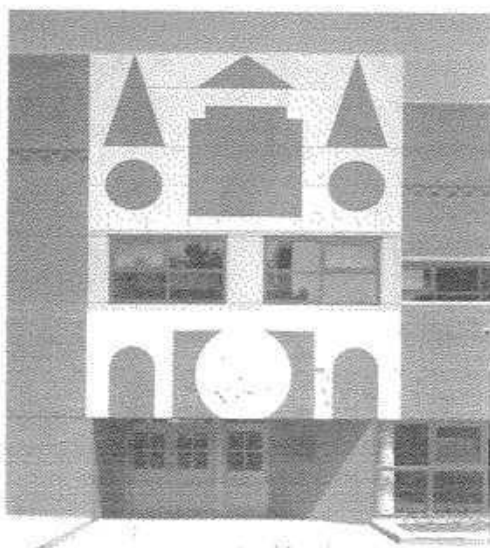


Fig. 14: Entrada con el frente del portal decorado con mármol y granito gris. Los motivos recuerdan al pratorrenacimiento, destacando el corredor central que conduce al edificio de uso comunitario. Robert Venturi y John Rauch: edificio comunitario Gordon Wu Hall para el Butler College, Princeton University (Nueva Jersey), Estados Unidos, 1980.

Notas

1. Frampton, Kenneth, *Studies in tectonic culture. The poetics of construction in nineteenth and twentieth century architecture*, The MIT Press, Cambridge (Mass.), 1995, pág. 5 (versión castellana: *Estudios sobre cultura: poéticas de la construcción en la arquitectura de los siglos ^{xx} y ^{xxi}*, Aclá, Madrid, 1999).
2. Semper, Gottfried, *Der Stil in den technischen und tektonischen Künsten oder praktische Ästhetik* (tomo I), Verlag für Kunst und Wissenschaft, Frankfurt, 1860, pág. 229.
3. Valéry, Paul, *Eupalinos* (1923), en *Eupalinos. L'âme et la danse. Dialogue de l'arbre*, Éditions Gallimard, Paris, 1983 (versión castellana: *Eupalinos o el arquitecto*, COAAAT, Murcia, 2004).
4. Véase el texto "El patio de la obra de fábrica" de Ákos Moravcsik, incluido en este volumen (págs. 22-30). La fusión entre construcción material y forma ya fue esbozada por Semper, quien parte de la idea de que la tradición de todo muro bien ejecutado representa una forma de trenzado.
5. Véase: Stuart, James, y Revett, Nicholas, *The antiquities of Athens* (1764), Benjamin Blom, Nueva York, 1968.
6. Semper, Gottfried, op. cit., pág. 218.
7. *Ibid.*, pág. 229.
8. La diferenciación entre construcción y arquitectura tuvo repercusiones en el sistema de enseñanza en torno a 1800. Alrededor de 1795 se fundó en Francia L'École Polytechnique, cuyo punto esencial se centró en las técnicas aplicadas. La creciente especialización provocó una separación de los discípulos que hasta hoy en día caracterizan los respectivos conceptos de arquitectura y construcción, y que sólo lentamente llega a alcanzar la necesaria unión entre ambos.
9. Middleton, Robin, "Farbe und Bekleidung im neunzehnten Jahrhundert", en *Daedalus*, 51 (in Farbe), marzo de 1994, págs. 88-89.
10. Viollet-le-Duc, Eugène-Emmanuel, *Écrits sur l'architecture. Atlas A. Morel et Cie*, Paris, 1864, lámina XXXVI. Título del alzado coloreado: "Plans de la façade en encorbellement avec revêtement de bayonnes" (versión castellana: *Conversaciones sobre la arquitectura*, Consejo General de la Arquitectura Técnica de España, Madrid, 2007).
11. Penat, Auguste, *Contribution à une théorie de l'architecture* (1952), cit. en Frampton, Kenneth, op. cit., págs. 125-126.
12. Deicher, Susanne, "Polychromie in der englischen Architektur um die Mitte des 19. Jahrhunderts", en *Daedalus*, 51 (in Farbe), marzo de 1994, pág. 91.
13. Rüegg, Arthur, "Farbkonzepte und Farbskizzen in der Moderne", en *Daedalus*, 51 (in Farbe), marzo de 1994, pág. 69.
14. Semper, Gottfried, op. cit., pág. 227.
15. Benjamin, Walter, *Das Passagen-Werk*, en *Gesammelte Schriften* (vol. I), Suhrkamp Verlag, Frankfurt, 1982, pág. 292 (versión castellana: *Libro de los pasajes*, Akal, Madrid, 2005).
16. *Ibid.*
17. Koch, Hugo, "Ausbildung der Wandflächen", en *Die Hochkonstruktionen des Handbuchs der Architektur*, parte tercera, vol. 3, cuaderno 3: *Ausbildung der Fußboden-, Wand- und Deckenflächen*, Stuttgart, 1903, págs. 101-212.
18. Semper, Gottfried, op. cit., pág. 231, nota 2.

La construcción de la fachada

Manfred Baumgartner



Fig. 15: *Bingo (cutting)*: separación de la pared exterior por medio de una motosierra, dejando al descubierto el interior del edificio
Gordon Muth-Clark (1943-1976), arquitecto y artista estadounidense

Sobre el concepto de fachada

El concepto de fachada no es ni mucho menos unívoco. El término deriva del latín *facies*, que literalmente significa 'rostro', y hace referencia a la apariencia exterior, a la fisonomía del edificio. Observada exteriormente, con frecuencia a la fachada se la califica también de envoltorio o piel exterior del edificio. Ambas acepciones insinúan que la fachada es, por lo general, una superficie delgada que se coloca como un vestido sobre el armazón que se encuentra tras él. Fachada y armazón constituyen el atractivo de la materialidad, la construcción y la forma de la superficie. A continuación, ambos aspectos, interrelacionados entre sí, se designarán conjuntamente como estructura en superficie.

En otro plano de significación, la fachada también se equipara frecuentemente con los conceptos de muro o pared exterior, con los que se alude a otras dos de sus características fundamentales. Por una parte, los conceptos pared o muro exterior describen un exterior en el sentido de perímetro o cierre, y con ello se refieren a una cualidad espacial de la fachada. La fachada define la separación entre el interior y el exterior: es decir, y respectivamente, el límite espacial del espacio interior contemplado desde dentro y el del espacio exterior observado desde fuera.

Por otra parte, los conceptos de pared y muro exterior hacen referencia a la esencia constructiva de la fachada. El concepto de pared implica ligereza; el concepto de muro, un origen macizo de la construcción. A este carácter específico de la construcción de la fachada que se muestra por medio de la sección, vamos a denominarlo en lo sucesivo estructura profunda del edificio.

El sistema constructivo de la fachada, su estructura profunda, depende del carácter ligero o macizo del edificio, sienta las bases constructivas de la estructura en superficie.

Nota 1: entre la estructura profunda y la estructura superficial de la fachada existe una dependencia estático constructiva inseparable.

Sistemas constructivos

Entendida como elemento constructivo, la fachada satisface las funciones elementales de soporte, aislamiento y protección del edificio. Por lo general, observadas desde dentro hacia fuera, dichas funciones aparecen en la sucesión antes indicada. La función de soporte está condicionada por el hecho de que, por lo general, una parte de las cargas superficiales de los forjados y de la cubierta de un edificio tiene que ser absorbida y transmitida verticalmente en la zona de los bordes, es decir, en su perímetro. El aislamiento sirve para regular térmicamente el espacio interior frente al exterior, ya sea protegiéndolo del frío o del calor, y depende de las condiciones climáticas y geográficas y de las estaciones del año, así como de las

exigencias individuales de comodidad. Por último, la capa de protección resguarda tanto al edificio como al mismo sistema constructivo de la fachada, y en especial al aislamiento, de la acción de los agentes externos medioambientales. Por estos motivos, la fachada es la parte constructiva más compleja de una obra, y también la que presenta mayores costes de construcción y mantenimiento. El planeamiento y desarrollo de una fachada exige una coordinación inteligente de las funciones portante, aislante y protectora para lograr un sistema eficiente de todo el conjunto de la obra.

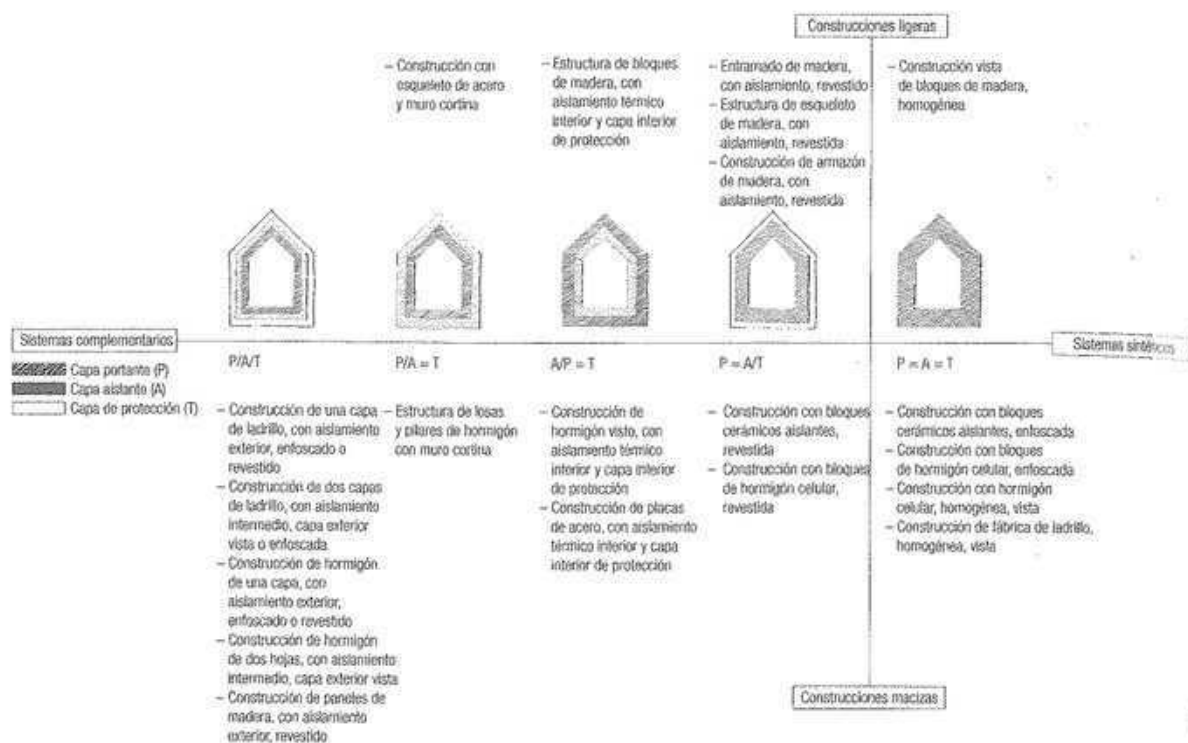
En principio, puede diferenciarse entre sistemas sintéticos y complementarios.

Sistemas sintéticos

Los sistemas sintéticos satisfacen las funciones estructurales y físicoconstructivas primarias de la fachada a través de una única capa multifuncional. Un típico sistema sintético es el muro monolítico de hormigón aislante visto. Soporta y aísla mediante una única capa cuya superficie forma al mismo tiempo su propia capa de protección (en parte reforzada por un tratamiento hidrófugo complementario no visible). O, dicho de otro modo, la capa de protección tiene a la vez propiedades aislantes y portantes. En este caso, el efecto de aislamiento del sistema no se consigue con un material aislante propiamente dicho, sino que se define a través del valor λ (resistencia térmica) específico del material empleado. En el desarrollo de sistemas sintéticos, el arte reside pues en la optimización de las tres funciones acopladas. Un muro homogéneo de fábrica de ladrillo visto, por ejemplo, que se construya con clinker resistente a las inclemencias medioambientales, muestra un índice de aislamiento demasiado bajo según la normativa actual.

Nota 2: cuantas más funciones reúna en sí la capa exterior o de protección de la fachada, más inalterable será su configuración.

Las características comunes de las construcciones sintéticas son la inmediatez de su expresión y, con ello, la autenticidad inherente a la misma. Como consecuencia de la conjunción de las funciones portante, aislante y de protección en una única capa, el sistema constructivo interior determina la apariencia exterior de la fachada. La estructura en superficie está acoplada de modo directo a la estructura en profundidad de la misma. Mediante la disposición visible en hiladas de las piezas que constituyen su estructura en superficie, en el muro de fábrica de ladrillo visto se señala, por citar un ejemplo, el procedimiento llevado a cabo para su puesta en obra (aparejo). En el muro monolítico de hormigón aislante visto, la estructura en superficie muestra una calidad constante en todas sus dimensiones, que solamente puede verse afectada externamente en el encofrado, pero no sobre el propio sistema constructivo interior.



Sistemas complementarios

En los sistemas complementarios, las funciones estructurales y fisicoconstructivas de la fachada se asignan a diferentes capas específicas monofuncionales. Esto tiene lugar por la combinación de dos o tres capas complementarias.

En los sistemas constructivos complementarios, las tres componentes monofuncionales, observadas de dentro hacia fuera, se encuentran en la sucesión regular de capa portante, aislante y de protección. Un típico ejemplo de ello es el sistema de construcción ampliamente extendido, compuesto por una capa interior portante de ladrillo u hormigón y una exterior de aislante térmico, que se protege mediante un enfoscado (fachada compacta), un revestimiento u otra capa de ladrillo o de hormigón. El mismo principio es válido en la construcción con paneles de madera que, en todo caso, se aísla exteriormente y debe protegerse con un revestimiento.

En los sistemas complementarios contruidos con dos capas, una de ellas aún en sí misma dos funciones primarias y se complementa por medio de una segunda capa monofuncional. Este tipo de sistemas pueden ser interpretados como variaciones dentro del espectro que abarca los sistemas complementarios de tres capas y los sintéticos contruidos con una.

Un primer grupo de los sistemas de dos capas se basa en el principio de una capa aislante exterior que, a su vez, tiene también función protectora. Dentro de ese grupo se incluyen las construcciones ligeras con estructura de acero o los edificios con estructura de losas y pilares de hormigón

cerrados por un muro cortina. La fachada de muro cortina, considerada en este caso como una parte compacta de la construcción, aísla y protege en un único y mismo plano, pero no tiene función portante.

Un segundo grupo de sistemas de dos capas invierte la clásica sucesión de capas, interior portante, exterior aislante y de protección. La capa portante, colocada en este caso en el exterior, se utiliza a su vez como capa de protección. Las construcciones macizas de hormigón y las ligeras de tablas de madera aisladas interiormente son ejemplos típicos de este caso. Si bien la capa portante protege en este caso a la fachada de la acción de agentes externos, este sistema exige incorporar una capa interior adicional de protección —en forma, por ejemplo, de un revestimiento de yeso o madera— que proteja a la capa aislante de posibles daños producidos por el uso (por ejemplo, al clavar puntas en la pared).

Por último, el tercer grupo de los sistemas de dos capas descansa en el principio de una capa interior a la vez portante y aislante y que debe protegerse del exterior con otra capa. Este principio se encuentra en la construcción de estructuras ligeras de madera con aislamiento (en las de entramado, de armazón o esqueleto, o de bastidores). Gracias a la reducida capacidad de conducción térmica de las barras de madera, los elementos estructurales pueden colocarse en el mismo plano que la aislante, sin que surjan por ello problemas fisicoconstructivos. Estos sistemas constructivos se presentan actualmente como paneles sándwich, listos para ser instalados, formando un sistema conjunto portante y aislante parcial.

mente sintético. En el campo de la construcción maciza, este principio se aplica en muros de fábrica con elementos de arcilla expandida o de hormigón celular, que tienen simultáneamente una función estructural y aislante, y deben ser protegidos exteriormente con un sistema cortina ventilado en su cara posterior.

Si estos mismos muros de fábrica se revisten exteriormente con una capa de enfoscado, el sistema constructivo es un sistema sintético. El enfoscado se une a su base tanto química como mecánicamente, de modo que esta elección conceptual resulta totalmente apropiada dado el estado final de la sección transversal de la fachada.

Nota 3: cuantas menos funciones asuma la capa más exterior de la fachada, mayor libertad se deriva para su configuración formal.

Una configuración complementaria de la fachada, en especial cuando ésta se compone de tres capas, relativiza la dependencia constructiva entre la estructura en superficie y la estructura en profundidad. En el caso extremo, la capa más exterior de la fachada, que en todo caso representa una mínima capa de protección, se muestra como una capa visiblemente independiente. Da a entender que se trata de una estructura en superficie única y directa, y sugiere una amplia independencia o posibilidad de intercambio con relación a la estructura en profundidad. Sin embargo, una observación más atenta permite determinar ciertas dependencias constructivas que limitan en gran medida esa supuesta variabilidad. En este sentido, es posible establecer una distinción entre las capas de protección *dependientes* y las *independientes*.

A partir de cierta altura, una capa de protección independiente debe sujetarse puntualmente a la capa portante mediante un elemento de unión apropiado para que pueda garantizarse su estabilidad. De esa forma, las diferentes capas, funcionalmente independientes, se unen entre sí constructivamente. En muros de fábrica de dos hojas, por ejemplo, la exterior se fija a la interior con anclajes, evitando así su rotura o caída. Los elementos de fijación pueden perforar la capa aislante del lado frío al caliente, comportando con ello la rotura del puente térmico.

Una capa de protección no independiente está sujeta a un elemento constructivo que le sirve de soporte y que, a su vez, debe anclarse a la capa portante. El conjunto de los esfuerzos estáticos de la capa de protección, en particular las cargas verticales, debe absorberlos el elemento constructivo que sirve de soporte y transmitirlos a la capa portante a través de la capa aislante. En la construcción con madera, esto se lleva a cabo normalmente mediante rastreles tendidos en forma de cruz y tableros aislantes intercalados. Este entramado con capacidad portante constituye el soporte de un revestimiento exterior apropiado, por lo general ligero. Cuando el revestimiento exterior es pesado, como en el caso de

elementos prefabricados de hormigón, los paneles se cuelgan en puntos determinados de la capa portante con anclajes portantes y ménsulas de acero. Estos medios auxiliares, por lo general metálicos, constituyen a su vez una perturbación de la capa aislante y deben protegerse de la humedad para evitar su corrosión, en especial la originada por condensaciones.

En definitiva, la estricta separación de las distintas capas en los sistemas complementarios implica siempre una mayor o menor cantidad de perturbaciones o perforaciones sobre las superficies vistas. El coeficiente medio de transmisión de calor de la fachada debe considerar forzosamente estos puentes térmicos.

A continuación deberá investigarse cuáles son los parámetros formales y constructivos a tener en cuenta a la hora de incorporar la capa exterior de protección de la fachada, es decir, su estructura superficial. El concepto sistema constructivo de fachadas se amplía con este objetivo hasta el desarrollo de la estructura en superficie en cuanto tal. Esto siempre desde el planteamiento de que existe una dependencia del sistema constructivo de la fachada en sección, es decir, de su estructura en profundidad, que influye en la variabilidad de la estructura en superficie.

Materialización

Nota 4: el núcleo esencial de todo sistema constructivo de una fachada es su materialización.

La mayoría de los sistemas de fachada conocidos son sistemas complementarios. Ello se debe esencialmente a las exigencias de aislamiento, que han ido aumentando en los últimos años. Dentro de los sistemas constructivos complementarios, la mayor parte de ellos presenta una capa de protección exterior monofuncional. Es posible construir esta capa de protección dentro de una gran variedad de materiales, con la condición de que esté asegurada tanto la protección como la estanquidad del sistema, lo que constituye una diferencia fundamental respecto a la capa portante y aislante, donde la elección de material está naturalmente muy limitada a causa de exigencias estáticas o fisicoconstructivas.

En consecuencia, desde un punto de vista constructivo y en los sistemas actuales de fachadas, la capa de protección muestra un alto grado de libertad en la elección de los materiales, respecto a la capa portante o aislante que se encuentra debajo. Una obra de fábrica de ladrillo aislada exteriormente no precisa una capa de protección de ladrillo, del mismo modo que una construcción aislada de madera no necesita un revestimiento de madera. Esto tiene menos que ver con una pérdida de la *autenticidad constructiva* que con la versatilidad constructiva, inherente a los sistemas complementarios.

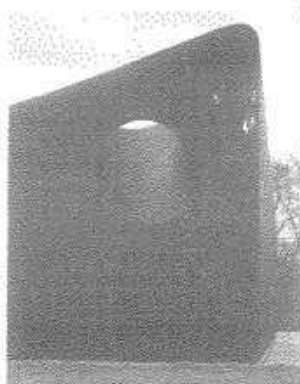


Fig. 16: Capa homogénea en forma de membrana de poliuretano sin juntas, aplicado por inyección y extendido con rodillo. NL Architects, estación de intercambio de calor WDSI, Utrecht-Leidsche Rijn, Países Bajos, 1998

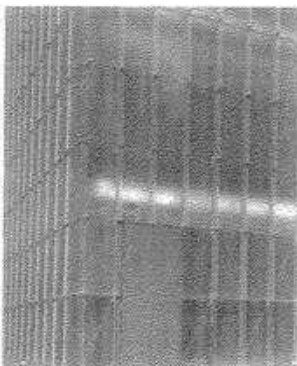


Fig. 17: Capa compuesta por la unión de placas de vidrio semitransparentes. Peter Zumthor, Kunsthhaus Bregenz, Austria, 1997

Nota 5: la elección del material de fachada depende de su disponibilidad, de sus cualidades técnicas, de su valor material y conceptual, así como de su sostenibilidad económica y ecológica.

Tanto las propiedades técnicas y constructivas del material como los conocimientos y la habilidad de los operarios y los empresarios son criterios fundamentales para la materialización de la superficie de fachada. Toda fachada está expuesta a la acción directa del medio ambiente: sol, viento, lluvia, nieve, cambios de temperatura, influjos mecánicos y químicos, que son los parámetros determinantes de los diferentes tipos de materiales recogidos en los catálogos, en lo que respecta al mantenimiento y la solidez de los mismos. Las normativas relativas a la protección de incendios y al aislamiento acústico configuran otros criterios esenciales. En vista de ello, la artesanía y la industria desarrollan construcciones y técnicas específicas, profesionalizadas mediante el planeamiento y la producción, y se establecen como procedimientos o sistemas constructivos.

Por su presencia inmediata en la superficie, el material de fachada determina el sello de identidad de una cultura constructiva. Pensemos, por ejemplo, en las típicas arquitecturas de madera de algunas regiones suizas, en la región de Berna o en el Valais, o en la cultura de ladrillo tan característica de Dinamarca. En ocasiones, el significado ideal del material de fachada supera las razones específicamente constructivas de su elección, y su justificación, legitimación y continuidad se debe sólo a razones de imagen. Ideas acerca de la tradición y del espíritu de la época encuentran así su expresión en un plano formal por medio de la superficie de la fachada.

Además de su auténtica función protectora, las capas exteriores de las fachadas asumen otras funciones que elevan su valor técnico. Un ejemplo común son las denominadas *fachadas mediláticas*, que asumen complementariamente tareas de esa índole por medio de proyecciones o impresiones de gran superficie. Podemos encontrar otro ejemplo en el campo de la construcción energética, donde la piel protectora, provista de colectores de agua o placas fotovoltaicas, produce energía solar activa.

Composición de la fachada

Nota 6: toda fachada, se componga de piezas o sea homogénea, se enfrenta en último término al problema de su composición.

Desde un punto de vista arquitectónico, la fachada puede ser muy delgada, concibiéndose como una piel o envoltorio, o muy sólida, conformándose como un auténtico caparazón o revestimiento mural; puede configurarse como un elemento plano y superficial, o bien plástico. Desde el punto de vista constructivo, esta capa puede estar compuesta por distintas piezas o ser homogénea.

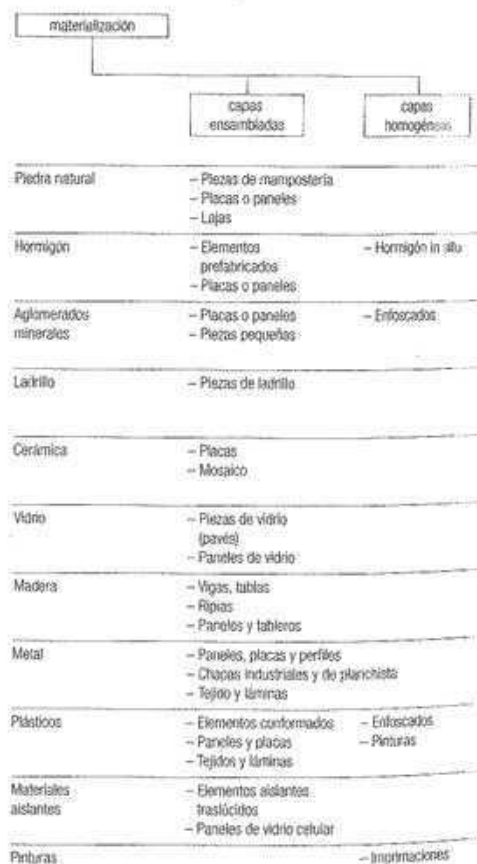
El concepto homogéneo se refiere en este caso a la estructura de superficie en su estado de acabado, y no debe confundirse con el concepto sintético, que guarda relación con la estructura en profundidad del sistema de la fachada.

La mayor parte de los materiales de fachada están compuestos por elementos o módulos individuales de mayor o menor tamaño, de modo que conforman una ensambladura mecánica que debe mantenerse unida y estabilizarse mediante el empleo de técnicas adecuadas.

La ejecución de una capa homogénea sólo es posible técnicamente con pocos materiales. Para ello es imprescindible que el material pueda aplicarse en obra mediante la elaboración de una unión química duradera e inherente al propio material.

Esto sucede, por ejemplo, con el hormigón, los enlucados, las imprimaciones o ciertos materiales sintéticos después de ser sometidos a un proceso de vertido, extensión, recubrimiento con pintura o soldadura. Los contornos de cada una de las etapas de este trabajo se "tapan" mutuamente, hasta lograr disimular el propio proceso por medios técnicos.

Por lo general, a causa de las propiedades técnicas y constructivas de un material, también en las construcciones homogéneas se produce una determinada parcelación de la capa del material, necesaria en superficies

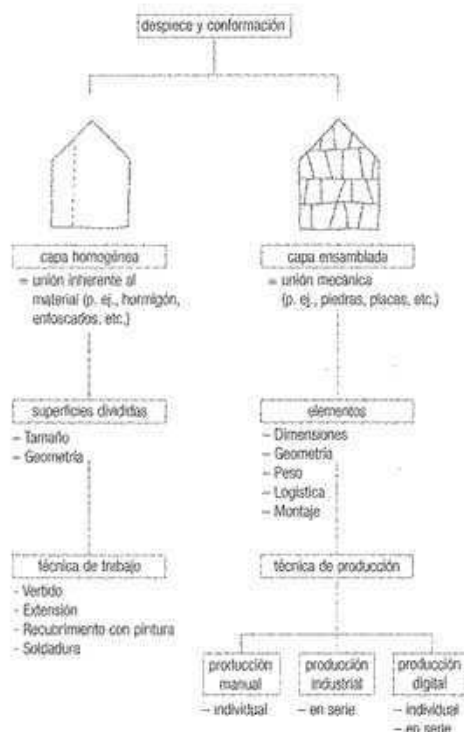


divididas singulares. Esto implica que la construcción de toda fachada, bien sea homogénea o compuesta por capas diferentes, se caracteriza por su composición o despiece. En el primer caso, resulta decisivo su despiece en función de las posibilidades de elaboración del material en obra; en el segundo, por lo que respecta a las condiciones de producción del módulo o del elemento en el proceso de su fabricación.

Conformación

Nota 7: la conformación de las partes de una fachada se determina principalmente por las propiedades del material, por el proceso de producción y por la logística.

Con frecuencia, la conformación es el resultado de interdependencias técnicas complejas. La dimensión de una losa de piedra natural, por ejemplo, depende fundamentalmente de las herramientas disponibles para arrancarla y aserrarla en cantera; la geometría y el tamaño de un ladrillo depende de los procesos de prensado y cocido en fábrica. La longitud y la sección de los elementos de madera maciza están limitadas por el propio crecimiento de la madera, controlado a su vez por la explotación forestal. Sin embargo, las dimensiones de los derivados de la madera están determinadas por las máquinas empleadas en la industria transformadora. La influencia de los arquitectos sobre estos factores y procesos es muy limitada, casi siempre por motivos económicos, y exige un conocimiento profundo de la dependencia entre las propiedades del material, la producción y su forma resultante.



La producción *manual*, artesanal, ofrece la mayor libertad en la configuración de la fachada, desde la realización de acabados específicos hasta la de pequeñas series. Un ejemplo de ello son los trabajos de planchas que, todavía en la actualidad, se basan en un número reducido de productos semiacabados que se ejecutan en una gran medida directamente en obra.

La producción *industrial* está dirigida a productos acabados, semiacabados o sistemas más complejos, basados a su vez en reglas geométricas y constructivas precisas, que encuentran su reflejo directo en la expresión de la fachada. La disponibilidad de determinadas partes se define mediante el catálogo del sistema y se regula a través del mercado.

A este respecto, la llamada producción *digital* abre nuevas perspectivas, aunando dos factores aparentemente contrarios: el diseño individual y la producción en serie mediante una digitalización consecuente que elimina la separación entre el planeamiento y el proceso de fabricación. En el caso ideal, formas geométricas complejas pueden transmitirse directamente desde el tablero de dibujo digital a la producción de los elementos constructivos, con lo que el arquitecto vuelve a tener mayor influencia en el proceso de producción y, en último término, puede determinar la conformación definitiva.

Junto con la producción, la logística y el factor tiempo, los elementos de la fachada desempeñan un papel fundamental en el proyecto. Particularmente, el transporte y las condiciones de montaje en obra influyen en la geometría, la dimensión y el peso de los elementos, y, con ello, en la expresión de una fachada como conjunto. El proceso

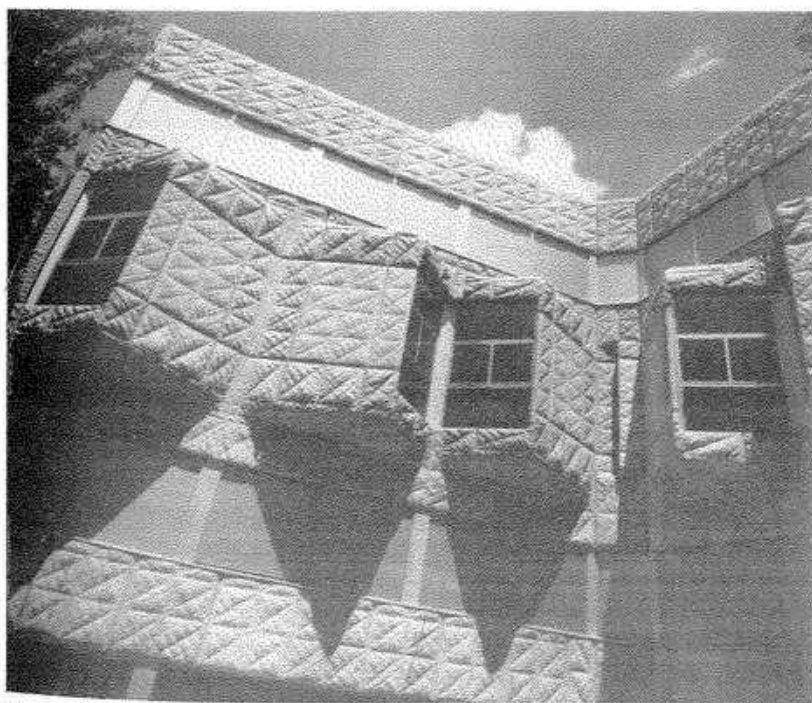


Fig. 18: Serie de elementos prefabricados de hormigón con distinta conformación plástica
Miguel Fisac; centro de rehabilitación NIUPAG, Madrid, España, 1970.

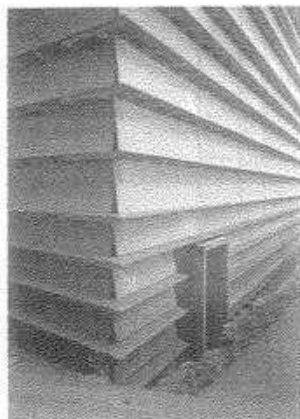


Fig. 19: Estratificación con juntas horizontales muy señaladas
Herzog & de Meuron: almacén Ricola, Laufen, Suiza, 1987

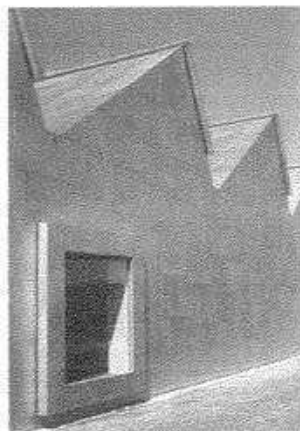


Fig. 20: Superficie envolvente continua de chapas imbricadas con juntas poco señaladas
Gigon Guyer: Liner Museum, Appenzell, Suiza, 1998

de envejecimiento de un material determina decisivamente la cuestión relativa a su sustitución, aspecto que influye también en la logística.

Ensamblaje

Nota 8: la junta articula la relación constructiva entre las partes de la fachada.

La unión de una estructura superficial surge por la disposición constructiva y geométrica adecuada de las partes que componen una fachada, sean éstas pequeñas o grandes. Entre esas partes se forma una junta que supone un problema tanto técnico como arquitectónico.

Mediante la junta se regula la relación constructiva entre cada parte específica de la fachada, y constituye a la vez un elemento separador y de unión. Entendida como elemento de unión, controla la estanquidad; como espacio intermedio, ofrece la necesaria tolerancia entre las partes. Dicha tolerancia se refiere tanto a la exactitud de las dimensiones durante el proceso constructivo, la denominada tolerancia dimensional, como la tolerancia de movimiento, que ofrece un margen a posibles dilataciones del material frente a la acción de influjos externos.

Cabe diferenciar entre juntas con un material complementario añadido al propio material de la junta o sin él.

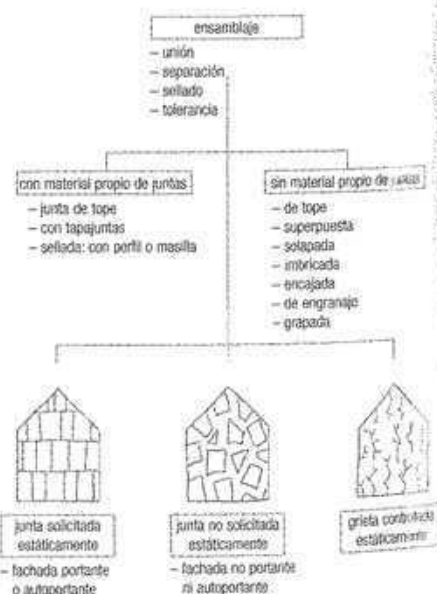
Las juntas sin un material propio se basan en una pura dependencia mecánica entre las partes específicas de la fachada, como, por ejemplo, un tope, un solape o imbricación, un encastrado, una ensambladura o un encaje. La dificultad de tales técnicas de unión reside en conseguir la necesaria estanquidad frente al agua y el viento. Por este motivo, este tipo de juntas se complementa con frecuencia con una capa de protección añadida, ya sea en forma de una lámina colocada detrás de plástico impermeabilizante o de papel oleaginoso, como sucede, por ejemplo, en una unión de chapas con doble ensambladura.

En juntas provistas de un material propio de juntas, éste interviene como un elemento complementario entre las partes de la fachada y asume la requerida unión, separación, estanquidad o tolerancia. Un típico ejemplo al respecto es el de la fachada de fábrica con llagas de mortero horizontales y verticales que unen entre sí los ladrillos, sellan las juntas y ofrecen un cierto juego espacial en la longitud y la altura de la masa del muro. Otro ejemplo es el de las fachadas de metal, donde el sellado de neopreno se encaja directamente en los bordes de los elementos metálicos. Los así denominados perfiles de compresión se comprimen durante el montaje mediante la presión ejercida al atornillar los elementos, garantizando la estanquidad necesaria. Una alternativa a este tipo de juntas es el sellado con una elasticidad muy duradera a base de silicona o masilla, ampliamente difundido pero que en último caso requiere necesariamente mantenimiento, porque la experiencia demuestra que, a pesar de todo, acaba agrietándose con el tiempo.

Según el sistema de fachada empleado, la unión de las partes de la misma, y con ella también las mismas juntas, están sometidas a diferentes solicitaciones estructurales. La fachada portante o autónoma muestra una construcción que sigue los principios de la transmisión de cargas, en tanto que las no portantes, o no autónomas, pueden configurarse con más libertad. En consecuencia, las juntas de los sistemas portantes forman forzosamente parte esencial del sistema estructural, están sometidas a esfuerzos estáticos y no pueden ser diseñadas con tanta libertad como las de los sistemas no portantes.

Ya se ha indicado con anterioridad que los sistemas homogéneos de fachadas también presentan juntas que aparecen como consecuencia del tamaño máximo de la superficie de cada una de las partes de que se compone la fachada, y que depende de la elasticidad del material. Tal como sucede con las partes de una fachada de grandes dimensiones, las diferentes superficies de que se compone la fachada deben *unirse* para que su superficie total cierre el edificio. Estas juntas permiten comprender las fases del proceso de trabajo. Las juntas de dilatación anticipan las tensiones debidas a movimientos y expansiones ulteriores de cada una de las superficies, e impiden la aparición de grietas en el material homogéneo.

La grieta controlada puede ser entendida como un caso especial de junta. Ésta no surge por la adición de partes individuales, sino por la consabida ruptura del material en un determinado lugar. La grieta controlada, bien sea un grupo de pequeñas grietas o grietas capilares, constituye una alternativa a la junta de dilatación para construcciones homogéneas (con la condición de que quede asegurada la estanquidad de la fachada). Este recurso, empleado, por ejemplo, con el hormigón visto o en enfoscados, necesita en todo caso una mezcla apropiada y precisa de material para evitar la aparición de lesiones.



Huecos

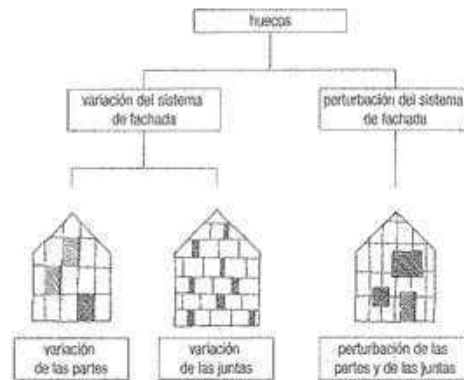
Nota 9: el hueco surge como variación o perturbación del sistema de fachada.

El grado de apertura potencial de un edificio se determina de forma esencial y permanente por la elección de la estructura portante. Por regla general, las estructuras portantes macizas limitan las dimensiones de los huecos. Sin embargo, en un caso extremo, las estructuras portantes ligeras pueden configurar fachadas compuestas casi exclusivamente por huecos. El grado de apertura efectivo se construye sobre la fachada a partir de la permeabilidad de la capa que envuelve exteriormente a la estructura portante. Esta regula la relación entre áreas abiertas y cerradas, transparentes y opacas. El hueco específico aparece bien como variación de una parte de la fachada, bien como alteración del sistema de la fachada.

Nota 10: como variación del sistema de la fachada, el hueco se sujeta a las reglas geométricas y constructivas de la misma.

En el plano de las diferentes partes de la fachada, el hueco surge como supresión, vacío o modulación, modificando con su materialidad y sus propiedades formales la transparencia de determinados elementos específicos. Un ejemplo típico es el muro cortina, donde puede establecerse una clara distinción entre elementos acristalados ciegos y transparentes, y entre chapas cerradas y perforadas.

Si consideramos las juntas, sus dimensiones pueden



variar hasta el punto de convertirse en un elemento transparente y se aprecien casi como un hueco. Esta forma de hueco se encuentra, por ejemplo, en establos, donde las juntas entre las distintas vigas están abiertas para permitir una amplia ventilación (solución que implica la necesaria aceptación de una estanquidad considerablemente menor de la fachada).

Nota 11: entendido como alteración del sistema de la fachada, el hueco ignora las reglas geométricas y constructivas de la misma.

Cuando el hueco se considera una alteración del sistema de la fachada, se comporta como un elemento autónomo. El encuentro, el contacto entre el hueco y el sistema de la fachada, se resuelve en muchos casos con un remate de borde que neutraliza el procedimiento constructivo aplicado a la fachada, su materialización, composición por partes y ensamblaje. Esta medida se muestra ejemplarmente, a la manera de un enmarcado, en huecos de fachadas clásicas, compuestos de cornisa, jambas y arquivolta. En otros casos, el hueco se recorta sencillamente en la fachada, de manera semejante a una perforación, sin que se perciban exteriormente ni el encuentro ni el contacto con la superficie de la fachada.

Composición

Con relación al volumen constructivo de todo el conjunto, la composición formal adecuada de los medios constructivos, del material, de las partes, juntas y huecos, conduce a la expresión específica de la fachada.

Por lo que se refiere a los materiales, es preciso armonizar colores y texturas, cualidades ópticas y táctiles; por lo que respecta a la división por partes, su ensamblaje y los huecos, es necesario considerar cantidades, dimensiones, geometrías y proporciones. Independientemente de las condiciones técnicas, se pueden observar además ciertos principios compositivos generales.

Nota 12: el número y tamaño de las partes, juntas y huecos, dependiente relativamente de su superficie, regula la modulación plástica de la fachada.

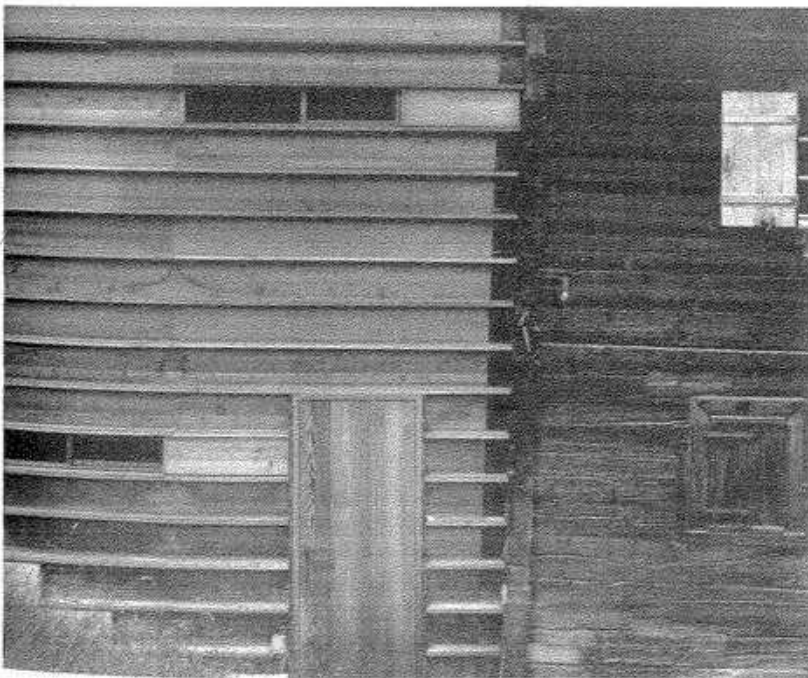


Fig. 21: Ventanas como variación del sistema de la fachada (izquierda) o como perturbación del mismo (derecha)
Peter Zumthor: casa Guggenheim, Versam, Suiza, 1994



Fig. 22: Desarrollo ondulado de una fachada de vidrio verticalmente reticulada con alternancia de bandas horizontales opacas y transparentes de distinta altura
Diener & Diener: Universidad de Malmö, Suecia, 2005



Fig. 23: Composición libre con materiales (chapas y vidrio diferentes), formatos, partes, ensamblajes y huecos distintos
MVRDV: edificio de viviendas Silodam, Ámsterdam, Países Bajos, 2002

La utilización de muchas partes pequeñas permite modular plásticamente y delicadamente una superficie de fachada. Los movimientos en la superficie o del volumen pueden detallarse y señalarse suavemente. Las partes individuales parecen confundirse con la masa. El número de juntas aumenta proporcionalmente con el de las partes. Una composición compacta de juntas ata óptimamente las superficies como si se tratara de una tela, y les confiere a menudo un carácter textil. Un ejemplo demostrativo de ello son las fachadas de fábrica de ladrillo visto, con sus juntas horizontales y verticales de mortero que recuerdan, dependiendo de la clase de aparejo, las estructuras textiles.

Con el aumento de partes y juntas, una textura puede refinarse hasta lograr la impresión de una homogeneidad casi total. En las fachadas de ripas, por ejemplo, por lo general compuestas de tablas pequeñas y delgadas con juntas y solapes apenas perceptibles, el desarrollo de la estructura superficial se lee como una piel continua. Los enfoscados, concebidos como conglomerado de diversos componentes minerales, permiten conseguir un amplio espectro de posibilidades, desde la apreciación de los distintos agregados hasta la consecución de una homogeneidad superficial total. La gradación correspondiente se controla a partir del tamaño de los áridos y la técnica de aplicación o acabado.

En contraposición a las estructuras superficiales compuestas de partes pequeñas, las superficies compuestas de relativamente pocas partes de gran tamaño producen el efecto de estar muy estructuradas. Las partes individuales son más fáciles de aprehender óptimamente y las juntas entre ellas se identifican mejor. En consecuencia, la composición geométrica y formal de las partes aparece en un primer plano de manera más destacada, domina la red formada por las juntas, mientras que el volumen general del edificio produce la impresión de ser más bien aditivo y fragmentario. En relación con las partes de una fachada, el contraste en composiciones formadas por partes de gran tamaño puede manejarse a partir de la anchura y coloración de las juntas.

Nota 13: el número y tamaño absoluto de partes, juntas y huecos regula el efecto aparente de un volumen, mientras que su colocación influye en la lectura de la estructura espacial interior.

Por lo general, la estructura superficial proporciona datos sobre la organización interna de un edificio, como, por ejemplo, en los casos donde la división o distribución de los elementos permite adivinar la posición de las diferentes plantas o espacios del edificio.

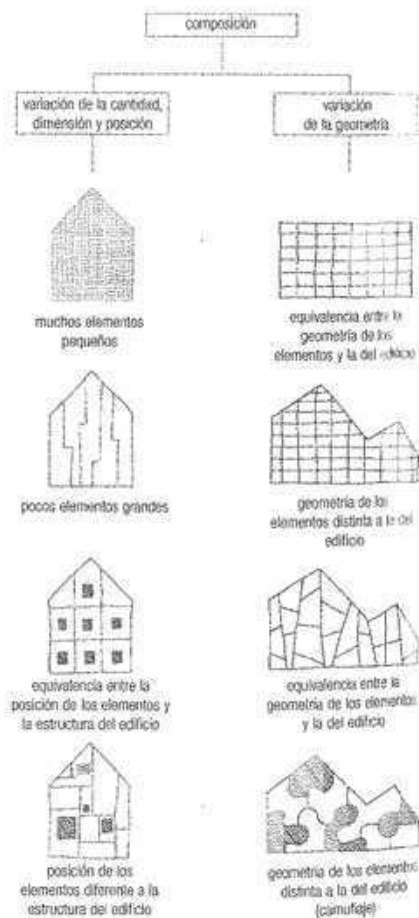
Con la manipulación selectiva de los elementos de articulación (por ejemplo, libres figuraciones, reducciones o multiplicaciones) puede ocultarse, difuminarse o incluso negarse la relación entre la estructura de la fachada y la estructura espacial interior.

Nota 14: la forma de los elementos, juntas y huecos regula la relación entre la geometría de la estructura superficial y la geometría del volumen constructivo.

Los elementos repetitivos proporcionan en conjunto una estructura superficial homogénea, una retícula clásica. Por principio, una retícula es geoméricamente rígida y no puede reaccionar a un contorno del edificio irregular o la trama domina el carácter general del edificio, o bien se recorta por la geometría del edificio, en cuyo caso los elementos deben modificarse en los bordes de las diferentes partes de que se compone la fachada y adecuarse a la geometría del edificio.

Los elementos conformados individualmente pueden ajustarse objetiva y específicamente a la geometría irregular de un edificio. El principio geométrico de las partes de que se compone una fachada se puede definir en este caso de un modo equivalente al de la geometría típica del edificio. Las geometrías irregulares de los bordes dejan de ser pues una excepción, convirtiéndose en la regla determinante.

Otra estrategia consiste en aplicar motivos ornamentales libres sobre la estructura de la fachada. Estas muestras siguen una lógica geométrica propia, que no se deriva, o al menos no directamente, de la geometría del



edificio. Se trazan libremente sobre el volumen constructivo, distanciándose visualmente de su contorno y de su forma general. Esta estrategia se conoce como camuflaje, como ocultamiento de intenciones que, si se aplica con un sentido positivo, favorece una expresión de la fachada formada por múltiples capas.

Proceso

Por último, se plantea la cuestión de cuándo comienza el proyecto o, mejor dicho, la construcción de la fachada. ¿Es la construcción de la fachada consecuencia de su carácter, o su carácter consecuencia de la construcción de la fachada?

Nota 15: como todos los procesos del proyecto de arquitectura, también la construcción de la fachada es un proceso iterativo, en el que las interdependencias de las decisiones individuales no son siempre claras y consecutivamente lineales.

Enfrentarse a esta cuestión en una primera aproximación puede realizarse libremente siguiendo criterios técnicos y formales, ya sea con relación a las pequeñas dimensiones como a las mayores. Es fundamental la motivación para enfrentarse críticamente con las consecuencias de la estrategia elegida, y para reconocer y comprender las múltiples interdependencias. Se trata de establecer una jerarquía entre lo forzoso y lo variable, entre factores que obedecen a reglas estrictas y factores que obedecen a

reglas flexibles. Por esto, el proyecto de la fachada está a su vez vinculado al concepto del proyecto arquitectónico en su conjunto.

La calidad y complejidad del proceso integral reside en una relación profesional y a la vez plena de tensión con los principios tanto constructivos como compositivos.

Nota 16: las observaciones realizadas no son mandamientos, sino reglas de orientación para reflexionar de forma precisa y sistemática sobre la construcción de la fachada. Éstas deberían favorecer el proceso de proyecto y, de manera clara, la relación entre su concepción, su construcción y su percepción. Se trata, pues, del intento de establecer una sistemática, si bien a veces una ruptura inteligente de las normas puede conducir a nuevos conocimientos.

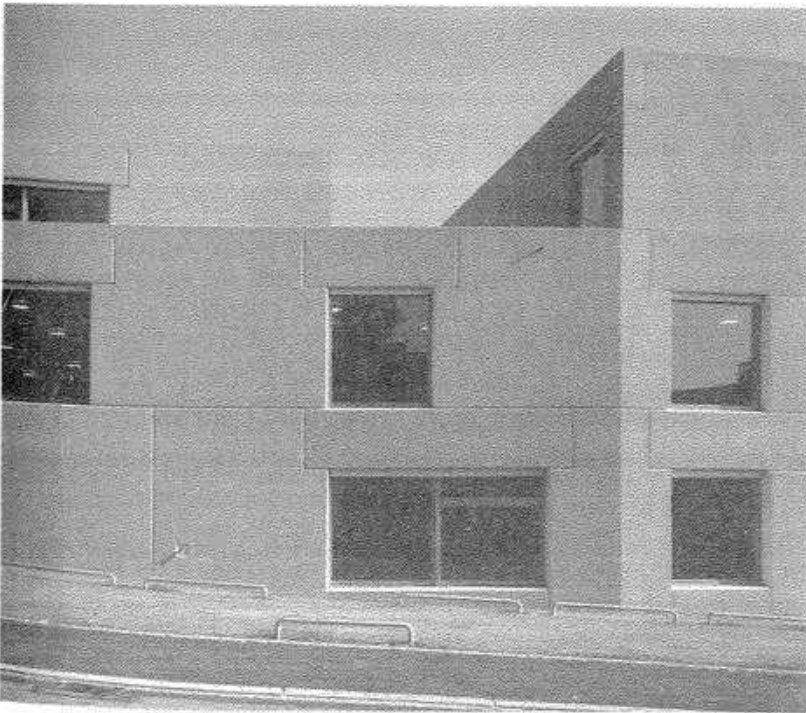


Fig. 24: Elementos prefabricados pesados de hormigón armado con juntas abiertas muy marcadas que envuelven un volumen edificatorio plástico
Van Balloos Kruckert Architekten: escuela primaria en Obermatten, Suiza, 2007

Bibliografía

Andreas Deplazes (EHT Zürich) y Jörg Fischer (consultor en madera, Bubikon).
Lignatec Fassadenbekleidungen, Lignum Zürich, noviembre de 2008.

A favor y en contra de la ventana apaisada

La controversia entre Auguste Perret y Le Corbusier

Bruno Reichlin

"El señor Auguste Perret informa sobre la sección de arquitectura en el Salón de Otoño"; bajo ese título *Paris Journal* publicó una entrevista con Auguste Perret acerca de la sección "Arquitectura y urbanismo" del Salón de Otoño de 1923 (celebrado entre el 1 de noviembre y el 16 de diciembre de dicho año).¹ Según el periodista Guillaume Baderre, este acontecimiento despertó el interés del público de una manera especial: "Unos estaban entusiasmados con las audaces propuestas de nuestros jóvenes arquitectos, otros sinceramente conmovidos, pero nadie permaneció impasible [...]. Son fundamentalmente las numerosas maquetas² de los señores Le Corbusier y Jeanneret las que han generado esta controversia. Ambos arquitectos tienen una técnica nueva e inusual que echa por tierra las tradiciones mantenidas hasta ahora".³

Perret utiliza la entrevista para arremeter directa y maliciosamente contra Adolf Loos, Le Corbusier y Jean-

neret, empleando para ello los mismos argumentos que dirige contra quienes sarcásticamente denomina "nuestros arquitectos de vanguardia". Les acusa de cultivar un nuevo academicismo tan formal como el que supuestamente combaten, y de ser completamente insensibles a los aspectos funcionales de la vivienda. "En beneficio del volumen y de la superficie de la fachada —afirma Perret—, estos jóvenes arquitectos caen en el mismo error cometido en nuestro pasado más reciente de favorecer la simetría, las columnatas o las arcadas [...]. El volumen les embruja, sólo tienen esto en mente, y sometidos a un sistema obligado se obcecán en la combinación de líneas, ignorando completamente todo lo demás". "Estos hacedores de volúmenes —así continúa su queja— transforman las chimeneas en restos lamentables que ni siquiera son aptos para la evacuación de humos. Llegan incluso a eliminar las cornisas exponiendo las fachadas a su pronta decadencia y ruina... Esta negación absoluta de cualquier principio funcional tan sólo puede producir estupor". Y esto, continúa Perret indignado, se puede observar especialmente "en Le Corbusier, un arquitecto que representa por antonomasia, o al menos pretende representarlo, el principio de la funcionalidad".

Como puede comprobarse, la crítica más dura de Perret se dirige a la forma de los huecos practicados en las superficies del muro, una crítica que provoca una respuesta también enérgica por parte de Le Corbusier y que dará origen a una controversia entre ambos arquitectos. En el curso de la misma se llegará a un cierto esclarecimiento a propósito de ambas posturas:

Por encima de argumentos puramente técnicos y estéticos, la discusión denota dos concepciones contrarias de la vivienda, pudiéndose incluso hablar de dos culturas (a condición de emplear el concepto en su sentido más amplio, casi antropológico). Pero consideremos exactamente las contradicciones existentes en esta cuestión y sus aspectos consecuentes. A lo largo de la entrevista, Perret vuelve una y otra vez a la contradicción entre forma y función con relación a las ideas arquitectónicas de Le Corbusier: el órgano debe crecer a partir de su función, pero el órgano no debe crecer más allá de su función... Y sin embargo, en Le Corbusier se observa la tendencia de que, para producir un efecto de volumen, sus ventanas se agrupan reunidas y haga que las grandes superficies de fachada que se encuentran entre aquellas sean totalmente ciegas; o que, movido por una veleidad puramente formal, cree ventanas de formas molestas e inadecuadas al extenderlas exageradamente ya sea en longitud o en anchura. Desde el exterior, este recurso produce desde luego una impresión original, pero mucho me temo que la impresión en el interior sea menos original, pues al menos la mitad del espacio queda consecuentemente desprovisto de luz, y esto es ir demasiado lejos con la originalidad".

Esta crítica le tocó a Le Corbusier en lo más hondo: profundamente ofendido, responde a Perret en dos oca-

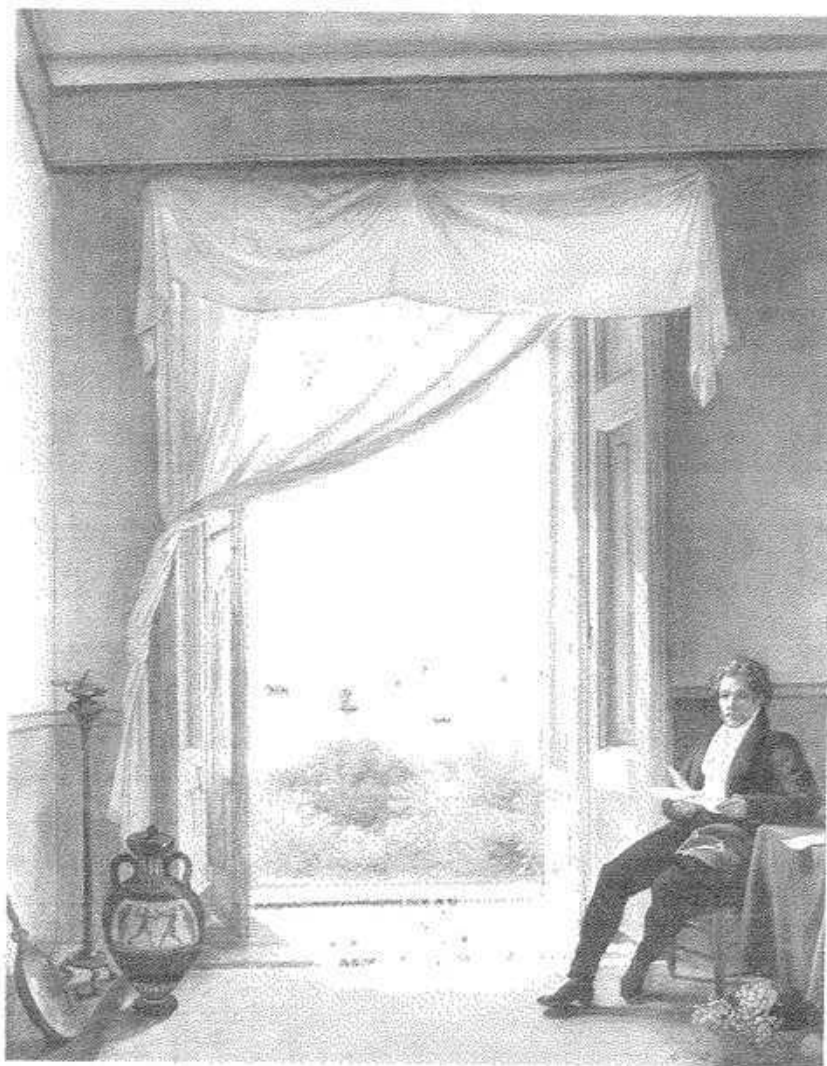


Fig. 1: Franz Louis Catell: *Schinkel en Nápoles, 1824*

siones en el mismo periódico *Paris Journal*. "Una visita a Le Corbusier-Saugnier", emprendida en todo caso por Baderre (*audiat et altera pars*) y publicada en la edición del 14 de diciembre, que le da la primera ocasión de réplica.⁴

Le Corbusier reconoce estar consternado ante la falta de compañerismo de Perret, acusándole de dirigir en su contra argumentos no sólo hirientes, sino también falsos. Una vez que Le Corbusier ha tocado someramente la crítica a las chimeneas y a la ausencia de cornisas, trata de forma directa la cuestión de las ventanas: "Y ahora el último reproche injurioso de Perret: mis ventanas no proporcionan luz. Este punto me pone furioso, pues la injusticia de esa acusación es más que evidente. ¿Qué significa tal cosa! Yo me esfuerzo por producir espacios luminosos, es mi objetivo principal, y justamente esto es lo que hace que la imagen de mis fachadas resulten un poco extrañas a los ojos de las personas de costumbres fijas. Una extrañeza deliberada, opina Perret. En efecto, es *intencionada*. No ha surgido por el gusto ante lo extraño, sino para introducir en el interior de mi casa tanta luz como sea posible, una gran cantidad de luz y de aire. El supuesto capricho no ha pretendido otra cosa que el deseo de satisfacer las necesidades vitales más elementales del habitante de la vivienda".

La edición del 28 de diciembre de 1923 de *Paris Journal* publica un segundo artículo de Guillaume Baderre, bajo el título "Segunda visita a Le Corbusier".⁵ Esta vez incluso el periodista toma partido por Le Corbusier y compendia ya los argumentos positivos a favor de las ventanas apaisadas (*fenêtre en longueur*), anticipando los escritos y conferencias que más tarde las divulgaron. En resumen: las ventanas verticales tradicionales surgen como consecuencia de unas condiciones constructivas dadas y ya superadas (piedra y ladrillo) que sólo permiten aberturas de pequeñas anchuras en construcciones de muros macizos. Por este motivo, antes se exigía un aumento de la superficie de las ventanas en edificios representativos, una altura desproporcionada de los huecos y, en consecuencia, también de los espacios. Sin embargo, el empleo del hormigón armado permite grandes luces, amplios huecos para la entrada de la luz, además de una gran reducción de los elementos portantes y, por tanto,

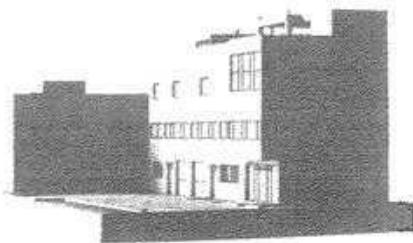


Fig. 2: Le Corbusier: casa La Roche-Jeanneret, París, Francia, 1923

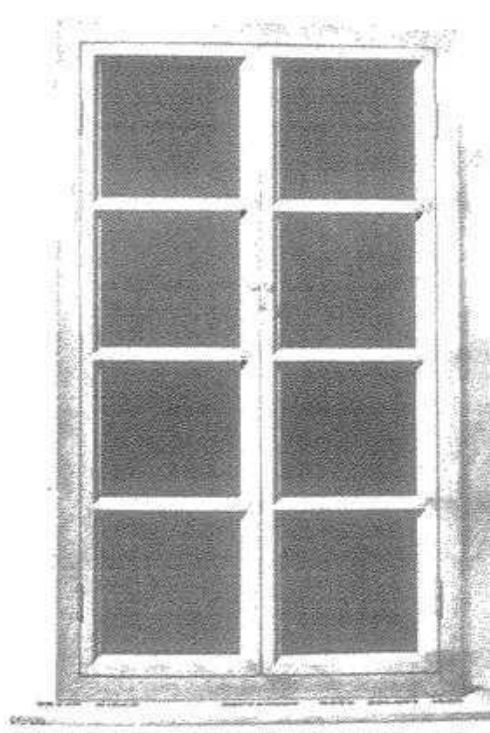


Fig. 3: Marcel Duchamp: Fresh window, 1920. Collage

la posibilidad de la ventana apaisada. "Es mucho más práctica —escribe Baderre— porque ilumina más con la misma superficie: en efecto, su forma permite recoger toda la luz a la altura de los ojos del habitante. En las ventanas de tipo tradicional se pierde aproximadamente la mitad de la luz. Un suelo debe ser luminoso, esto es evidente. La mayor parte de la luz, sin embargo, debería concentrarse en el centro del espacio, allí donde se produce la mayor actividad; es decir, entre la altura de los pies y la de la cabeza".

El artículo de Baderre adquiere una especial importancia por la coincidencia temporal de su publicación y la de los primeros proyectos (plantas y vistas de conjunto) de la pequeña villa en Corseaux, a orillas del lago de Lemán, proyectada por Le Corbusier y Jeanneret para los padres del primero.⁶ El plano de esta pequeña casa constituye un auténtico reto para Perret. "Tan sólo hay una ventana de verdad en uno de los lados, pero ésta abarca toda la longitud de la fachada". En cualquier caso, prosigue Baderre, es suficiente para iluminar toda la vivienda, pues además de que "gracias a sus dimensiones permite la entrada de suficiente luz, concluye a ambos lados justamente en las esquinas que forman las paredes trazadas en ángulo recto. Las paredes blancas dirigen la vista directamente al paisaje, sin que medie en ellas ningún intradós. Se encuentran realmente inundadas por la luz".⁷

Nada más expresar Perret su veredicto, y por medio de él como portavoz la "Institución" ("una autoridad en el campo de la arquitectura —escribió Baderre con admi-

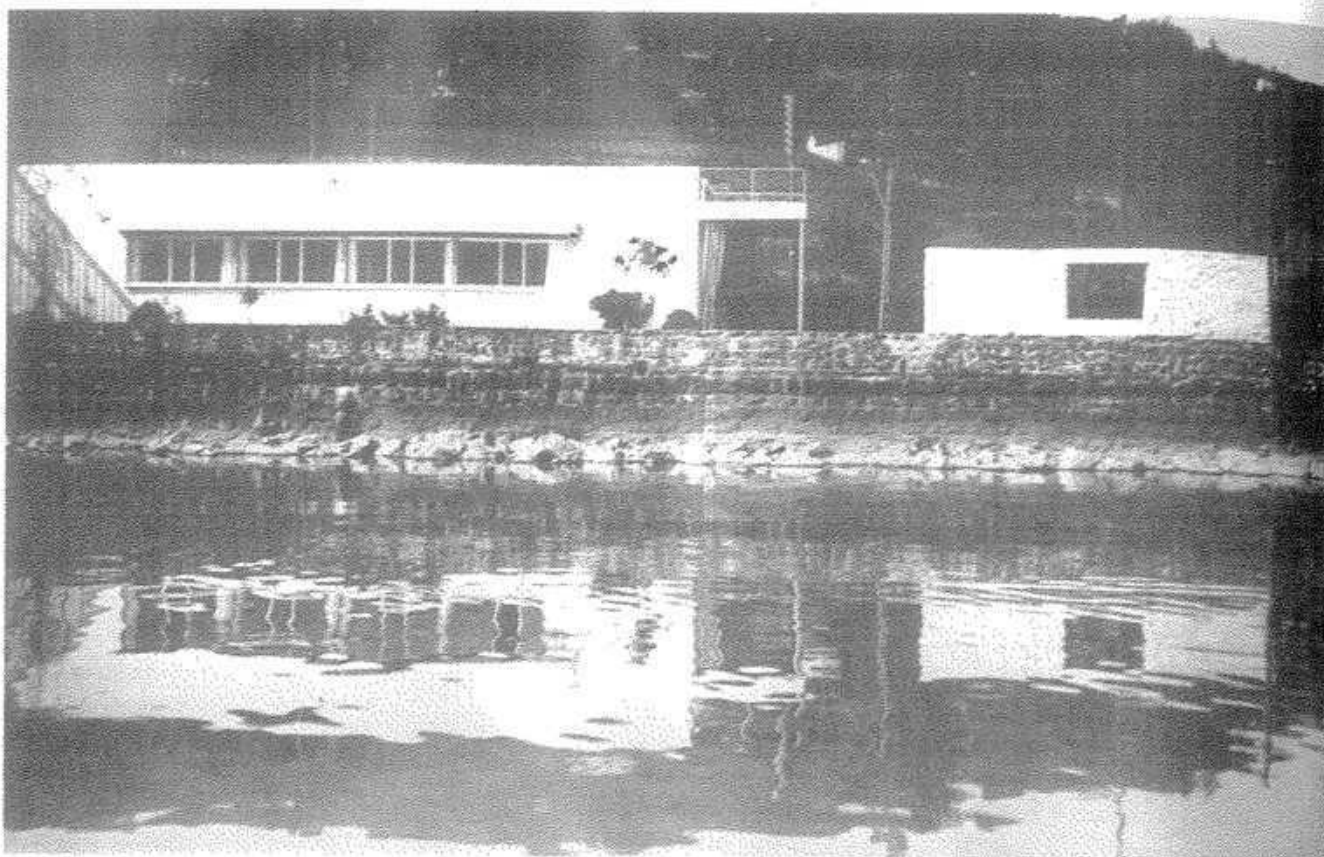


Fig. 4: Le Corbusier y Pierre Jeanneret: *petite maison* en Corseaux junto al lago Lemán, Vevey, Suiza, 1923

ración—, un dios del Olimpo se dispone a hablar”, replicaba irónicamente Le Corbusier en una mordaz carta a Perret).⁸ Le Corbusier responde con una obra que convierte el motivo de la querella, en cierto modo, en un manifiesto. Incluso en un pequeño libro publicado treinta años después de la construcción de la casa en el lago Lemán, Le Corbusier no sólo no eleva la ventana apaisada al rango de “primera protagonista de la casa”, sino que la considera la “única protagonista de la fachada”.⁹ Aunque a primera vista pueda parecer que la discusión a favor y en contra de la ventana apaisada se trate de una cuestión técnica (de la captación de la luz, de sus posibilidades constructivas, del ahorro de espacio), en realidad, de lo que se trata es de otra cosa: Le Corbusier incluye la ventana apaisada de la “pequeña casa” dentro de la controversia con Perret. Medio año más tarde se renueva otra vez la polémica a causa del Palais de Bois construido por Perret. Esta nueva querella la reprodujo y comentó Le Corbusier en *Almanach d'architecture moderne*, bajo el título “Petite contribution à l'étude d'une fenêtre moderne”, como apéndice a la presentación de la “pequeña casa”.¹⁰

En dos páginas seguidas, Le Corbusier presenta una fotografía del paisaje del lago que puede disfrutarse a través de la ventana, y un croquis propio que muestra

a Perret sentado en su silla de profesor ante la “fenêtre à bande magistrale”, que ilumina el bar del Palais. Este dibujo reproduce las circunstancias del encuentro entre Perret, Jeanneret y Le Corbusier. Tal vez se deba a la perfidia del dibujante que el bastón que sostiene en la mano el anciano maestro señale la ventana apaisada. Contento por haber “pillado” a Perret sentado tranquilamente frente a la única ventana apaisada del edificio, Le Corbusier le felicita —“es muy bonita su ventana apaisada”—, y se muestra muy satisfecho al descubrir que también el viejo maestro utiliza este tipo de ventana. En todo caso, Perret no acepta esta humorística suposición, sino que pasa al ataque y afirma categóricamente: “La ventana apaisada no es en absoluto una ventana. Una ventana, ¡es el hombre en sí mismo!” Y al argumento de Pierre Jeanneret, de que el ojo humano contempla siguiendo la línea horizontal, responde secamente: “Desprecio las panorámicas”.¹¹

Cuando Perret afirma que la ventana es “como un hombre”, lo hace porque reconoce en ello la analogía antropomórfica. Marcel Zahar lo precisa en su libro sobre Perret, con la siguiente aseveración: “La ventana vertical ofrece al hombre un marco, está en armonía con su silueta [...], la vertical es la línea del hombre recto, es la

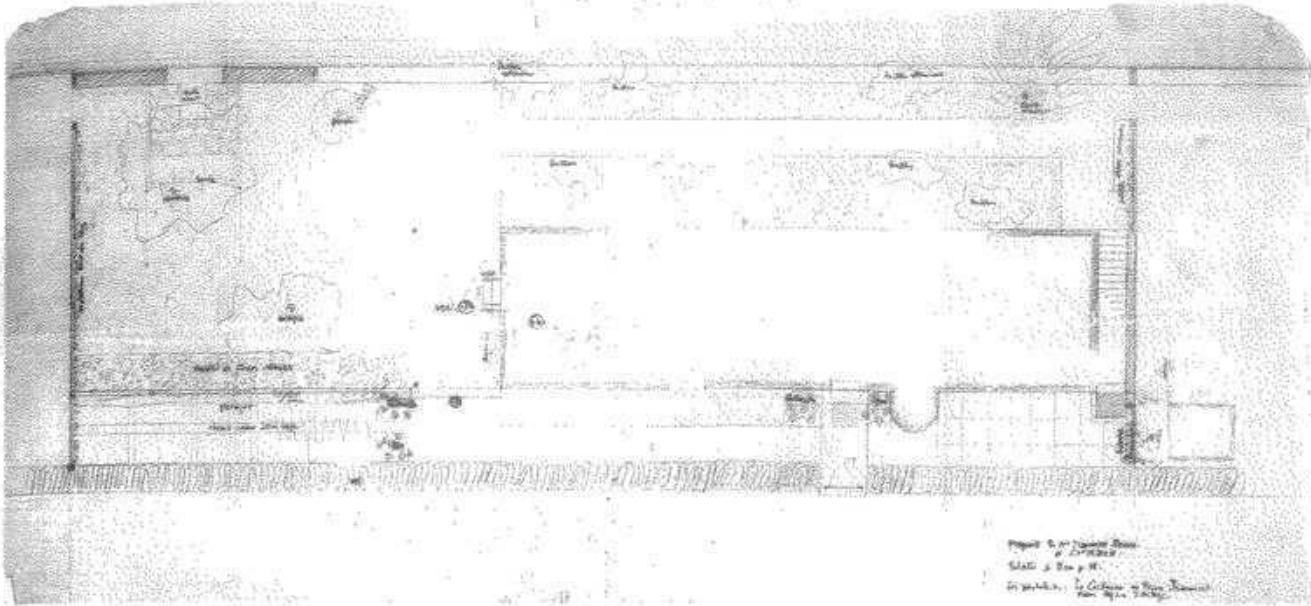


Fig. 5: Le Corbusier y Pierre Jeanneret: plano de situación de la *petite maison* en Corseaux junto al lago Lemán, Vevey, Suiza, 1923

línea de la vida misma".¹² Un *topos* cultural, pues, afianzado por una tradición pictórica y literaria con siglos de antigüedad, sostiene las convicciones de Perret. ¿A quién no le recuerda esta cita las primeras estrofas de los versos III y V, del ciclo *Las ventanas* de Rainer María Rilke?

¿Acaso no eres nuestra geometría,
ventana, forma simple
que circunscribes sin esfuerzo
nuestra vida desmesurada?

De qué modo añades a todo,
ventana, el sentido de nuestros ritos:
alguien que sólo estaría de pie,
en tu marco espera o medita.¹³

Perret rechaza la ventana apaisada al considerarla un signo de cambio profundo que cuestiona algunos valores enraizados hasta entonces en la cultura, en especial los que se refieren a la vivencia del espacio interior. Supuestamente por ello, considera que Le Corbusier "destruye la bella tradición francesa".¹⁴

Con la ventana tradicional, el espacio interior se abre al exterior: a su vez, la ventana define también el lugar y el umbral, lo que significa también una *delimitación* espacial y sensorial. Mientras que la ventana apaisada "nos condena a la contemplación de un panorama eterno", asevera Perret, la ventana vertical nos anima, "permitiéndonos contemplar un espacio completo: la calle, el jardín, el cielo". Pero, sobre todo, esos huecos se pueden también cerrar.¹⁵

Para Le Corbusier, la ventana apaisada, en contraposición a la tradicional, satisface una función mediadora entre el interior y el exterior, puesto que el hueco mismo, con su umbral, suprime las propias fronteras. Exactamente este es el mensaje intrínseco a la fotografía de la ventana apaisada de la *petite maison* publicada en *Almanach*, en la que todo lo que forma las partes concretas del edificio desaparecen indistintamente en un telón de fondo oscuro, del que sobresale, de un extremo a otro,

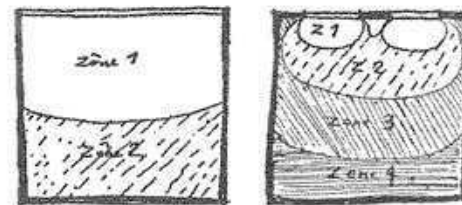


Fig. 6: Le Corbusier: croquis sobre el asoleo, 1923

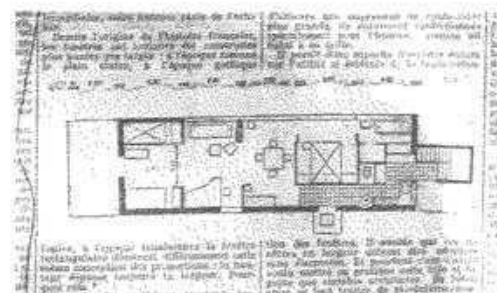


Fig. 7: Artículo sobre la casa en Corseaux de Le Corbusier y Pierre Jeanneret. Recorte de periódico *Paris Journal*, 28 de diciembre de 1923.

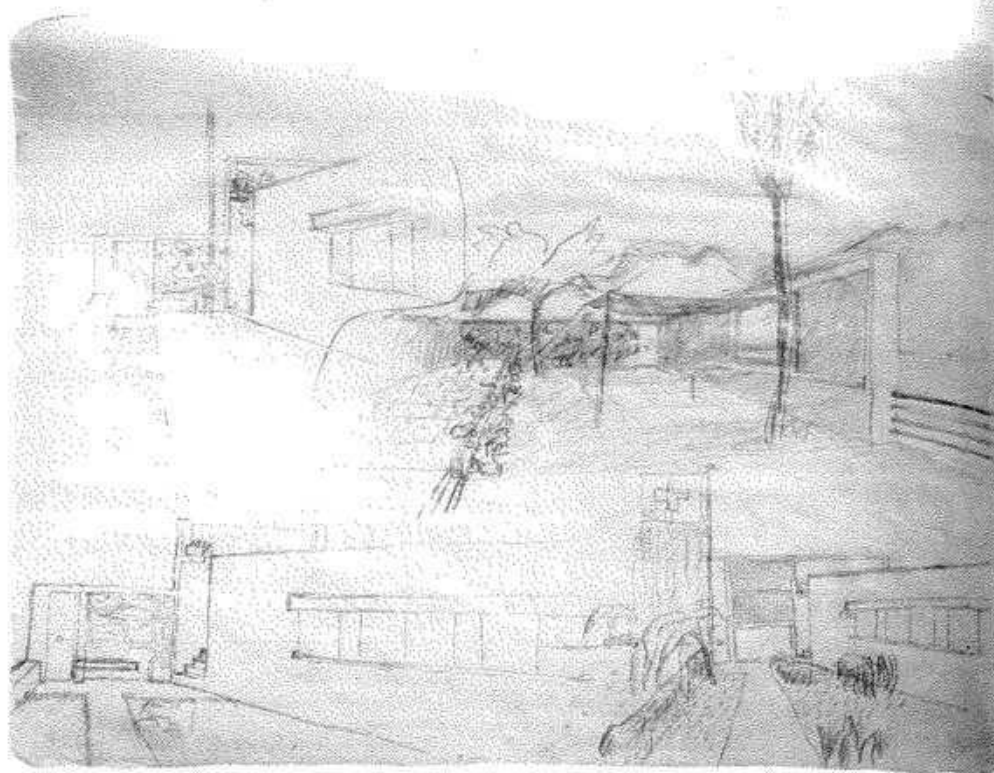


Fig. 8: Le Corbusier: hoja con croquis para la *petite maison* en Corseaux junto al lago Lemán, Vevey, Suiza, 1923

la espléndida vista de "uno de los panoramas más bellos del mundo";¹⁶ "el paisaje está tan presente como si uno estuviera en el jardín".¹⁷

Mientras que la ventana tradicional limita la visión a una parte reducida del *continuum* del paisaje, es decir, lo manipula otorgándole el aura de las *vedute*, la ventana apaisada satisface sobradamente las exigencias de la *Sachlichkeit* (objetividad), una de las metas fundamentales del movimiento moderno y del purismo. La ventana apaisada reproduce el paisaje tal cual: "la ventana de once metros de longitud introduce en el espacio interior la inmensidad del mundo exterior, la totalidad no falseada de un paisaje lacustre, con su atmósfera tormentosa o su irradiante tranquilidad".¹⁸

Pero, ¿es cierto que la ventana apaisada *no* manipula la imagen? Perret había afirmado que la ventana vertical (conocida no por casualidad en otras culturas también como "ventana francesa") proporciona una "impresión espacial total" porque permite la vista sobre la calle, el jardín y el cielo. Marie Dormoy, la fiel intérprete de Perret, precisa por su parte: "La ventana rectangular colocada verticalmente hace mucho más alegre un espacio que una ventana horizontal, porque esa forma proporciona también la percepción más viva y multicolor del primer plano de una vista".¹⁹ Esta observación nos recuerda que, desde los días del romanticismo hasta la actualidad, la pintura ha mostrado una especial predilección por la imagen de

la ventana. Igualmente importante es también su papel en el desarrollo del espacio paisajístico moderno, puesto que la ventana vertical favorece que la vista se pasee hacia abajo por el primer plano espacial así como por los más próximos (calle y jardín), por la horizontal de los planos medios y profundos —edificios situados enfrente, árboles, trasfondo de colinas— y hacia arriba, por la ilimitada profundidad del cielo. Así, la ventana muestra un plano visual de profundidad perspectiva máxima y una gran multiplicidad y gradación respecto a la dimensión, policromía y luminosidad del paisaje. A su vez, la ventana vertical constituye un mediador ideal de múltiples sensaciones ambientales: la apreciación del entorno habitable inmediato tranquiliza, y la vista desde la posición elevada de la ventana proporciona la necesaria distancia y la discreción de la intimidad.

"La vista desde la ventana forma parte de la condición del hombre que habita la casa, sobre todo de la del hombre burgués, habitante de la vivienda urbana [...]. Así es la ventana [...], es el lugar de los monólogos y diálogos mudos, de la reflexión sobre la propia posición entre lo limitado y lo ilimitado".²⁰ Puede observarse, pues, que los motivos de interés de los pintores por el tema de la ventana son los mismos que los de Perret cuando prefiere la ventana vertical.

Desde el momento en que la pintura se aleja de un modo más o menos consciente del cuadro como "caja de

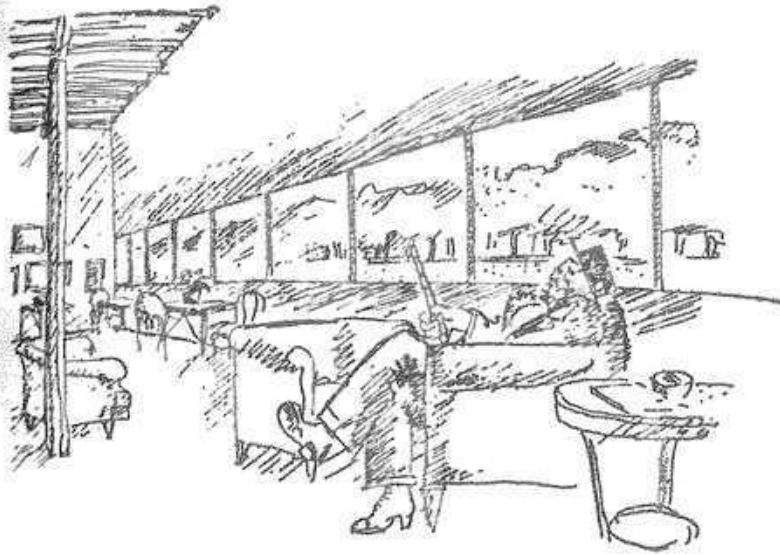


Fig. 9: Le Corbusier: August Perret sentado ante la ventana apaisada construida por él para el Palais de Bois, 1924

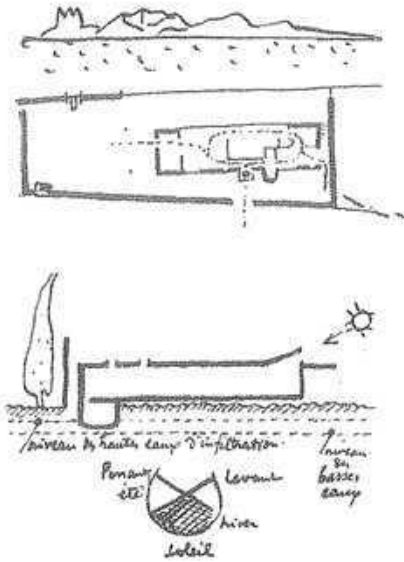


Fig. 10: Le Corbusier: planta de situación (arriba) y croquis de la sección (abajo) de la petite maison en Corseaux junto al lago Lemán, Vevey, Suiza, 1923

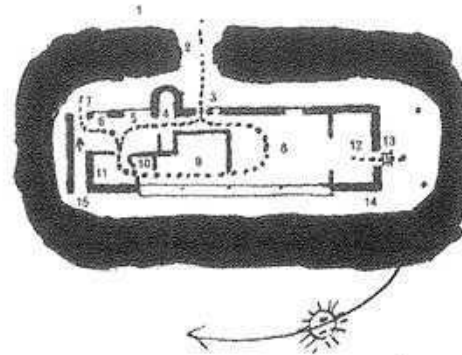


Fig. 11: Le Corbusier: esquema de circulación de la planta (el norte hacia arriba), 1923

la mirada", y en el renacimiento pone en cuestión el principio retrógrado de que cada cuadro en sentido propio constituye la "imagen de una ventana", es cuando este motivo llega a ser también un campo de experimentación significativo para la pintura moderna. "Para constreñir todos los elementos figurativos dentro de la superficie del cuadro",²¹ la pintura retrocede poco a poco desde el espacio absoluto de la perspectiva lineal, renuncia al espacio perspectivo, a la reproducción de lo tangible y, asimismo, a la aparente materialidad de la materia. La pintura se despidió tanto de la objetividad cromática absoluta como de la apariencia cromática relativa, así como del detalle gráfico y de la correcta reproducción de las proporciones anatómicas y perspectivas.

En lo que se refiere al motivo de la ventana como tema dentro de este decidido proceso de reducción, Schmoll, llamado Eisenwerth, sostiene que "el motivo de la ventana

en la pintura de los siglos XIX y XX ha 'allanado' (en sentido literal) el camino para el entendimiento de una pura configuración constreñida a la superficie, que renuncia a los objetos, sobre el plano de profundas representaciones ilusionistas (como ya se preludia en el cuadro *Puerta-ventana* de Henri Matisse, de 1914). En la pintura occidental la representación perspectiva comenzó con la idea de que la mirada observase la profundidad espacial a través de una ventana; del mismo modo, ésta termina con el reconocimiento de la figura misma de la ventana como portadora de una arquitectura figurativa plana".²²

Ante el trasfondo de esta observación sumárisima acerca del papel que juega el motivo de la ventana como un importante tema precursor de la pintura moderna, examinemos de nuevo la ventana apaisada. Perret se opone a la misma porque no permite apreciar totalmente el espacio (jardín, calle, cielo), si bien para él, tal y como



Fig. 12: Le Corbusier y Pierre Jeanneret: vista a través de la ventana apaisada de la *petite maison* junto al lago de Ginebra, foto de época.

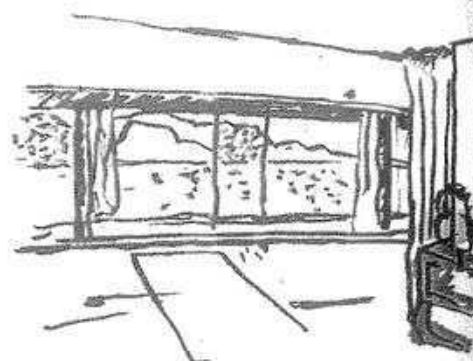


Fig. 13: Le Corbusier: espacio interior de la *petite maison* junto al lago Lemán, 1923

recuerda Margherita G. Sarfatti, "en el trozo de cielo estaba sobre todo lo que la ventana horizontal casi siempre hurta a nuestra vista".²³ De hecho, la ventana apaisada disminuye la percepción y la adecuada valoración de la profundidad espacial del paisaje contemplado. Esta impresión refuerza aún más la extrema distancia de las delimitaciones visuales verticales, y tanto más si (como en el caso de los primeros croquis del proyecto de la *petite maison*) algunos elementos de la delimitación espacial, como los muros laterales y los techos en los bordes de los huecos, se sustraen a la visión. Dicho de otra manera: la ventana en longitud perfora la pirámide visual horizontalmente hacia ambos lados y desaparece con ello del área óptica de percepción del observador. En conse-

cuencia, la imagen-ventana pierde las cualidades de una *veduta* enmarcada por la ventana, y el marco de la ventana su función de *repoussair*.

Pero si la ventana apaisada se contrapone a la "caja visual" perspectiva, que se configura a través de la profunda oblicuidad y del marco de la ventana tradicional, entonces la ventana apaisada debe incluirse dentro de aquellos dispositivos constructivos que han contribuido eficazmente a desligar a la arquitectura del espacio perspectivo tradicional. Por lo que se refiere a la concepción y al efecto espacial, la ventana en longitud juega un papel semejante al de los experimentos pictóricos que, partiendo de la ventana como motivo, tuvieron como consecuencia la "transformación del cuadro en una pintura que acentúa su carácter de superficie".²⁴

"El paisaje está ahí" en su directa inmediatez, como si estuviera pegado a la ventana, bien porque se excluya un efecto tranquilo y distanciado de la imagen, bien porque la "transición entre los objetos cercanos y conocidos, y los más alejados, se oculta a la vista, con lo que disminuye esencialmente la percepción de la profundidad espacial".

"La paradoja de la ventana de los modernos, en cierto sentido absolutamente transparente, que se abre hacia fuera y a la vez también se cierra hacia adentro" había preocupado a arquitectos y artistas del espacio desde finales del siglo xx y hasta principios del siglo xi.²⁵ A propósito, Dolf Sternberger, en su libro *Panorama oder Ansichten der 19. Jahrhundert*, escribe un capítulo entero sobre "La ventana incómoda". Y Cornelius Gurlitt, en sus reflexiones acerca del arte, oficios artísticos e interiorismo,²⁶ abre su capítulo sobre la ventana con un par de observaciones breves acerca de su evolución más reciente: el aumento progresivo tanto de la abertura como de los propios paños de vidrio: "El grito del Goethe moribundo, 'más luz', golpeó con fuerza en nuestras vivien-

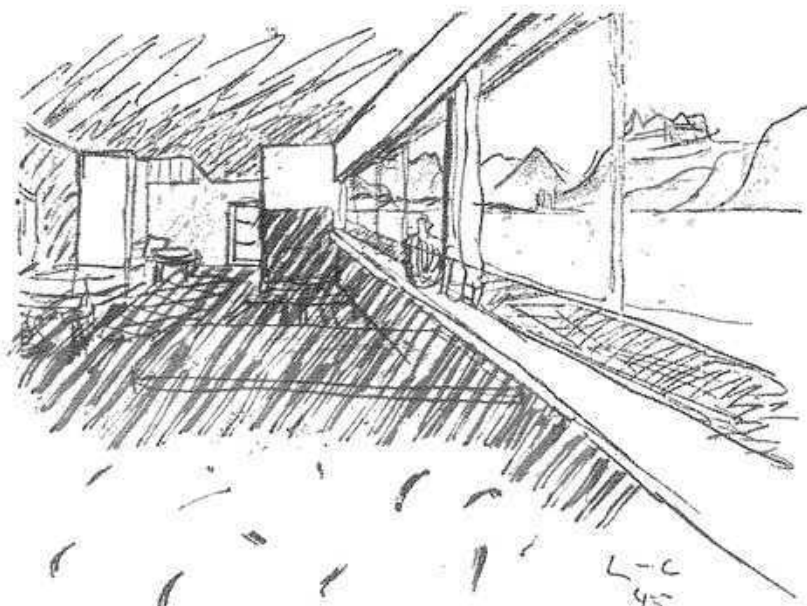


Fig. 14: Le Corbusier: vista a través de la ventana apaisada de la *petite maison* junto al lago Lemán, 1923

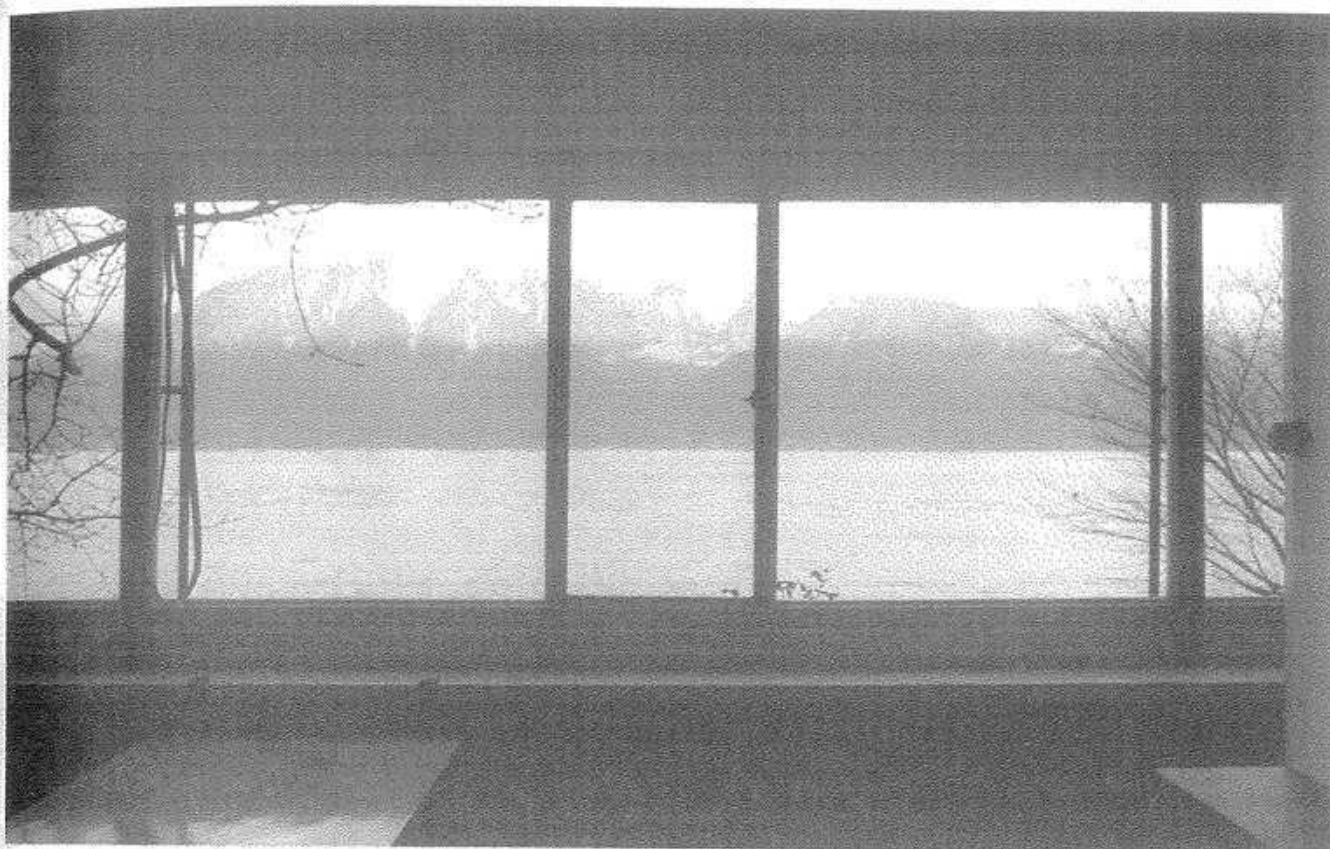


Fig. 15: Le Corbusier y Pierre Jeanneret: vista a través de la ventana apaisada de la *petite maison* en Corseaux junto al lago Lemán, foto actual

das. Pero, al mismo tiempo, Gurlitt se lamenta: la ventana de gran tamaño vinculó en exceso la habitación con el mundo exterior, la pericia de los hombres para fabricar grandes láminas de vidrio totalmente transparentes, a través de las cuales desaparece el límite visual entre interior y exterior, ha aumentado hasta llegar a perturbar la separación artificial del espacio". El uso de cortinas claras hacia finales del siglo XVIII, la reciente moda de los estores y paños con vidrios emplomados son, según Gurlitt, un recurso para devolver el "aislamiento interior" a los espacios interiores (perturbado tanto por la intensa relación con el mundo exterior como por la penetración de una luz demasiado homogénea, que priva a las estancias del encanto de la penumbra). Lejos queda lo que discurre fuera (esta frase tiene vigencia sobre todo para el espacio interior protegido que Gurlitt añora de nuevo): "En él nos sentimos solos, ya sea con nuestros pensamientos o con nuestros amigos".

En el mismo sentido, Baillie Scott critica irónicamente la moda de las grandes ventanas que se había extendido en los suburbios de villas de las ciudades inglesas: "Ya desde el exterior percibimos la colosal brecha abierta en el muro que, como la ventana de una tienda, se ha pen-

sado teniendo en cuenta el efecto exterior. Allí están la mesa con el jarrón, los visillos de encaje y todo lo demás como en un escaparate. En el interior, una luz ímpia y cegadora destruye toda tranquilidad y sentimiento de protección".²⁷

"El interior —escribe Walter Benjamin en su *Libro de los pasajes*— no es tan sólo el universo, sino también la envoltura protectora del hombre privado".²⁸ En la penumbra fantasmagórica y crepuscular del interior (que amortigua la realidad corpórea de las cosas, mientras su "ser-ahí", su *Dasein*, fundamentalmente simbólico, "eleva" su valor de uso, su carácter de mercancía y de objetos), muebles y baratijas personales conforman un ángulo protegido de identificación ideológica y sensible, porque la suave ilusión que flota en el centro de cada microcosmos ha sido convenida por el habitante mismo y en armonía con su íntima disposición.

Y sin embargo, la ventana apaisada de Le Corbusier abre una brecha en la "guardia del hombre privado" y el mundo exterior triunfa sobre el interior. En el mínimo espacio habitable de la villa junto al lago, la naturaleza es, de repente, casi aprehensible en toda su grandiosidad, incluyendo su ciclo de cambios climáticos y de estaciones



Fig. 16: Caspar David Friedrich: ventana izquierda en su vivienda estudio de Dresde, 1806

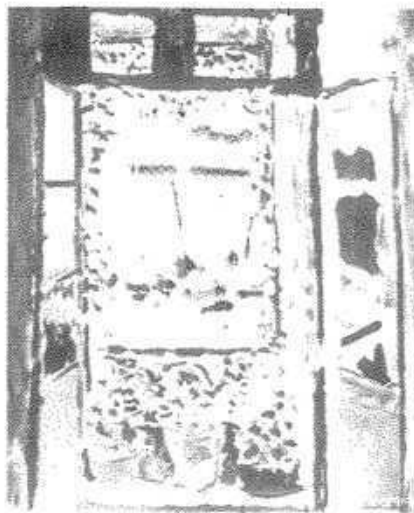


Fig. 17: Henri Matisse: Puerta ventana en Colliure, 1905

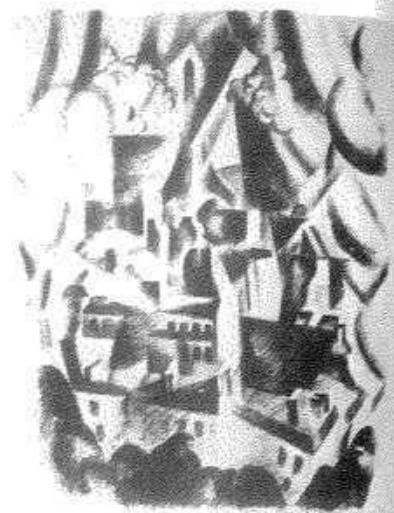


Fig. 18: Robert Delaunay: Ventana sobre la ciudad, 1916

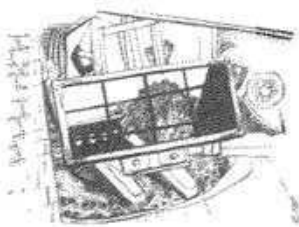


Fig. 19: Max Beckmann: Interior con espejo, 1926

del año. "Una ventana de once metros de longitud crea una relación, permite el paso de la luz [...] y llena la casa con la amplitud de un paisaje único: el del lago con sus transformaciones y el de los Alpes con su maravilloso juego de luces".²⁹

"Entonces los días dejan de ser tristes: desde el alba hasta la noche la naturaleza muestra su metamorfosis".³⁰ Cuando no se ve frenada por muros o cortinas, la luz penetra a raudales a través de cada hueco y produce un encantamiento del espacio y de los objetos; confiriéndoles su "atmósfera" (*objets-sentiment*), devolviéndoles su primitivo, sólido y prosaico sentido de "herramientas" (*objets-outil*).³¹

La interioridad se ha fugado, en este caso hacia el mundo exterior. La auténtica naturaleza es el lugar de las experimentaciones no falseadas, el objeto eufórico de los deseos que puede elevar el espíritu y consolar. La casa junto al lago ginebrino es un refugio diminuto a los pies de esa consoladora naturaleza. Pero la *petite maison* no es la "cabaña" de gruesos muros que forman un cuadrado protector en torno al espacio interior. La ventana apaisada, abierta ampliamente al paisaje, obliga al morador de la vivienda a una inusual "omnipresencia" visual y psicológica.

En la frontera de dos espacios antitéticos, el lugar de la presencia real y el de la añoranza (y teniendo en cuenta que el último está condenado a un papel pasivo por parte del espectador, justo ahora, que se ha disuelto la intimidad de las cosas y del espacio que lo aísla y rodea), el ser

humano experimenta la duplicidad psicológica y simbólica del moderno "espacio interior" que, en el mejor de los casos, sólo puede hacer tomar conciencia de la arquitectura y explicarla.³²

Notas

- ¹ *Paris Journal*, 1 de diciembre de 1923. El documento se encuentra en la Fondation Le Corbusier (en lo que sigue: Doc. FLC), París.
- ² En el catálogo del Salón de Otoño (pág. 344) se citan en todo caso sólo dos maquetas de hoteles privados.
- ³ Todas estas citas de Auguste Perret están sacadas de la revista *Paris Journal*.
- ⁴ *Paris Journal*, 14 de diciembre de 1923. Doc. FLC, París.
- ⁵ *Paris Journal*, 28 de diciembre de 1923. Doc. FLC, París.
- ⁶ El diario del padre de Le Corbusier, Georges-Edouard Jeanneret, se conserva parcialmente en la biblioteca de La Chaux-de-Fonds y, con fecha del 5 de septiembre de 1923, contiene una primera referencia a las intenciones constructivas. La propuesta "de una casa purista, con forma de vagón" aparece por primera vez el 27 de diciembre de 1923.
- ⁷ *Paris Journal*, 28 de diciembre de 1923. Doc. FLC, París.
- ⁸ Carta de Le Corbusier a Auguste Perret, 13 de diciembre de 1923. Doc. FLC, París.
- ⁹ Le Corbusier, *Une petite maison* 1923, Girsberger, Zürich, 1954, págs. 30-33 y 38 (versión castellana: *Una pequeña casa* 1923, Infinito, Buenos Aires, 2006).
- ¹⁰ Le Corbusier, *Almanach d'architecture moderne*, Crés, París, 1926, págs. 16-17.
- ¹¹ Esta opinión de Auguste Perret aparece recogida en Zahar, Marcel, *Auguste Perret: d'une doctrine d'architecture*, Editions Vincent-Frési, París, 1993, pág. 15.
- ¹² *Ibid.*
- ¹³ Rilke, Rainer Maria, "Las ventanas" (1924-1926) (versión castellana: "Las ventanas", en *Poemas franceses y últimos poemas alemanes*, Azú Editorial, Barcelona, 2006, págs. 167 y 171).
- ¹⁴ Notas de Le Corbusier en una hoja sin fecha acerca de una opinión que Perret dirigió al editor de *L'Architecture Vivante*, febrero de 1926. Doc. FLC, París.
- ¹⁵ Según Zahar, Marcel, *op. cit.*
- ¹⁶ Le Corbusier, *Une petite maison*, *op. cit.*
- ¹⁷ Le Corbusier, *Almanach d'architecture moderne*, *op. cit.*
- ¹⁸ Le Corbusier, *Précisions sur un état présent de l'architecture et de l'urbanisme*, Crés, París, 1930, pág. 30 (versión castellana: *Precisiones respecto a un estado actual de la arquitectura y del urbanismo*, Apóstrofe, Barcelona, 1999).

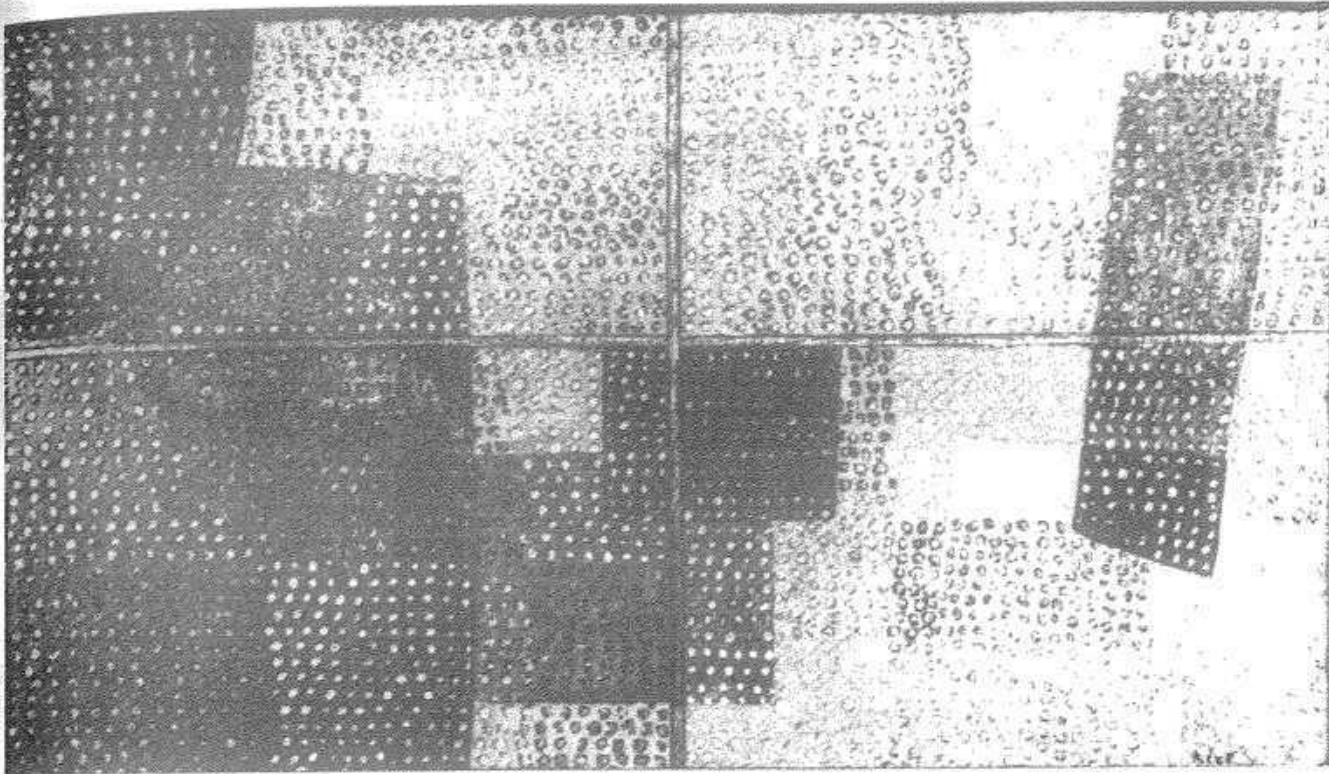


Fig. 20: Paul Klee: A través de una ventana, hacia 1932

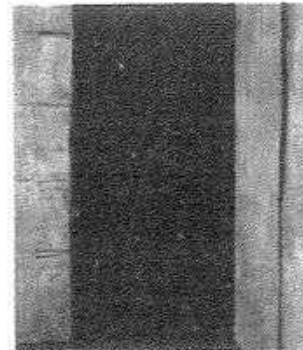


Fig. 21: Henri Matisse: Las puertas ventanas, 1914

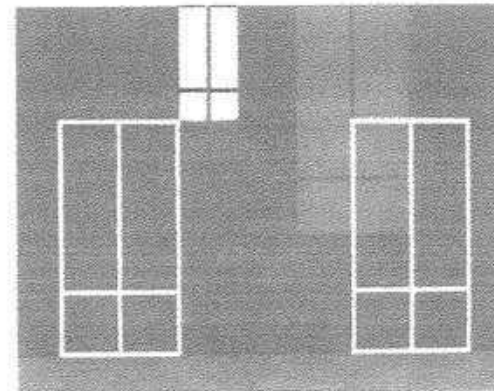


Fig. 22: Josef Albers: Ventana, 1929

- ¹⁰ Dornoy, Marie, "Le Corbusier" en *L'amour de l'art*, 5, marzo de 1930, págs. 213 y ss.
- ¹¹ Schmoll, J. A. (llamado Eisenworth), *Fensterbilder Motykatten in der europäischen Malerei ein Beiträge zur Motykatten des 19. Jahrhunderts*, Prestel, München, 1970, pág. 162.
- ¹² Schmitt, Georg, *Kleine Geschichte der modernen Malerei*, Reinhardt Friedrich Verlag, Basilea, 1965.
- ¹³ Schmoll, J. A., op. cit., pág. 150.
- ¹⁴ Sartuti, Margherita G., "Perret", en *L'Architecture d'aujourd'hui*, 1932, pág. 11.
- ¹⁵ Schmoll, J. A., op. cit., pág. 151.
- ¹⁶ Sternberger, Dolf, *Panorama oder Ansichten vom 19. Jahrhundert*, [1938], Suhrkamp Verlag, Frankfurt, 1974, pág. 156.
- ¹⁷ Gullit, Cornelius, *Im Bürgerhaus*, Dresden, 1888.
- ¹⁸ Bullie Scott, M. H., *Houses and gardens*, G. Nisnes, Londres, 1906.
- ¹⁹ Benjamin, Walter, *Das Passagenwerk*, en *Gesammelte Schriften*, Suhrkamp Verlag, Frankfurt, 1972-1999 (versión castellana: *Libro de los pasajes*, Akal, Madrid, 2005).
- ²⁰ Le Corbusier, *Précisions sur un état présent de l'architecture et de l'urbanisme*, op. cit., pág. 130.
- ²¹ Le Corbusier, *Almanach d'architecture moderne*, op. cit., pág. 94.
- ²² Le Corbusier, *L'art décoratif d'aujourd'hui*, Crès, Paris, 1925, capítulo "Besoins-types", pág. 69 y ss.
- ²³ Schmoll, J. A., op. cit., capítulo "Schlussbemerkungen und literarische Aspekte".

Interdependencia entre ventana e intradós

Planteamiento del problema

Se denomina hueco al vacío existente en un muro, pared o techo. Los huecos unen espacios funcional y/o visualmente, y los ponen en relación. Nuestras observaciones se limitan en lo que sigue a huecos en muros exteriores verticales. Las superficies generadas por el corte ocasionado por una abertura en la profundidad del muro se denominan intradós (las verticales), dintel (la horizontal superior) y alféizar (la horizontal inferior).

La ventana es el elemento constructivo empleado para cerrar un hueco. Está formado por el marco o cerco, las hojas practicables y el acristalamiento, y se fija en el intradós. Ventana e intradós constituyen por tanto una unidad constructiva interdependiente que, en el lenguaje coloquial, se simplifica por lo general denominándola ventana. La ventana es simultáneamente un elemento de unión y de separación entre el espacio interior y el exterior.

Por una parte, la permeabilidad a la luz del acristalamiento establece relaciones visuales entre los espacios interior y exterior, mientras que, por otra, proporciona la iluminación del espacio por medio de la luz natural. Por ello, la posición y el tamaño de los huecos constituye un aspecto fundamental del concepto espacial de un edificio. La llamada "captura de la luz" hace referencia a un concepto del proyecto preciso, que pone atención en el encauzamiento y dosificación de la luz, diferenciando entre la radiación solar diurna directa y la difusa.

Desde el punto de vista de la física aplicada a la construcción, la ventana debe procurar la correcta separación entre el clima exterior y el interior, para lo que debe albergar propiedades de aislamiento térmico. El requerimiento principal en la construcción de una ventana consiste en lograr una estanquidad al agua en sus diferentes estados: tanto desde el interior (humedad, difusión de vapor y condensa-

ción) como desde el exterior (agua de lluvia, de nieve y de condensación). Deberá evitarse la entrada de agua en la medida de lo posible y evacuar el agua infiltrada de forma controlada (estanquidad al agua). La estanquidad al aire del marco exige además especial cuidado en la ejecución de las juntas. Por último, la construcción de una ventana debe asegurar además el confort, de modo que debe tenerse en cuenta tanto el aislamiento térmico como el acústico.

En los planos de ejecución es preciso contemplar las tolerancias constructivas. Puesto que las ventanas se fabrican con bastante menos margen de error que los muros, es preciso que esos márgenes se absorban al colocar la ventana y fijarla en el intradós. Los fabricantes de las ventanas pueden además comprobar las medidas en la propia obra, y con ello fabricar la ventana según las medidas exactas requeridas.

Por lo que se refiere al dintel, debe preverse espacio para un sistema de protección solar, lo que influye en la formación del mismo.

Principio de la fijación de la ventana al intradós

La fijación de la ventana al intradós implica necesariamente la formación de un pequeño cajeadó o cerco que discurre a lo largo de todo el contorno del mismo, y constituye la superficie de contacto entre el marco y el muro. En el intradós se instala, fija y sella la ventana, y se monta el marco por medio de tornillos. El marco debe montarse con una cierta holgura para absorber los movimientos ocasionados por los cambios de temperatura. Todos los elementos así fijados deben protegerse de la corrosión.

Principio del cerco de la ventana (véase detalle a escala 1:1)

El mayor problema de un elemento constructivo como la ventana es la entrada de agua y de viento. Por tanto, es fundamental la estanquidad del cerco del intradós, la del marco sujeto al mismo y la del marco de las hojas. Asimismo, es de especial importancia la estanquidad de las juntas entre el marco del intradós y éste, así como entre el marco de las hojas y el sujeto al intradós.

Las así denominadas juntas de cerco entre hojas y marco recorren todo el contorno en un mismo plano, y se unen entre sí en los ángulos de modo compacto. En una ventana se dan dos niveles de sellado de distinta índole:

Marco — intradós:

- agua y viento,
- absorción por el muro de movimientos debidos al clima.

Marco de las hojas de la ventana — Marco del intradós:

El cerco es un elemento inherente a la construcción de ventanas con hojas, es decir a las *ventanas practicables*:

- permeabilidad de las juntas para controlar el intercambio de aire entre hojas y marcos,
- seguridad frente a las lluvias racheadas, protección frente al agua y viento.

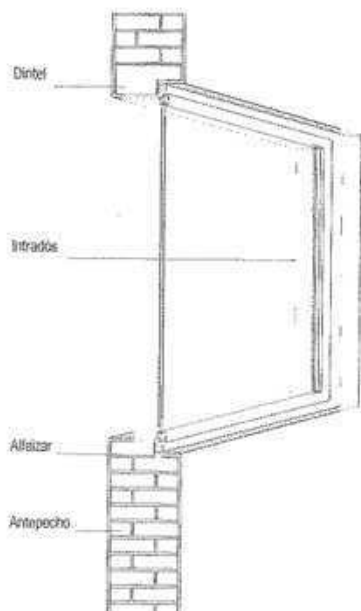
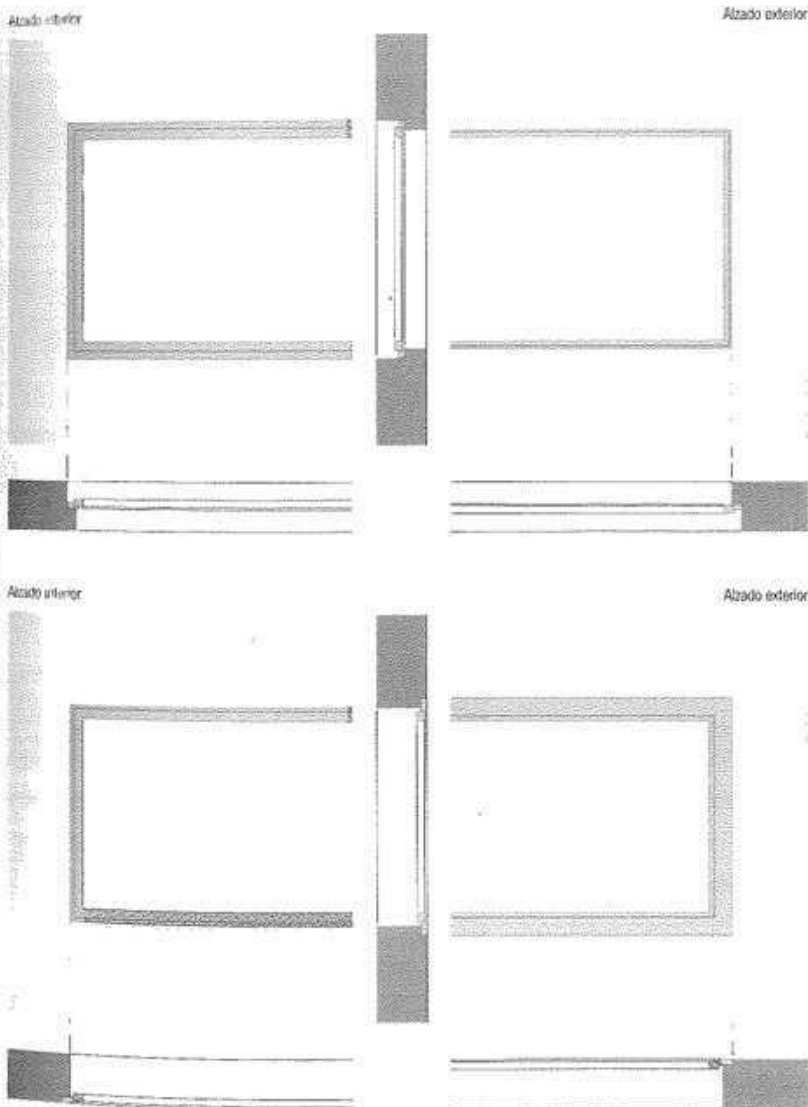


Fig. 23: Perspectiva de la fijación de una ventana al intradós

Posición de la ventana, formas de fijación al intradós

La posición de la ventana en el intradós y su fijación influyen esencialmente en la expresión arquitectónica de un edificio: cuando las ventanas se colocan a haces exteriores integradas en el mismo plano de la fachada, hacen que el volumen del edificio tenga una presencia compacta y cerrada, y que su forma se destaque. Si las ventanas están colocadas interiormente, el juego de luces y sombras produce una plasticidad que diluye y articula el volumen. Según la forma de fijación de la ventana al intradós, la vista exterior del marco puede disimularse o constituir un tema. Las ventanas colocadas exteriormente pueden configurar nichos que amplían el espacio interior, mientras que las colocadas a haces interiores generan un claro cierre espacial y, en ocasiones, producen la impresión de ser una delgada piel. Con la excepción de estas posiciones extremas, la situación de la ventana es independiente de la forma de fijación. Básicamente se pueden diferenciar dos formas de fijación al intradós.

Fig. 24. Ventana a haces interiores (arriba), a haces exteriores (abajo)



Fijación interior

Por lo general, las ventanas suelen montarse desde el interior. El ancho total del marco es visible en el interior, mientras que su vista exterior puede reducirse a los marcos de las hojas. La ventana puede estar enrasada a las superficies interiores del muro. Ya que la ventana siempre retrocede respecto al plano de la fachada al menos aproximadamente la profundidad de la superficie de fijación al intradós, está relativamente bien protegida frente a las inclemencias del tiempo. Las uniones de sus elementos constructivos no plantean problemas, puesto que se protegen y cubren de sobra por medio de la superficie de fijación.

Fijación exterior

El ancho total del marco es visible desde el exterior. La ventana puede estar enrasada al plano exterior de la fachada, con lo que tanto los vidrios como la carpintería están muy expuestos a los agentes meteorológicos. En las uniones se plantean exigencias muy altas con respecto a la estética y a la calidad constructiva, ya que son muy visibles y, al menos en el montaje de ventanas enrasadas a la fachada, quedan muy expuestas.

La ventana como elemento constructivo: perfilaría

Materialización de perfiles de hojas y marcos

Madera natural

Para asegurar la durabilidad de una madera es preciso atender a las siguientes medidas:

La elección de maderas adecuadas y sólidas de pinos, abetos o alerces. La evacuación del agua de todos los perfiles y superficies leñosas.

La protección mediante un correcto tratamiento superficial: la imprimación es una protección preventiva contra la aparición de manchas debidas a los hongos. La impregnación impide la podredumbre originada por la humedad.

Madera pintada

La madera admite ser pintada en diferentes tonos de color. Las capas de cubrición de pintura presentan una menor permeabilidad al agua que una sencilla imprimación, por lo que proporcionan protección contra la podredumbre. Un problema es la persistencia de la primera capa de pintura frente a los rayos UVA y la presión de vapor del interior (en capas de pintura densas sobre la cara exterior de la ventana).

Madera y metal

La construcción mixta de madera y metal se compone de un soporte estructural interior de madera y de un revestimiento aplicado exteriormente de aluminio. Por una parte, éste protege a la madera y, por otra, permite una expresividad arquitectónica diferente en el interior y el exterior.

Plástico

En la fabricación de ventanas de plástico se emplea de forma casi exclusiva PVC. Los perfiles del material, originalmente blanco, pueden pigmentarse o recubrirse, pero no pintarse.

Los perfiles se componen de cámaras de aire (de un sistema de una o más cámaras), que pueden configurarse de forma distinta. Para dotar de rigidez a las cámaras se introducen refuerzos de metal. Pese a todo, las ventanas de plástico poseen una resistencia estática relativamente pequeña.

Ventanas de metal de aluminio y acero

Las ventanas de metal muestran una gran capacidad de conducción del calor, por lo que los perfiles deben separarse térmicamente.

En las ventanas de aluminio, la estabilidad es relativamente buena y, por tanto, adecuada para la construcción de grandes elementos. Por lo general, se aplica un tratamiento a la superficie, ya que de lo contrario el material oxida de forma irregular y aparecen manchas. Se diferencia entre tratamientos superficiales mecánicos, como el lijado, el cepillado y el pulido, y el proceso electroquímico de anodizado, que produce una capa de oxidación regular.

En el proceso de esmaltado al fuego, la capa de esmalte se adhiere a la superficie de metal.

Las ventanas de acero se emplean fundamentalmente en la arquitectura industrial y presentan aún mayor estabilidad que las de aluminio. Los grandes elementos son muy pesados con la consiguiente combinación con las superficies acristaladas (con la consiguiente dificultad de montaje). Su mayor inconveniente es el riesgo de corrosión, problema que puede paliarse con pinturas protectoras o con un galvanizado. Al igual que sucede con el aluminio, las ventanas de acero también admiten un proceso de esmaltado al fuego.

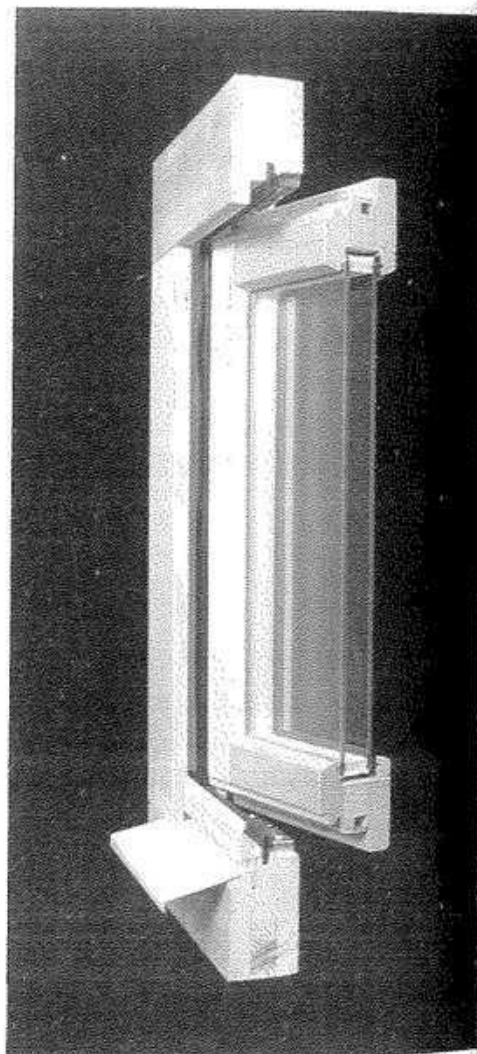


Fig. 25: Muestra de ventana
Marco de madera natural, acristalamiento aislante

La ventana como elemento constructivo: el vidrio

Materialización del vidrio

Existen diferentes clases de vidrio, dependiendo del proceso de producción:

- *Vidrio flotante con superficie plana*: es el más empleado en la actualidad.
- *Vidrio común o plano*: es el precursor del vidrio flotante y se caracteriza porque su superficie presenta ondulaciones ligeras (véanse lunas de antiguos edificios).
- *Vidrios impresos y colados*: tienen una superficie estructurada y son traslúcidos.
- *Vidrio armado*: presenta una malla insertada de alambre y se coloca en acristalamientos resistentes al fuego e inastillables.

Aparte de esto, es posible emplear una amplia gama de recubrimientos y tratamientos superficiales. La elección del tipo de vidrio y su recubrimiento o tratamiento influye tanto en la expresión arquitectónica como en incidencia de la luz natural en el interior del edificio (luz directa o difusa, luz de color), así como en las propiedades físico-constructivas y de seguridad. Los acristalamientos se diferencian fundamentalmente por sus cualidades mecánicas y térmicas:

- vidrio común,
- vidrio templado termoendurecido,
- vidrio sencillo de seguridad,
- vidrio laminado,
- vidrio laminado de seguridad,
- vidrio resistente al fuego,
- vidrio pretensado,
- vidrio aislante,
- vidrio de baja emisividad térmica,
- vidrio de protección solar.

Las exigencias actuales de aislamiento térmico y confort hacen que la práctica totalidad de las ventanas se fabriquen con vidrio aislante.

El vidrio aislante se compone al menos de dos láminas de vidrio pegadas a un elemento separador de aluminio o de plástico. El pegamento sirve a la vez como sellado de la cámara intermedia.

Las cualidades aislantes del vidrio dependen en gran medida de la cámara intermedia y de la calidad de su material de relleno (formado por diversos gases) y, además, en las hojas de varias láminas, de la clase de recubrimiento.

Parámetros importantes

Coefficiente U: coeficiente de transmisión térmica de vidrios y elementos constructivos. Cuanto menor es su valor, mejor es su comportamiento aislante. Los valores habituales de U oscilan entre 1 y 1,1. Actualmente es posible conseguir valores aislantes de hasta 0,2 (vidrios Silverstar, vidrios con aislamiento a base de láminas finas de plástico).

Factor solar g: Define la totalidad de la energía que atraviesa un acristalamiento. Este valor es importante para controlar tanto la transmisión de calor como la protección contra el calentamiento. El coeficiente g indica la cantidad de energía procedente de la radiación solar que penetra en el espacio interior a través del acristalamiento. El factor solar se calcula a partir de la transmisión directa de radiación y de la captación de calor secundaria. Esta última surge del calentamiento del vidrio a consecuencia de la radiación solar y, a su vez, de la consecuente transmisión de calor hacia el interior y el exterior (un vidrio con aislamiento de láminas finas de plástico modula el paso de energía).



Fig. 26: Esquema constructivo de un vidrio aislante

Bibliografía

- Schittich, Christian; Stallo, Gerald; Balkow, Dieter; Schuler, Matthias, y Sobek, Werner. *Glasbau Atlas*. Birkhäuser, Basilea/Boston/Berlin, 1998.
- Sailer, Bruno y Rutz, Stephan (cátedra de Física Aplicada a la Construcción, ETH Zürich). *Pirpoint, Fakten der Bauphysik. Zu nachhaltigem Bauen*. ETH, Zürich, 2007.
- Glas Trösch AG. *Glas und Praxis*. Bützberg, 2000.

Ventana. Sección horizontal 1:1

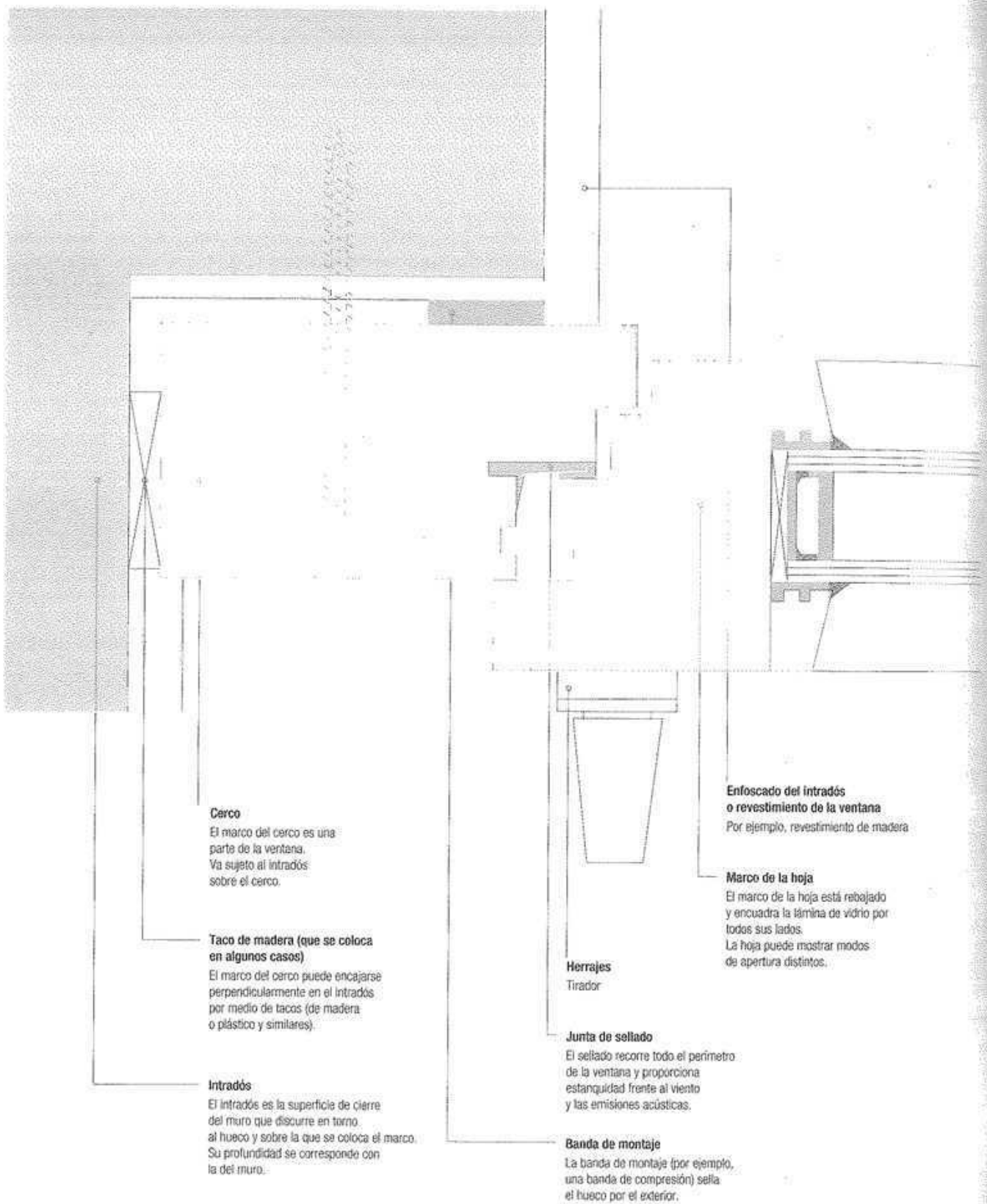


Fig. 27

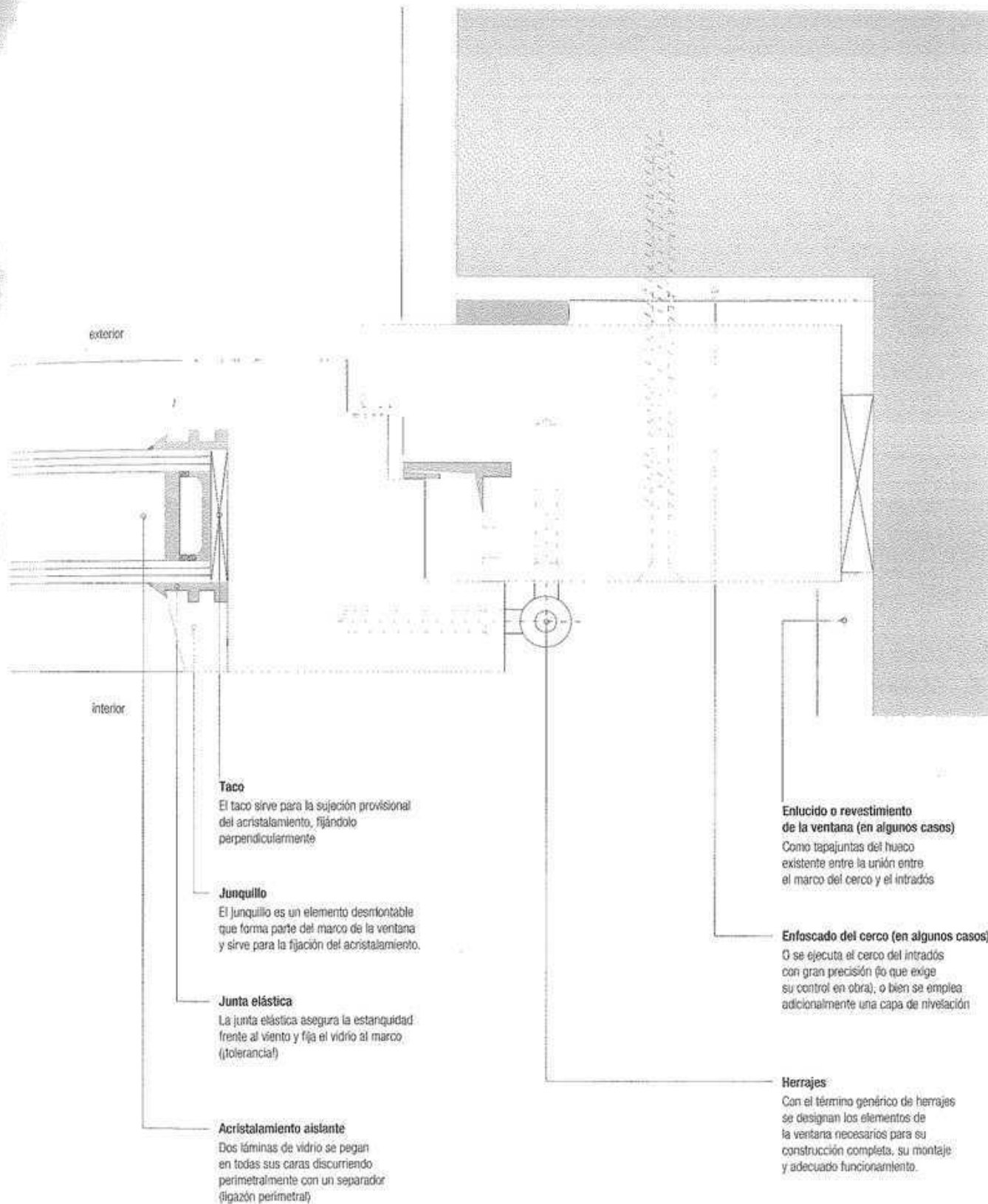


Fig. 28

Ventana. Sección vertical 1:1

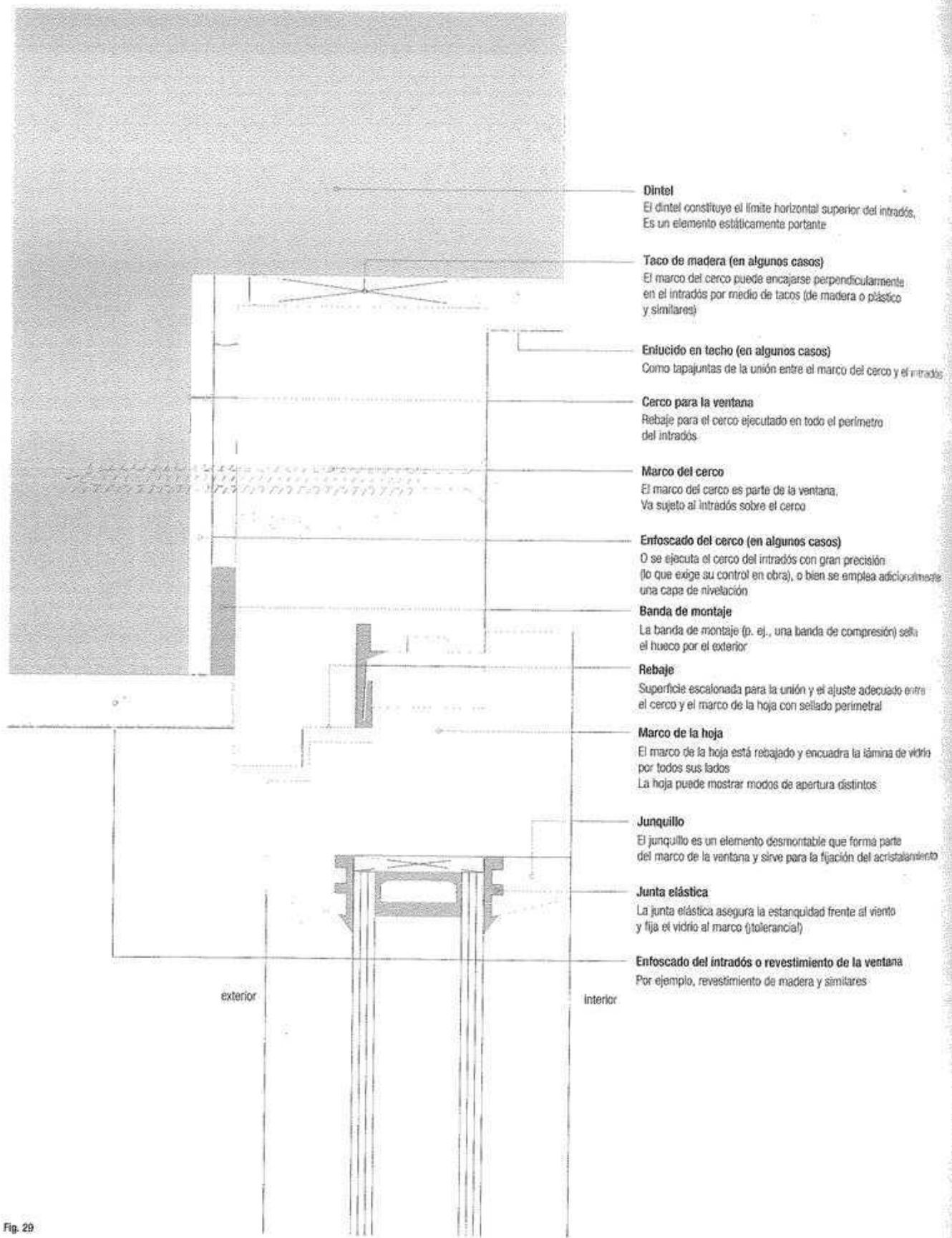


Fig. 29

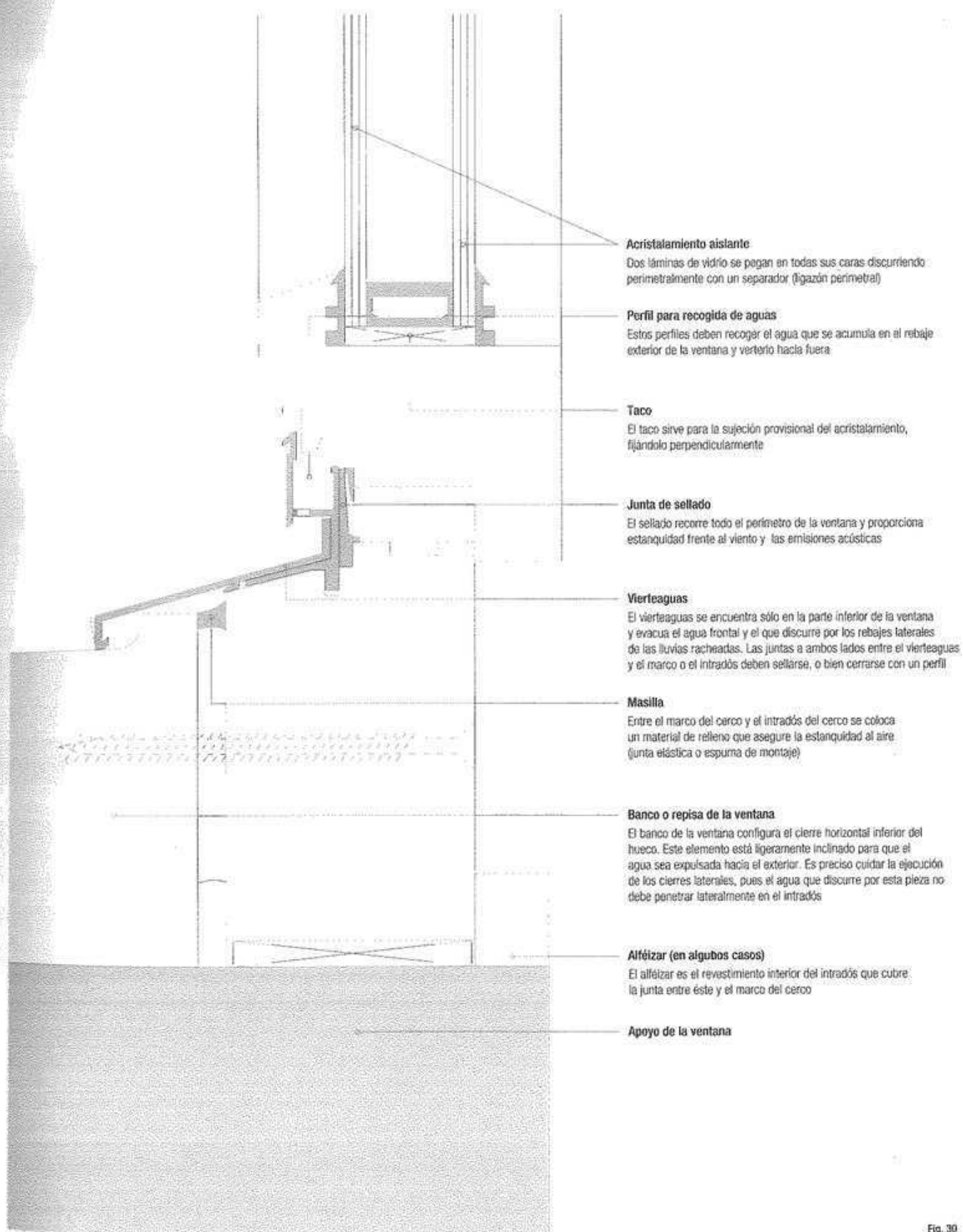


Fig. 30

El hueco como abertura



Fig. 31: Incrustada en los acantilados
Adalberto Libera: casa Malaparte, Capri, Italia,
1941

Adalberto Libera: casa Malaparte

Junto a los numerosos pequeños huecos en fachada, esta casa muestra también cuatro grandes huecos, expresamente escogidos, que permiten al observador, de pie o sentado, una vista sobre las costas escarpadas de la isla de Capri. En su interior, estos huecos disponen de un marco de madera de castaño que hace las veces de marco de un cuadro. El vidrio actúa sólo de separación física con el exterior, carece de marco y está enrasado con la pared exterior. Por ello, desde el interior se aprecia todo el grosor de la pared en su totalidad. Por el contrario, en el exterior el vidrio se enrasa con el muro y refuerza la continuidad del volumen.



Fig. 32: Vista sobre los acantilados enmarcada como un cuadro
Adalberto Libera: casa Malaparte, Capri, Italia, 1941

Rudolf Olgiati: casa Van Heusden

La configuración en bastión del edificio se refuerza por la existencia de pocos huecos, troquelados en los muros. Las hendiduras profundas y abocinadas sugieren una construcción maciza con un carácter constructivo monolítico. A pesar de esto, los muros tienen más bien el carácter de cáscaras envolventes. Sólo la sección revela la aplicación de un material y un sistema constructivo contemporáneo reducido a lo esencial, aplicados según las intenciones del proyecto. En el interior, los huecos salen al encuentro del espectador como si fueran escaparates o cajas de luz que, en el primer caso permiten vistas comprendidas dentro de esos huecos troquelados, y recogen la luz natural en el segundo.



Fig. 33: Las hendiduras profundas de las ventanas confieren al edificio un carácter de volumen macizo
Rudolf Olgiati: casa Van Heusden, Laax, Suiza, 1964

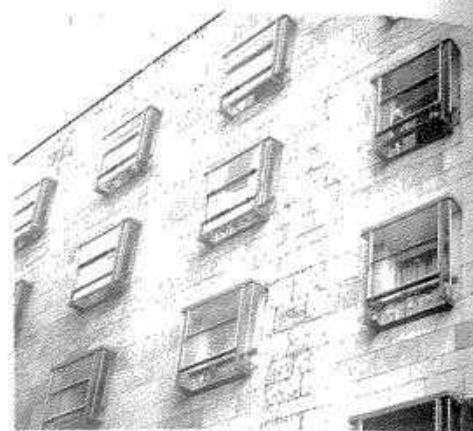


Fig. 34: Miradores suspendidos permiten una amplia vista del espacio de la calle
Alejandro de la Sota: edificio de viviendas en la calle Prior, Salamanca, España, 1963

Alejandro de la Sota: edificio de viviendas en la calle Prior

La calle Prior, en Salamanca, es una calle estrecha que no propicia el uso de balcones. Sin embargo, la solución adoptada en este edificio responde a la necesidad que tiene el habitante de echar una "ojeada a la calle".

Unos miradores de vidrio sobresalen de la fachada permitiendo una amplia contemplación del espacio público. Se diferencian claramente de los miradores tradicionales o balcones con flores por estar acristalados en cuatro de sus lados. Cuando se mira desde la ventana, la sensación de encontrarse en la calle se refuerza y se convierte en el tema arquitectónico.

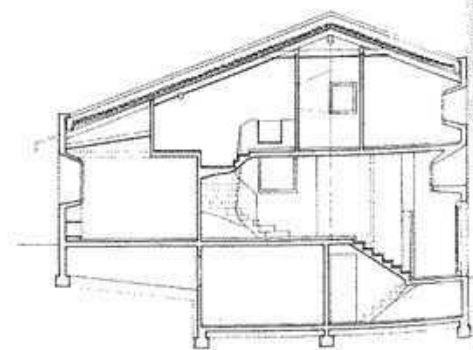


Fig. 35: El intradós de las ventanas penetra en el interior como un volumen del muro exterior
Rudolf Olgiati: casa Van Heusden, Laax, Suiza, 1964

El hueco horizontal continuo

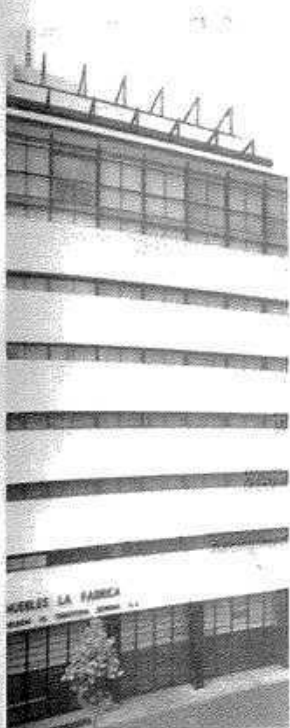


Fig. 36: Clara articulación de la fachada mediante el uso de bandas de ventanas diferenciadas
M. Ponseti, E. Salas: muebles La Fábrica, Barcelona, España, 1961

M. Ponseti, E. Salas: muebles La Fábrica

La organización interior de este edificio puede leerse claramente en su fachada, que se abre casi en toda su superficie de la planta baja con un escaparate. En las tres últimas plantas, que se retranquean escalonadamente respecto de la fachada y albergan los espacios de trabajo, se repite esa transparencia total de su superficie.

En la parte central se estratifican los espacios de exposición con bandas de ventanas colocadas en la parte más alta de cada planta y que discurren a lo largo de toda la fachada, produciendo una articulación por plantas y reforzando la organización jerárquica de un modo sencillo.



Fig. 40: La banda de ventanas de la planta superior se separa de la estructura
Otto Rudolf Salvisberg: Primera Iglesia de la Ciencia Cristiana, Basilea, Suiza, 1937

Otto Rudolf Salvisberg:

Primera Iglesia de la Ciencia Cristiana

Retrasada respecto a la calle, esta iglesia se levanta en el solar de un patio. El acceso se efectúa por un vestíbulo abierto que se define mediante una sala en voladizo en la planta primera.

Una banda de ventanas articulada domina la fachada y, con su original transparencia, refuerza la forma curva de la sala. La luz natural puede penetrar de modo homogéneo y profundo en el espacio interior.

La estructura portante de pilares exentos está claramente separada de la fachada, sin que influya de modo alguno en su configuración.

Herzog & de Meuron: casa en Tavole

El edificio se levanta como un bloque errático en medio de un olivar. Un ligero esqueleto de hormigón armado conforma un frágil marco que delimita las plantas y se cierra exteriormente con piedra sin labrar.

Mientras que las ventanas se subordinan a las reglas convencionales, la banda de ventanas articulada verticalmente separa el volumen estratificado del alero. Dispuestas a lo largo de tres fachadas, las ventanas rodean y cierran el espacio interior, fuertemente influido por un paisaje omnipresente.

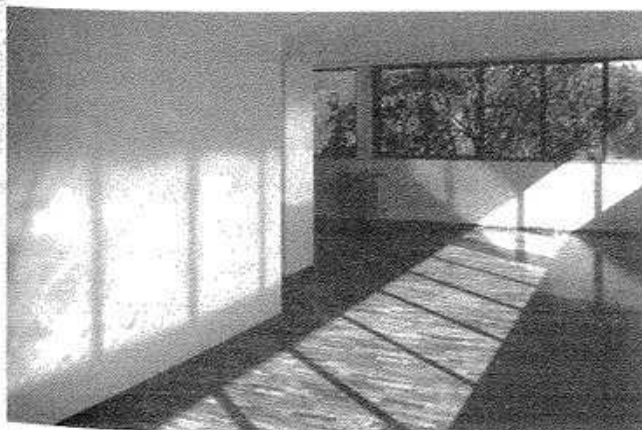


Fig. 37: Gracias a la banda de ventanas, el paisaje está claramente presente en el espacio interior
Herzog & de Meuron: casa en Tavole, Italia, 1988



Fig. 38: La banda de ventanas separa la cubierta del volumen macizo
Herzog & de Meuron: casa en Tavole, Italia, 1988

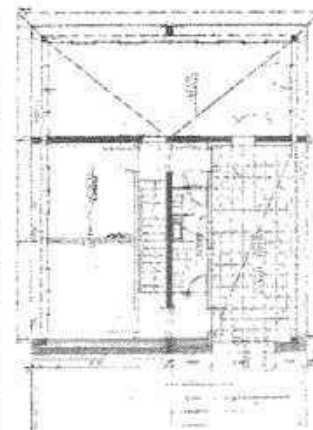


Fig. 39: Planta primera
Herzog & de Meuron: casa en Tavole, Italia, 1988

El hueco como junta

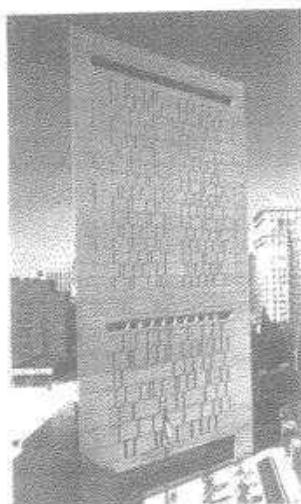


Fig. 41: Las juntas verticales indican las celdas
Harry Weese: Centro Metropolitano de Detención,
Chicago (Illinois), Estados Unidos, 1975



Fig. 42: Relación formal de volúmenes
constructivos mediante huecos alargados
Diener + Diener: Centre Pasquart, Biel, Suiza, 1999

Harry Weese: Centro Metropolitano de Detención

Esta prisión, situada en el centro de Chicago, es un edificio de estructura triangular construido enteramente de hormigón armado. Las fachadas se articulan mediante el ritmo de las ventanas, asemejándose a primera vista a una gigantesca tarjeta perforada de ordenador. Las fachadas se configuran como juntas con la altura de una planta, la estratificación regular de los forjados y las anchas e irregulares placas que forman el muro.

Una observación más detallada permite comprobar que la anchura de las ventanas hace innecesario el uso de rejas. El abocinamiento del intradós de la ventana hacia el exterior permite ampliar al máximo el campo de visión de cada celda. Como excepción, en la sección central del edificio se configuran cortes horizontales que se corresponden con los espacios para instalaciones y con el patio de recreo en la zona de coronación del mismo. Por medio de esta articulación horizontal se relativiza la apariencia monumental de esta "prisión en torre".

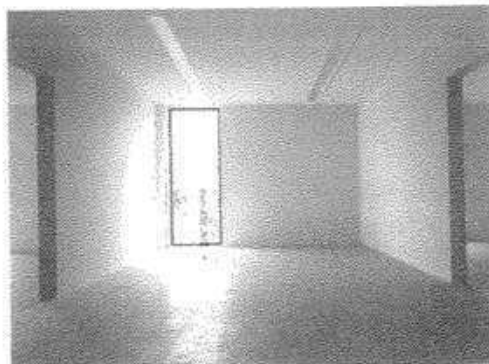


Fig. 43: La colocación de las ventanas en los extremos de las estancias produce una diferenciación de la iluminación espacial
Diener + Diener: Centre Pasquart, Biel, Suiza, 1999

Diener + Diener: Centre Pasquart

La ampliación de Diener + Diener destaca por su "modestia formal" respecto del edificio histórico. No obstante, las ventanas altas rectangulares del edificio colindante existente producen una intensa relación formal entre ambos edificios.

Aunque desde el exterior las ventanas parezcan huecos convencionales, en el interior constituyen ranuras de suelo a techo que iluminan ambas superficies. En el interior, la posición de las ventanas en los extremos de las estancias refuerza la idea de dos caracteres diferenciados de los espacios interiores, determinados por su iluminación, que sugieren una determinada disposición de las áreas para exposición.

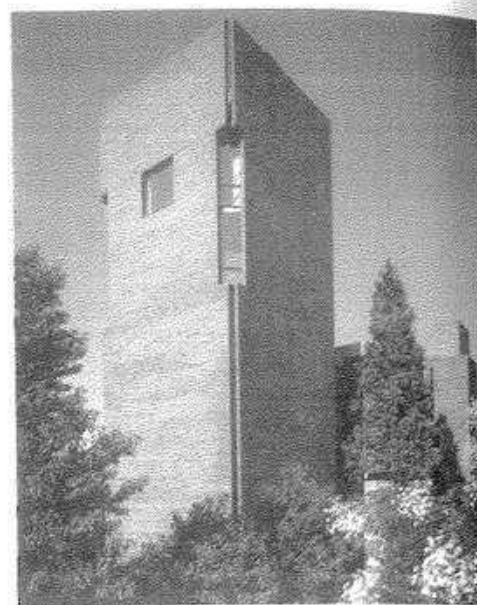


Fig. 44: Junta de los planos que constituyen la fachada, que presenta un ensanchamiento parcial como si fuera una visagra
Louis I. Kahn: Centro de investigaciones médicas A. N. Richards, Filadelfia (Pensilvania), Estados Unidos, 1965

Louis I. Kahn: centro de investigaciones médicas A. N. Richards

El complejo comprende varios edificios dispuestos linealmente y conectados entre sí. Unos volúmenes en torre se sitúan en torno a un cuerpo central y, junto a ellos, unas torres más pequeñas alojan las instalaciones, las escaleras de incendios y los conductos de ventilación. El cuerpo central cúbico contiene espacios para el abastecimiento y la evacuación.

Esta torre alberga servicios, ascensores y una escalera en varias de las plantas, y consta de cuatro muros delgados cuyos encuentros en ángulo no acaban de cerrarse formando una hendidura. A cierta altura se practica un corte en la fachada, y los planos de estos muros se unen con una superficie vidriada en chafán, de dos plantas de altura.

El hueco como pared transparente

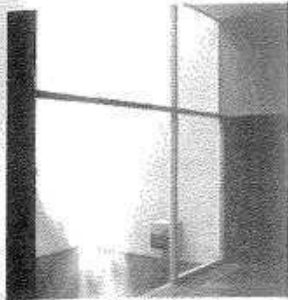
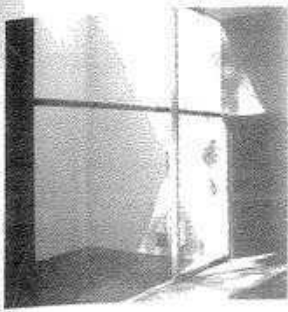


Fig. 45 & 46. El patio como "reloj de sol"
Luis Barragán: casa Antonio Gálvez, Ciudad de México, México, 1955

Luis Barragán: casa Antonio Gálvez

Situada en una parcela cercada por muros, la casa Gálvez ofrece las más variadas relaciones con el espacio exterior, y refleja, merced al tratamiento de los huecos, un gradiente diferenciado de ambientes e intimidad.

Un pequeño patio amplía un espacio secundario del cuarto de estar y actúa a la vez como ámbito de captación de la luz. Según la posición del sol, la luz incide directamente en el espacio interior o se refleja en la pared situada enfrente. La vista desde la ventana convierte al patio en una especie de "reloj de sol". Con ello no se trata de suprimir los límites entre el interior y el exterior, pues los diferentes ámbitos se diferencian claramente por el tratamiento diferenciado del color y de los materiales.

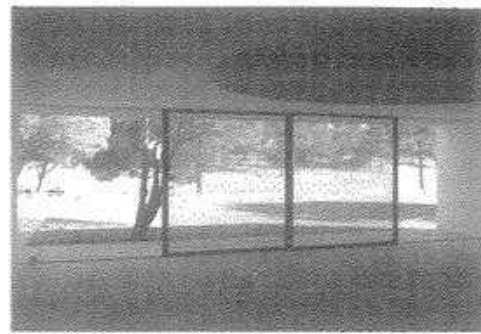


Fig. 49. Supresión de la frontera entre espacio interior y exterior con la prolongación hacia el exterior de los mismos materiales
Eduardo Souto de Moura: casa en Quinta do Lago, Algarve, Portugal, 1989

Eduardo Souto de Moura: casa en Quinta do Lago

El cuarto de estar de esta casa de vacaciones de una sola planta se abre en toda su anchura al jardín. Suelo, paredes y techo se prolongan hacia el exterior sin que varíe el material ni el tratamiento superficial, diluyendo y casi eliminando de este modo los límites entre el espacio interior y el exterior.

El frente acristalado de lado a lado se convierte en una necesidad climática. Un edificio con portones correderos mitiga, al abrirlos, el efecto de separación entre interior y exterior que produce el acristalamiento.

Bo + Wohlert: Louisiana Museum of Modern Art

Situado en el interior de un parque arbolado preexistente, el Louisiana Museum of Modern Art forma una sucesión de espacios de exposición organizados en pabellones conectados entre sí mediante corredores acristalados muy largos. El parque, que está "amueblado" con esculturas, se convierte así en una ampliación del espacio expositivo.

El pabellón que parece más "despegado" del conjunto se sitúa sobre una pendiente que desciende hacia el lago. La inmediatez de la naturaleza se ve potenciada por la ausencia de dintel y antepecho en el hueco, y su elevación sobre el terreno produce la impresión de que estamos en el interior de una casa en los árboles. La división de la ventana aminora la apreciación del hueco como cuadro.

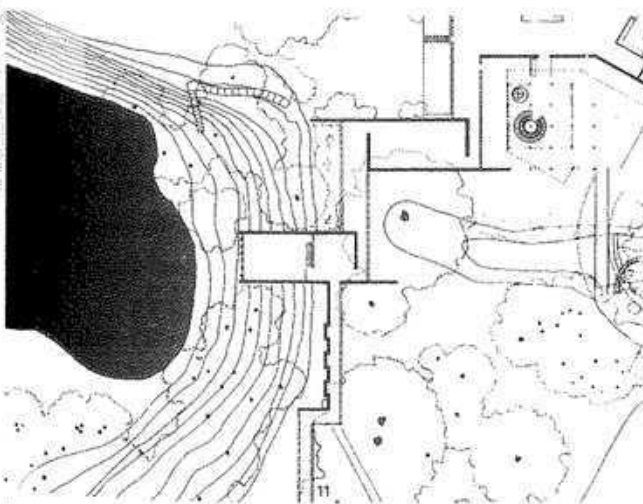


Fig. 47. La sala de exposición 12 es como un cañón apuntando sobre el lago
Bo + Wohlert: Louisiana Museum of Modern Art, Humlebæk, Dinamarca, 1958

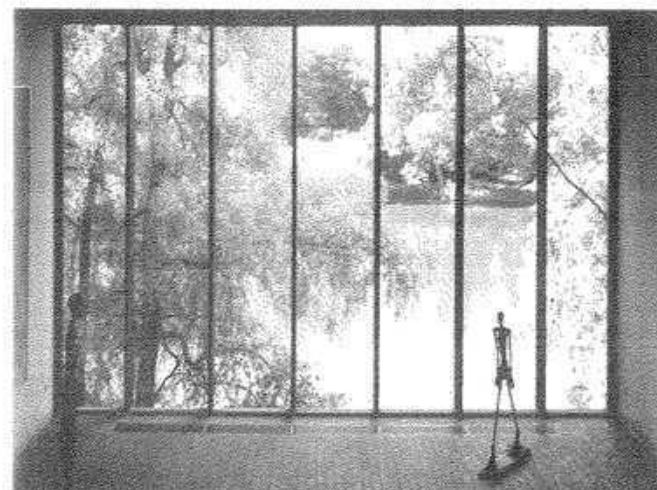


Fig. 48. Presencia casi tangible de la naturaleza al eliminar el antepecho y el dintel
Bo + Wohlert: Louisiana Museum of Modern Art, Humlebæk, Dinamarca, 1958

Acerca de la puerta

Cordula Seger



Fig. 50: La entrada se caracteriza por colores intensos que convierten a la puerta en el elemento central de la configuración del edificio.
Bruno Taut: Hufeisensiedlung, Berlín-Brick, Alemania, 1925-1927



Fig. 51: Unión entre lo privado y lo sacro: un pequeño calvario situado sobre el dintel de madera señala la entrada.
Antigua casa rural en Villa di Zoldo, Dolomitas, Italia



Fig. 52: La puerta giratoria es la marca distintiva del Grand Hotel, entrada de la Olive Street.
The Biltmore Hotel, Los Angeles (California), Estados Unidos, 1923

La puerta conecta el espacio exterior con el interior, creando una relación entre esferas distintas. Junto con el umbral, la puerta señala un lugar de paso significativo. En muchas culturas, esta transición espacial que requiere la presencia física de quien atraviesa la puerta, posee connotaciones simbólicas. Con ello, al significado de un lugar de paso concreto (y que, en un cierto sentido, indica una determinada posición social) se superpone otro distinto. A quien le es permitido cruzar una determinada puerta se le identifica como perteneciente a un grupo social.¹

Entendida como lugar de transición, la puerta encarna también el preludio del camino a través de la casa y acompaña a quien entra en lo que sigue. Tanto la experimentación visual como la táctil juegan un papel importante para ello: ¿se adapta el picaporte suavemente a la mano?, ¿se apoya el cuerpo con fuerza contra la puerta a causa del peso de la hoja de ésta, o se abre fácilmente?, ¿se cierra con un clic seco o chirrían sus goznes?

Altura, anchura y configuración de la puerta muestran su grado de apertura y de representatividad: una puerta de entrada amplia y acogedora constituye un gesto de invitación a ser recibido. Sin embargo, demasiado menudo se descuida la configuración de la entrada, sobre todo en lo que se refiere a la construcción de viviendas. Esta carencia se acentúa aún más en el caso de espacios con alturas mínimas (en este sentido, las puertas bajas y estrechas producen un efecto agobiante y de rechazo). En el interior de un edificio de viviendas, la puerta de entrada separa el espacio semipúblico de comunicación vertical y horizontal del privado de cada vivienda. Provista por lo general de una mirilla que permite ver sin ser visto, la puerta explica que no todo visitante es bien recibido. De la puerta de entrada se espera protección frente a ruidos indeseados, miradas molestas, pérdidas de calor o incluso intromisiones inoportunas. Por ello, su acabado es sólido y responde a exigencias técnicas cada vez más elevadas. Únicamente la puerta de las habitaciones articula el ámbito privado y produce una jerarquía espacial: cuanto más íntima es la función espacial, tanto más opaca resulta la puerta. Finalmente, las puertas secretas o falsas apenas se perciben, se encajan lo más disimuladamente posible en la pared y ocultan misterios.

Por su parte, el tipo de puerta indica la corriente esperada de visitantes y cómo deben conducirse. La puerta corredera automática atiende la necesidad de un flujo de personas constante. En los grandes almacenes facilita una entrada y una salida libre de obstáculos. Por otra parte, la puerta giratoria en un hotel se mueve oscilante y seductora en el espacio de la calle; con su movimiento circular responde a un incesante ir y venir, y hace que se pase por ella de uno en uno. También la puerta basculante pertenece tradicionalmente al mundo del hotel (relaciona ámbitos situados delante y detrás de las bambalinas, es decir, el comedor y la cocina). Puesta en movimiento con un empujón calculado, la puerta basculante fuerza a des-

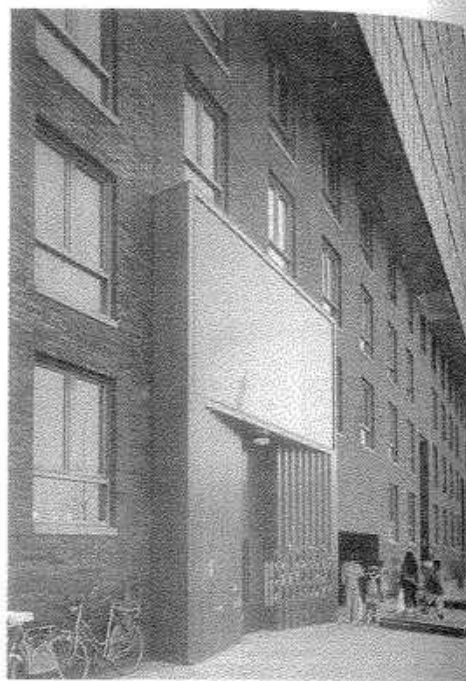


Fig. 53: Vista hacia uno de los grandes portales de entrada de la fachada norte.
Hans Kollhoff y Christian Rapp: edificio de viviendas, KNSM-Eiland, Grooten, Países Bajos, 1991-1994

plazarse hacia uno u otro lado a camareros con una pesada carga entre sus manos.

El filósofo Gaston Bachelard, en su obra *La poética del espacio*, pregunta: "¿Y entonces, hacia dónde, frente a quién se abren las puertas? ¿Se abren al mundo de los hombres o al de la soledad?"² Desde el punto de vista arquitectónico, es posible responder a esta pregunta al menos parcialmente: en el ámbito íntimo de una casa, la puerta se abre hacia el interior e indica el camino dentro del espacio protector a quien entra. La expresión en alemán "Mit der Tür ins Haus fallen" (que vendría a ser "entrar de rondón" en castellano), alude precisamente a ese sentido, e indica claramente, con su alusión negativa, que el dintel de la puerta no debe ser traspasado imprudentemente, pues de ser así a uno se le pondrá finalmente de patitas en la calle. En edificios con gran tráfico de personas, las puertas siguen, por el contrario, la dirección de ese flujo, y deben por consiguiente abrir hacia afuera. La cuestión del "hacia dónde", va mucho más allá del sentido de apertura de una puerta, pues apunta como meta a la cualidad del espacio que la puerta abre. La posición de la puerta (si acentúa la simetría conduciendo al centro de la estancia o si se junta a la pared para dejar más sitio a los muebles), influye decisivamente en la impresión y el ambiente de los espacios.

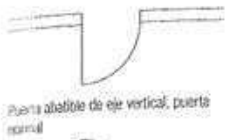
Notas

¹ Van Gennep, Arnold, *Les rites de passage: étude systématique des rites* (1909), A. & J. Picard, París, 1961 (versión castellana: *Los ritos de paso*, Alianza, Madrid, 2008).

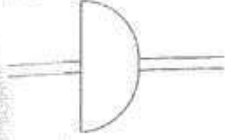
² Bachelard, Gaston, *La poétique de l'espace*, PUF, París, 1992 (versión castellana: *La poética del espacio*, Fondo de Cultura Económica, Ciudad de México, 1957).

Puertas. Modos de apertura

Fig. 54. Modos de apertura
Representación a escala 1:100



Puerta abatible de eje vertical, puerta normal



Puerta corredera



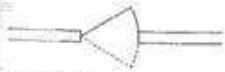
Puerta corredera superpuesta a pared



Puerta corredera empotrada en pared



Puerta giratoria descentrada



Puerta pivotante



Puerta plegable con guía central



Puerta plegable con guía lateral



Puerta giratoria

Modos de apertura

La puerta más habitual es la de hoja abatible. Al igual que la puerta pivotante o la doble, presenta goznes sólo en uno de sus lados. Puesto que el peso de la hoja produce un efecto directo sobre la chamela semejante al momento de la palanca, su uso se limita a anchos normales de puerta (puertas de una hoja), o a anchuras dobles (puertas de dos hojas).

Por el tipo de herrajes empleados en ellas, tanto las puertas correderas como las plegables no presentan limitaciones de peso y pueden emplearse también para grandes huecos. En contraposición a una puerta abatible, la puerta corredera necesita poco espacio en su zona anexa, puesto que las hojas no tienen necesidad de girar sobre sus goznes. Sin embargo, debe dejarse espacio suficiente para el desplazamiento lateral de las hojas. Como puerta interior, sirve frecuentemente en interiores para dividir un espacio principal, por ejemplo, en la zona

de estar, o como separación entre el comedor y la cocina. En caso de colocarse en dormitorios, hay que tener en cuenta que no alcanza los índices de aislamiento acústico de una puerta de hojas abatibles. Cuando se tiene que alcanzar un aislamiento acústico elevado, como en los bufetes de abogados, deben emplearse puertas dobles.

En edificios públicos con gran tráfico de personas se ha establecido el uso de puertas correderas automáticas. Éstas garantizan una frecuencia de tránsito óptima. Otra clase de puerta es la giratoria, cuya eficiencia depende de su diámetro y que, frente a las puertas correderas automáticas, tiene la ventaja de que puede prescindirse de un cortavientos.

Puerta abatible de eje vertical, puerta normal

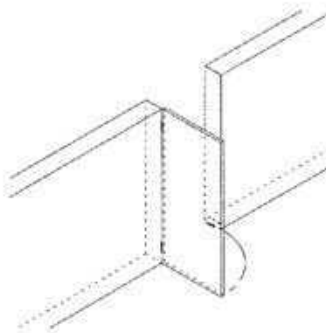


Fig. 55: Puerta de una hoja con gozne a la izquierda

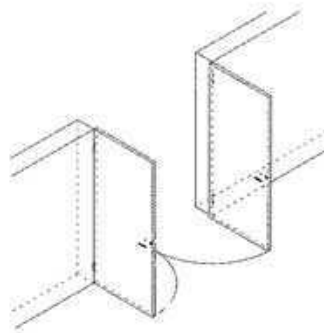


Fig. 56: Puerta de dos hojas

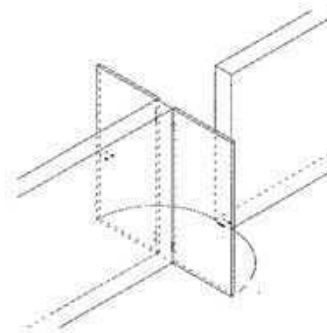


Fig. 57: Puerta doble de una o dos hojas

Puerta corredera

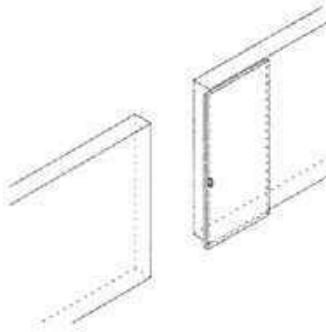


Fig. 58: Puerta corredera de una hoja superpuesta a pared

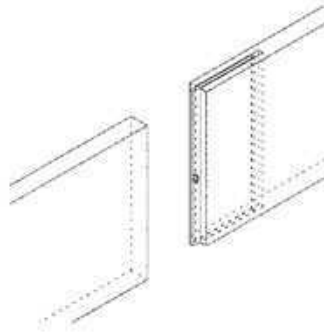


Fig. 59: Puerta corredera de una hoja empotrada en pared

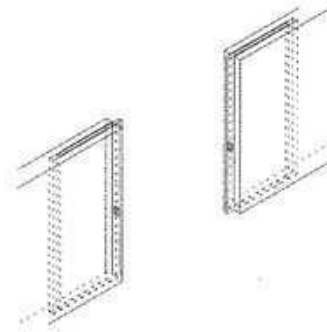
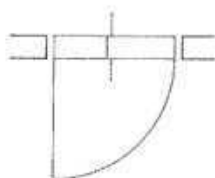


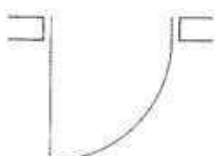
Fig. 60: Puerta corredera de dos hojas empotrada a ambos lados

Puertas. Rebaje o encaje de la puerta

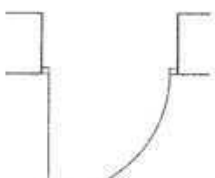
Fig. 61: Modos de rebaje o encaje de la puerta
Representación a escala 1:50



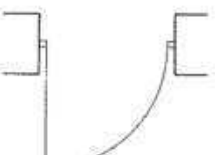
Puerta con revestimiento y dintel



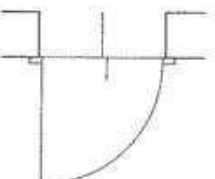
Marco enrasado sin dintel



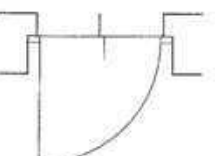
Marco montado en el extremo anterior del trasdós, sin dintel



Marco montado en el interior del trasdós, sin dintel



Marco ciego montado interior o exteriormente con un elemento que marca la diferencia de pavimento en la zona de tránsito



Marco ciego montado en el intradós con un elemento que marca la diferencia de pavimento en la zona de tránsito

Montaje

Rebaje o encaje de la puerta es la zona de transición de la hoja al elemento constructivo donde se halla el hueco. Presenta diferentes configuraciones en función de las exigencias de orden técnico y formal que debe satisfacer.

El marco de la puerta se ejecuta con un material adecuado, como la madera o el metal, que adaptado al hueco pueda absorber las diferencias de medida del muro. Además, sirve como soporte donde se inserta la puerta con herrajes, abatible o corredera.

Cuando una puerta debe ser estanca al agua y al viento, y satisfacer determinados índices de aislamiento acústico y térmico, resulta imprescindible la utilización de un marco en todo su contorno. La zona del umbral requiere especial atención: por un lado, debe garantizar la estanquidad al agua y, por otra, debe poder atravesarse de la manera más cómoda posible, o ser accesible en el caso de tener que usar silla de ruedas.

Encaje o rebaje lateral



Fig. 62: Forro y revestimiento (puerta interior en edificios de estructura de madera, utilizada también como puerta exterior)
Puerta con la hoja resaltada

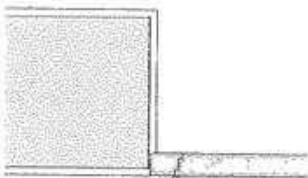


Fig. 64: Marco enrasado a la pared (puertas interiores y exteriores)
Hoja y marco encajados

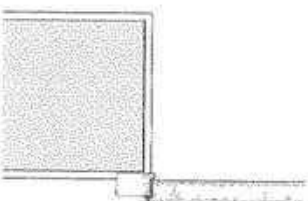


Fig. 66: Marco ciego colocado interior o exteriormente (puertas interiores y exteriores)
Hoja resaltada

Encaje o rebaje inferior



Fig. 68: Suelo continuo



Fig. 69: Suelo rebajado

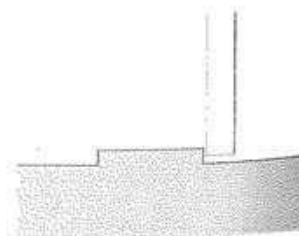


Fig. 70: Umbral resaltado

La percepción óptica de una puerta cambia según sea la forma del rebaje. Si está montada sobre un marco enrasado en la pared, pintado del mismo color que ésta, el hueco se disimula. Si lo está como marco ciego en el trasdós, se forma un nicho que invita a entrar. Una puerta forrada, o revestida de otro material, acentúa el carácter de "hueco enmarcado" que posee su zona de tránsito, efecto que se refuerza si se emplea además un travesaño de madera.

Mientras que antaño el dintel sobreelevado estaba ampliamente difundido, en la actualidad, por motivos técnicos y prácticos, se prefiere un pavimento continuo y una puerta sin dintel en las puertas interiores. Un cambio de pavimento se cubre en consecuencia con un carril cóncavo. Cuando se exigen determinados índices de aislamiento acústico, se coloca un sellado vertical en la hoja de la puerta.

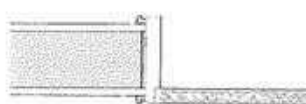


Fig. 63: Puerta con cerco (puerta interior)
Hoja colocada a tope

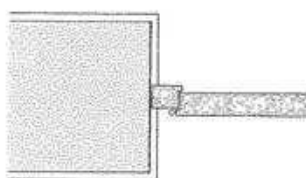


Fig. 65: Marco colocado en el intradós (puertas interiores y exteriores)
Puerta con la hoja resaltada

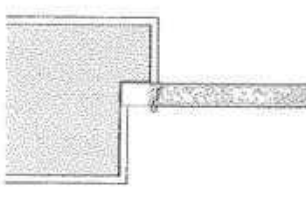


Fig. 67: Marco ciego colocado en el intradós (puerta exterior)
Hoja y marco encajados

Puertas. Herrajes

Puerta de acero basculante acristalada

Ejemplo de la marca Forster Profilsysteme, Arbon, Suiza

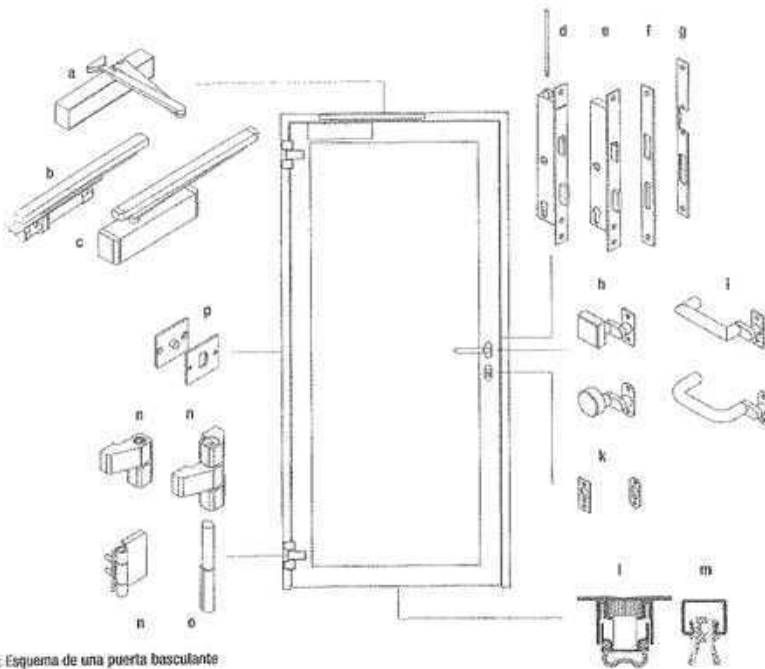


Fig. 71: Esquema de una puerta basculante

Puerta corredera de madera

Ejemplo de herrajes de la empresa HAWA-Junior

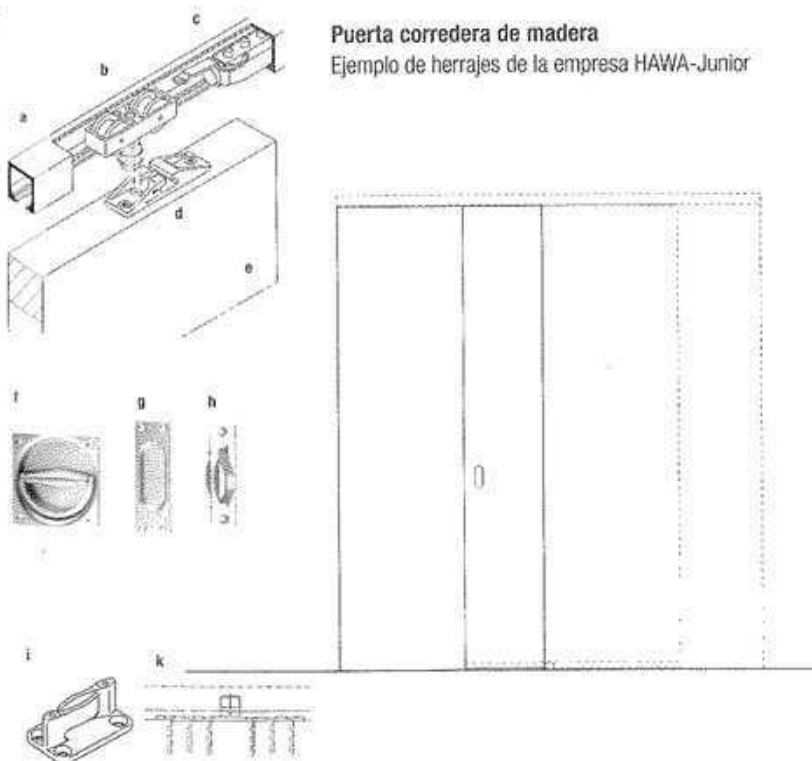


Fig. 72: Esquema de una puerta corredera

Contrapeso

- a Cierre de puerta con brazo articulado
- b Cierre de puerta oculto
- c Cierre de puerta con guía deslizante fija

Cerradura

- d Cerradura encajada (en la hoja de la puerta) con pestillo, cerrojo y pasador vertical adicional
- e Cerradura encajada (en la hoja de la puerta) con pestillo y cerrojo
- f Chapa de cierre de la cerradura (enrasada con el marco de la puerta)
- g Chapa de cierre de la cerradura (enrasada con el marco de la puerta) para llave eléctrica

Guarnición de la puerta

- h Pomo cuadrado o redondeado
- i Tirador canteado o redondeado
- j Cerradura

Juntas

- l Junta vertical de sellado
- m Perfil inferior (de umbral) con junta de sellado

Pernios

- n Pernios atornillados
- o Pernios soldados

Pasador de seguridad

- p Este pasador impide el deslizamiento del marco y del cerco. Se coloca en el centro de la puerta, entre los dos pernios.

Guarnición de herrajes para una puerta corredera de una hoja

- a Guía montada en el dintel o en el techo
- b Sistema de deslizamiento con rodillos de nailon
- c Carril tope con resorte de detención
- d Mecanismo de suspensión de dos piezas
- e Hoja

Tiradores de puerta

- f Tirador con quiforme de charnela
- g Tirador con quiforme de puerta corredera
- h Tirador de frente de puerta corredera

Rodamiento inferior

- El mecanismo de rodamiento inferior discurre por una guía encajada en la hoja. Se coloca directamente junto al hueco, al comienzo de la ranura practicada en la pared
- i Rodamiento con sección en T, de movimiento libre
- k Pasador, guía

Muro. Hueco

Repercusión en la envolvente del edificio

1. Lluvia

Pared

Erosión de la piel exterior, peligro de humedades del muro exterior, riesgo de heladas.

- Muro exterior (monolítico, de dos hojas o aislado exteriormente): revoco exterior/pintura.
- Muro exterior visto: ladrillo visto/cerámico, impermeables al agua y resistentes a las heladas, exigen el uso de morteros especiales (estanquidad de las juntas) y, en su caso, una cámara de aire ventilada.
- Sistemas constructivos ligeros (acero/madera): armazón de metal, de ripas. En el caso de que la estructura portante quede expuesta exteriormente, debe estar protegida (pintura, materiales de recubrimiento, aleros).
- Fachadas de hormigón visto: el hormigón es "resistente al agua". Deben tenerse en cuenta los problemas surgidos por la carbonatación. El dióxido de carbono y la humedad atmosférica reaccionan con los componentes básicos del cemento provocando desconchones en la superficie de hormigón. Como consecuencia, se corroe la armadura.

Ventana

La lluvia que incide sobre la ventana se desvía a través del verticaguas sobre el alféizar. Los rebajes de las ventanas deben conformarse de forma que el agua nunca se estanque en ellos. Las juntas laterales del antepecho están especialmente expuestas.

2. Sol

Pared

Se deben prever medidas contra la radiación UV-A y el calentamiento, sobre todo los elementos de madera sin tratar, expuestos directamente al sol, que son sensibles a la deformación, agrietamiento y a "quemaduras" parciales. Pese a ello, la madera se considera hoy un material poco problemático. Para que los materiales porosos rechacen el agua se adoptan medidas adicionales con tratamientos como pinturas, barnices e impregnaciones. Las pinturas oscuras acarrear complicaciones porque se sobrecalientan y no son adecuadas para fachadas aisladas exteriormente.

Ventana/hueco

Medidas contra el deslumbramiento, visión del interior, radiación del calor:

- Sistemas flexibles de protección solar colocados en el exterior.
- a) Estores de lamas (de chapa de aluminio, puede variarse la posición de las lamas) integrados en el dintel o alojados en cajas superpuestas a la fachada.
- b) Persianas enrollables (madera, aluminio o tela) integradas en el dintel o alojadas en cajas superpuestas a la fachada.
- c) Contraventanas plegables o correderas de madera o chapa (plegadas sobre el intradós, abatidas o desplazadas sobre la fachada).
- Sistemas fijos colocados exteriormente (brisa-sol, aleros, lamas fijas).

3. Ruido

Pared

Las construcciones ligeras (de madera o de acero) son, por su poca masa, más sensibles a las molestias ocasionadas por los ruidos. En casos normales no supone ningún problema, en casos específicos debe consultarse con especialistas en técnicas de la construcción.

Ventana

La solidez de los vidrios, el grosor total del acristalamiento, así como la estanquidad de las juntas, dependen en gran medida de la carga de ruido esperada. Cuando las cargas son importantes, apenas puede ventilarse por las ventanas, por lo que se necesita instalar un sistema de ventilación suplementario.

4. Viento

Pared

En general, todos los sistemas constructivos en los que la fachada se compone de piezas pequeñas, y preferentemente en los sistemas en los que la pared es de madera, deben contar con una capa estanca al viento que contrarreste los posibles problemas surgidos por la permeabilidad de las juntas.

Ventana

Los rebajes de las ventanas deben ser estancos al viento. Tanto los marcos como las hojas de las ventanas pueden estar sometidos a fuertes cargas de viento.

5. Ensuciamiento de la fachada y filtración de agua en las juntas horizontales

Pared/Ventana

A causa de la lluvia y del viento, el agua puede penetrar en las juntas horizontales. Por tanto, todos los elementos horizontales como dinteles, alféizares y cornisas deben estar provistos de un goterón.

6. Temperatura

(La normativa regula el coeficiente de transmisión de calor, así como el grosor mínimo de los diferentes sistemas constructivos).

Pared

Los materiales aislantes garantizan la protección contra el calor en verano y el frío en invierno. Dependiendo del sistema constructivo, se prevé una capa aislante adicional: el material es portante y aislante (muro de una hoja), o el aislamiento está integrado en el elemento constructivo (sistemas constructivos de armazón de madera).

Ventana

- Vidrio aislante.
- Ventanas cajón, en parte con marcos y cercos con aislamiento.

7. Difusión del vapor de agua desde el interior al exterior

Cómo evitar un humedecimiento del sistema constructivo por el agua de condensación.

Pared

Medidas posibles:

- Cámara de aire ventilada (la humedad se concentra en un espacio ventilado situado fuera del aislamiento y se seca con ayuda de la convección natural de aire).
- Barrera de vapor en los elementos constructivos sensibles a la humedad, colocada delante de la capa de aislamiento en su lado más caliente.
- Capa portante interior estanca al vapor de agua, p. ej., hormigón in situ.
- Aislamiento térmico estanco al vapor de agua, p. ej., vidrio celular.
- Sistema constructivo totalmente permeable al vapor de agua, p. ej., muro de fábrica de una hoja.

8. Lesiones mecánicas

Pared/Ventana

Las superficies blandas (pinturas, en algunos casos la madera) pueden sufrir daños mecánicos. Los revocos exteriores son especialmente sensibles (sobre todo en la zona del zócalo: desde la cota del terreno hasta aproximadamente los 2 m).

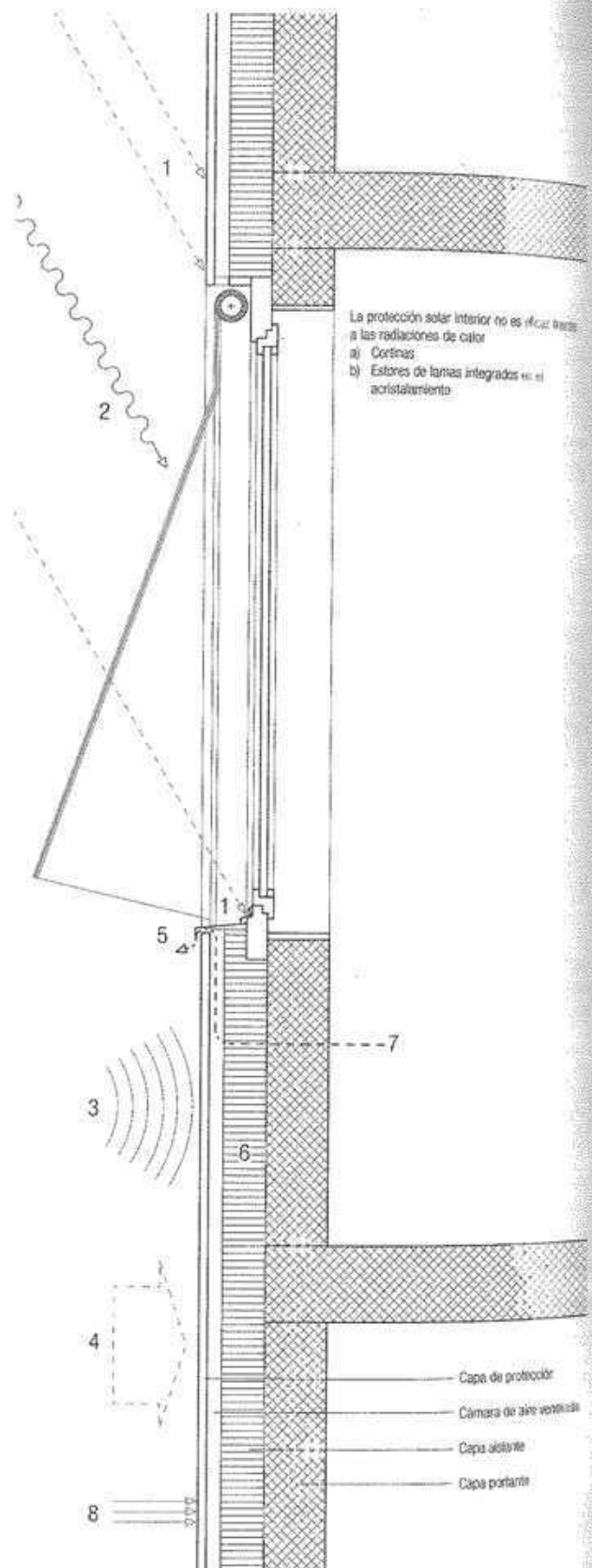


Fig. 73: Esquema de sección a escala 1:20

Protección solar y contra el deslumbramiento

Patric Allermann

La protección solar y la protección contra el deslumbramiento son elementos constructivos adicionales de los huecos. Su tarea consiste en dosificar la radiación de luz natural y del sol en el interior según las necesidades requeridas o, en ocasiones, incluso en impedir totalmente su entrada. Pueden también servir para protegerlo visualmente por la noche.

Existen numerosas posibilidades para hacer que la protección solar y contra el deslumbramiento sea un tema arquitectónico. No obstante, para lograr una protección adecuada y eficaz se deben observar determinados principios físicoconstructivos.

Protección solar: planteamiento del problema

Según la posición geográfica de un edificio, de su exposición al sol y de la configuración de sus fachadas, el aporte de energía solar a través de los huecos puede conducir a un sobrecalentamiento del espacio interior al final de la primavera y en verano. Este problema se evita mediante la introducción de un sistema de protección solar adecuado. En principio, la protección solar disminuye también la entrada de radiación térmica. El factor solar g es por ello el medio para evaluar la eficacia de una protección o establecer comparaciones con otros sistemas. Este valor, que define el grado de transmisión solar total, es la suma de la transmisión por radiación solar directa y del aporte de calor secundario hacia el interior, y se determina por medio de medidas o cálculos. Una protección solar eficiente se caracteriza por una elevada capacidad de reflexión, que reduce, por tanto, el valor g .

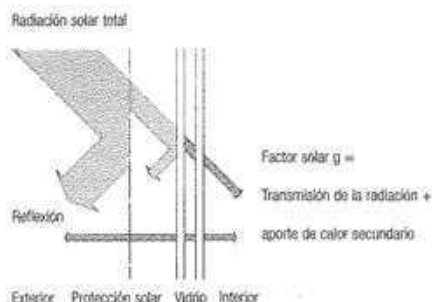


Fig. 74: Protección solar exterior

Para evitar el sobrecalentamiento del espacio interior, la reflexión debe producirse antes de que la radiación solar llegue al vidrio. En el caso de que la luz solar atravesase los vidrios de la ventana, una parte de la radiación se absorbe por la protección situada en el interior y se transforma en rayos infrarrojos de longitud de onda larga. Esta radiación no puede ya salir al exterior a través del vidrio, y provoca un calentamiento adicional del espacio interior. Por tanto, la protección solar óptima ha de colocarse siempre únicamente "en el exterior".

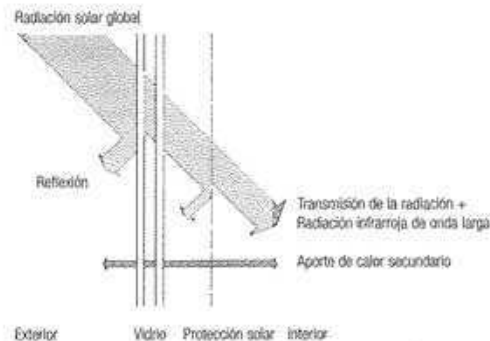


Fig. 75: Protección solar interior

Tipos de protección solar

La protección solar puede realizarse como un elemento constructivo fijo o móvil. Los aleros, quitasoles verticales u horizontales (los llamados *brise-soleil*), galerías y lamas fijas son ejemplos de elementos constructivos fijos que constituyen componentes esenciales de la configuración de la fachada. Una ventaja de un elemento de protección solar fijo es que permite una visibilidad del exterior amplia y permanente. Dependiendo de su configuración formal, entre el exterior y el interior puede surgir un espacio intermedio interesante desde el punto de vista espacial, al que se puede dotar incluso de un uso complementario (p. e., una galería). Como contrapartida, con un elemento de protección solar fijo sólo se puede reaccionar en parte a los cambios que experimenta el curso del sol a lo largo de un día y durante las estaciones.

Un elemento de protección solar flexible permite tanto una adaptación continua a la posición del sol como una

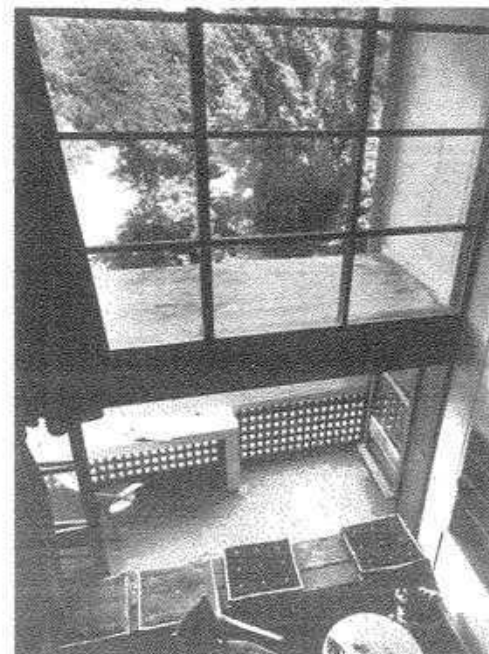


Fig. 76: Protección solar fija, configurada como espacio intermedio con *brise-soleil* (arriba) y galería
Le Corbusier: Unité d'Habitation, Marsella, Francia, 1947

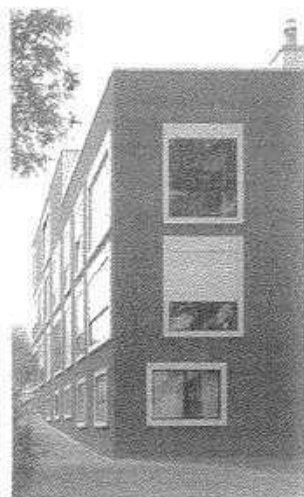


Fig. 77: Los elementos del sistema de protección solar se alojan en un marco ciego y ancho de aluminio, de manera no se perciben exteriormente cuando están recogidos
Gigoni/Guyer: edificio Brühlberg, Kitzbühel, Suiza, 1996

dosificación de la radiación que penetra en el interior, acorde con las necesidades individuales. Debido a la gran variedad de tipos existentes, son muchas las posibilidades en las que puede pensarse a la hora de proyectar. Deben contemplarse las posibles dimensiones mínimas y máximas de cada sistema. Las denominadas medidas límite para sistemas semejantes varían muy poco entre los diferentes fabricantes. Mientras que la dimensión menor se refiere a los tamaños de huecos más pequeños, la mayor depende en primer término de las propiedades del material empleado, así como del grado de exposición al viento.

Diferentes tipos de protección solar flexible:

Persianas enrollables. Se componen de varillas regulables que se conducen a lo largo de una guía lateral con perfil en U. Cuando no se utilizan, las varillas se enrollan en un rodillo montado en el dintel del hueco o se pliegan sobre un eje. El grado de permeabilidad a la luz depende de la sección de las varillas (además de la separación entre ellas), de la reflexión del material y de su color. En la actualidad, la mayor parte de varillas son de aluminio, material que aún a un alto grado de reflexión y un gasto de mantenimiento mínimo. La madera, muy utilizada anteriormente, tiene por el contrario un mantenimiento más costoso. Si se quiere, este tipo de persianas puede desmontarse y permitir la entrada de la luz natural reflejada indirectamente. Las medidas límite (mínimo/máximo) en persianas enrollables no abatibles se sitúan aproximadamente entre un anchura de 50 y 450 cm y una altura de 50 y 400 cm. La superficie máxima permitida que debe observarse a la hora de proyectar es de unos 10 m. Los valores máximos se ven muy reducidos en fachadas muy expuestas al viento (por ejemplo, en edificios en altura).

Persianas venecianas o estores. A diferencia de las persianas enrollables de lamas regulables, en las venecianas puede variarse el ángulo de inclinación de la lama

a lo largo del eje, lo que posibilita un control y dirección más flexibles de la incidencia de la luz. El movimiento de las lamas, fabricadas de aluminio o de madera, discurre sobre perfiles guía o por delgados cables de acero. Cuando no se utilizan, las lamas se comprimen "en bloque" en la caja del estor. Las medidas límite se corresponden aproximadamente con las de las persianas enrollables, si bien los valores máximos dependen del perfil de las lamas. La exposición al viento de los estores requiere una atención especial.

Toldo vertical. Se compone de una tela que, cuando no se usa, permanece enrollada en su caja. Tanto la permeabilidad a la luz como su grado de reflexión dependen de la calidad del tejido. Las telas claras pueden dispersar mucho la luz y llegar a producir deslumbramientos en el interior. Al

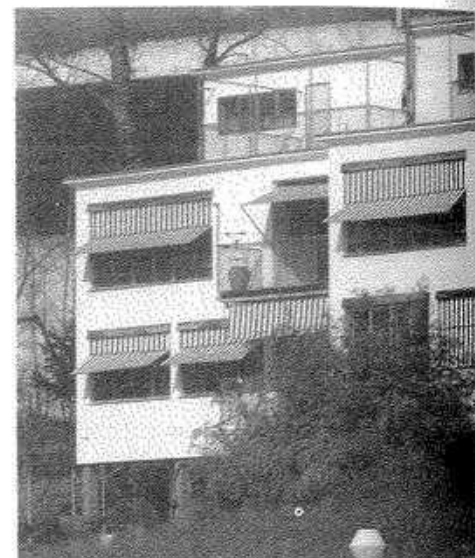


Fig. 83: Toldos plegables delante de las ventanas, toldos extensibles y toldos verticales ante los balcones
Max Ernst Haefeli: casas Rutach, Zürich, Suiza, 1928



Fig. 78: Persiana veneciana
Montaje integrado
Practicable desde el exterior

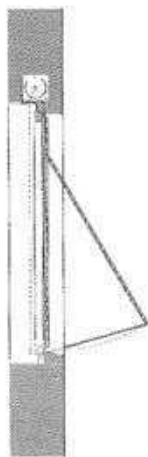


Fig. 79: Persiana enrollable extensible
Montaje integrado
Practicable desde el interior

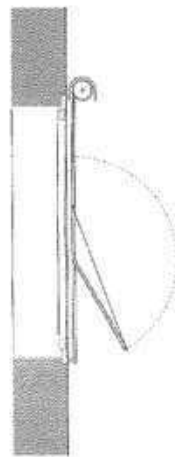


Fig. 80: Toldo plegable
Montaje activo
Practicable desde el exterior

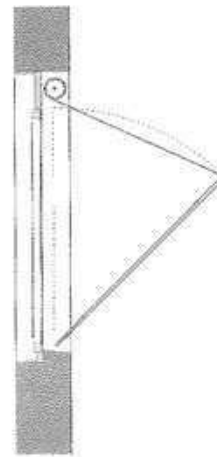


Fig. 81: Toldo extensible
Montaje bajo el dintel
Practicable desde el exterior

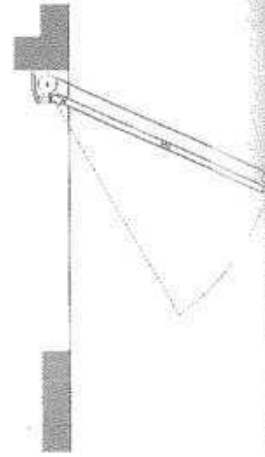


Fig. 82: Toldo articulado
Montaje en el techo bajo la losa del balcón

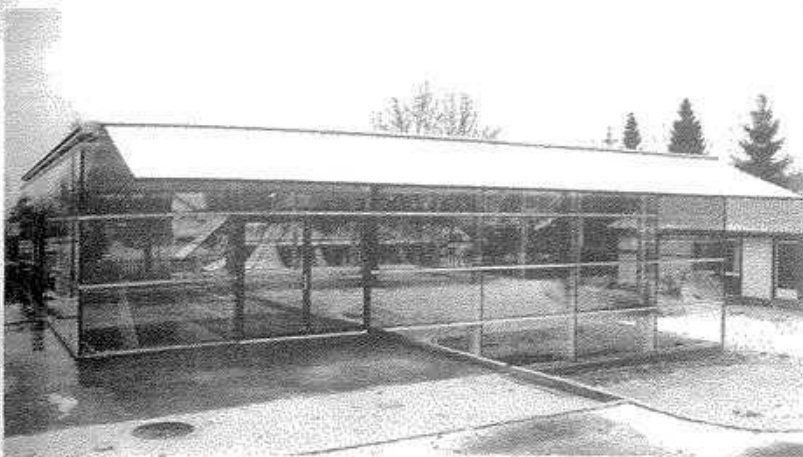


Fig. 84. Toldo articulado extralargo como marquesina flexible
Oliver Schwarz: fábrica en Ebikon, Suiza, 1996

igual que las persianas venecianas, el toldo vertical tampoco puede abatirse. Las medidas límite son aproximadamente entre 40 y 300 cm de anchura y 40 a 4.000 cm de altura. La superficie máxima permitida es de unos 8 m², y la relación ideal entre alto y ancho es de 1:3.

Toldo plegable. Esta elaborada variante del toldo vertical permite la vista parcial del exterior gracias a su plegado y extensión parcial. A excepción de su altura mínima de 1,2 m, las medidas límite y la superficie máxima coinciden con las del toldo vertical.

Toldo extensible. Dos guías (llamadas brazos de punto recto) unidas en sus extremos por un tubo desenrollan un estor de tela accionado por la fuerza de la gravedad y lo colocan en un determinado ángulo con respecto a la fachada. Este sistema, utilizado hace años con frecuencia en balcones, garantiza la relación con el espacio exterior al no cubrir totalmente la ventana. Tanto las medidas límite como la superficie máxima coinciden con las de los toldos verticales, mientras que la longitud de los brazos oscila entre los 80 y los 150 cm.

Toldo articulado. Dos o más brazos articulados permiten la extensión variable de un toldo enrollado que puede colocarse también inclinado mediante una articulación adicional. El denominado estor solar es probablemente el protector usado con más frecuencia en balcones y terrazas de edificios de viviendas y se coloca también para producir sombra en grandes ventanas o escaparates. Son posibles dimensiones entre los 2 y los 7 m de anchura, la máxima longitud del brazo alcanza los 4 m.

Contraventanas abatibles, plegables y correderas. El arquetipo de protección solar flexible se fabrica fundamentalmente de madera o aluminio. Cuando no se usan, las hojas se pliegan sobre el intradós o se abaten sobre la zona adyacente al hueco. Sus dimensiones se adaptan en cada caso al tamaño de la ventana.

Vidrio aislante con estor de lamas integrado. Entre las dos láminas de vidrio de un acristalamiento aislante, con cámara de gas estanca, se introduce un estor de lamas.

De acuerdo con el planteamiento expuesto anteriormente, este sistema no ofrece una protección óptima frente a la radiación de calor, puesto que la cámara intermedia se calienta y el calor adicional se transmite parcialmente al interior en forma de rayos infrarrojos de onda larga. La solución es adecuada en rascacielos ya que, al alojarse entre los vidrios, los estores están protegidos del viento y de la suciedad. El inconveniente es que cuando los estores se estropean debe sustituirse todo el acristalamiento.

Montaje aditivo o colocación integrada

A excepción de los dos últimos ejemplos expuestos, todos los tipos de protección solar pueden colocarse como elementos vistos en fachada o integrarse en el ámbito del dintel de la ventana. Esta segunda opción posibilita el ocultamiento casi total del protector solar cuando está replegado. La colocación bajo el dintel es una solución mixta, donde la caja de la persiana o del estor está revestida con una pantalla situada en el mismo plano que la fachada. Los toldos con brazos articulados o plegables suelen montarse de manera abierta bajo la losa del balcón.

Si el montaje está integrado dentro del dintel, debe procurarse un acceso fácil al protector solar para garantizar tanto su mantenimiento como su sustitución. La capa de aislamiento térmico debe ser continua.

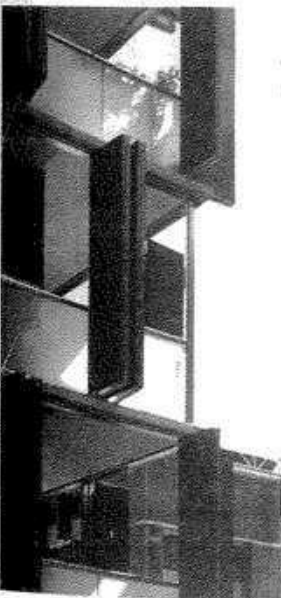


Fig. 85. Contraventanas plegables de protección solar, unipuestas a los balcones
Saumy-Mayer & Eberle: viviendas Hötting, Innsbruck, Austria, 1999

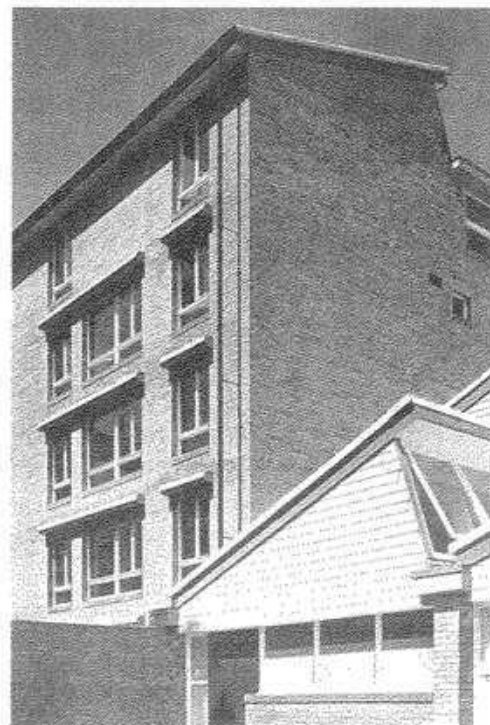


Fig. 86. Cajas de persianas de montaje por adición, concebidas como elemento de configuración de la fachada
Ernst Gisel: edificio de viviendas con talleres, Zürich, Suiza, 1953

Protección contra el deslumbramiento: planteamiento del problema

El deslumbramiento se produce por la incidencia directa del sol y de su reflexión sobre las superficies existentes en un espacio, pero también como consecuencia de la luz natural que se refleja en el exterior (reflexión en edificios claros, con superficies cubiertas de nieve, etc.). A diferencia de la problemática asociada a la protección solar, donde la radiación del calor procede de una dirección exactamente definida, la incidencia de la luz y el deslumbramiento provocado por ella dependen de diversos factores relacionados con un contexto concreto.

Además, el deslumbramiento constituye una apreciación individual y subjetiva que tiene que ver con el tipo de actividad que se lleva a cabo: el trabajo ante una pantalla es, por ejemplo, más susceptible al deslumbramiento que uno de escritura manual.

Las exigencias variables de los espacios interiores demandan desde una sutil regulación o desviación de la incidencia de la luz solar hasta el oscurecimiento total (p. ej., en las aulas).

Como sucede con la protección solar, la protección contra el deslumbramiento afecta también a la relación del edificio con el espacio exterior. Este hecho influye tanto en el espacio arquitectónico (introversión indeseada) como en la psique humana (sentimiento de estar recluso o excluido).

Por todo ello, la protección frente al deslumbramiento debe ser lo más flexible posible. Aunque alguno de los tipos de protección solar eviten también el deslumbramiento (p. ej., en el caso de los estores de lamas), la colocación interior de la protección tiene una ventaja: el deslumbramiento también se produce durante las estaciones frías, justamente cuando el aporte de energía solar es más deseable.

Tipos de protección al deslumbramiento

Existen dos tipos de fundamentales de protección frente al deslumbramiento, que a su vez pueden dividirse en diversas variantes:

Cortinas. Esta tradicional protección visual y frente al deslumbramiento, se compone de una tela que está determinada también por su grado de permeabilidad a la luz. La gradación de la luz puede conseguirse con dos o más capas de cortinas de diferente grado de permeabilidad (principio de la cortina diurna y nocturna). Dado que éstas sólo se desplazan en horizontal y no en vertical (lo que permitiría una mayor o menor apertura en función de la altura del sol), para evitar el deslumbramiento las cortinas deben cerrarse totalmente. Las cortinas planas y las pantallas móviles son variaciones modernas que se fabrican con tejidos de alta tecnología, susceptibles de producir un buen índice de reflexión sin apenas reducir la transparencia). Las cortinas de lamas verticales son las únicas que, girando en torno a su eje, permiten una dosificación de la luz adaptada a la cambiante posición del sol.

Estores. Los estores verticales, con su correspondiente recubrimiento impermeable a la luz, se utilizan con frecuencia para el oscurecimiento de aulas y seminarios. Los estores de lamas permiten una regulación precisa de la incidencia de la luz hasta llegar a la oscuridad total. Según su posición, las lamas permiten establecer una determinada relación con el exterior. Tanto el material como el color de las lamas influyen en cierto modo en la percepción subjetiva de la calidad de la luz interior: las lamas de madera, por ejemplo, suponen un cierre menos compacto pero producen una luz cálida. Los estores de aluminio desvían la luz a través de los intersticios de las lamas, penetran en toda la profundidad del espacio y permiten una iluminación homogénea y el aprovechamiento de la energía solar pasiva mediante el almacenamiento del calor en los elementos constructivos macizos, todo ello sin producir deslumbramiento.

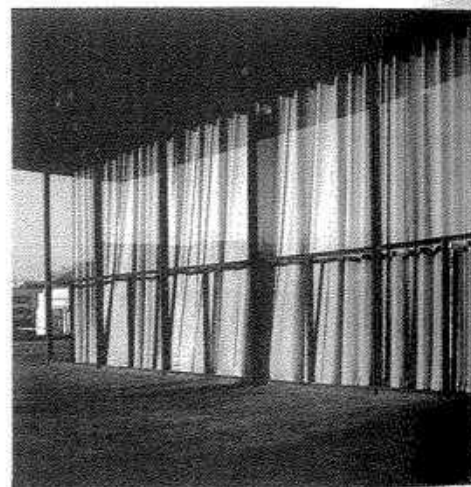


Fig. 87: Cortinas como protección al deslumbramiento y cierre parcial del espacio interior
Mies van der Rohe: Neue Nationalgalerie, Berlín, Alemania, 1963

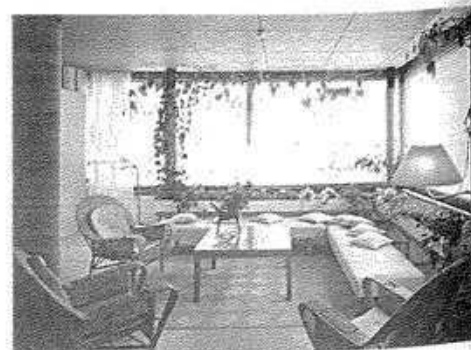


Fig. 88: Los estores interiores de lamas generan una luz interior difusa, el espacio exterior es perceptible sólo vagamente
Alvar Aalto: villa Mairea, Noormarkku, Finlandia, 1939

La duplicación del cielo

Sascha Priesler

Únicamente de noche, cuando fijamos nuestra vista en el techo, tomamos realmente conciencia de él. El anhelo del insomne es que el techo que está encima finalmente pueda desaparecer. Gran parte de la literatura del siglo xx ha proyectado sobre el techo cavilaciones, dudas, preocupaciones y alegrías anticipadas del individuo que ha perdido el sueño, convirtiéndolo así en el baldaquín del alma moderna. "El soporte de todo lo que alumbramos surge de las noches transcurridas en vela" (Emil Michel Cioran). Que hoy deba pensarse de manera plana y desestructurada en lo que está por encima de nuestro asentamiento sobre el terreno, obedece a un proceso de racionalización en el que el forjado plano de hormigón armado se ha adoptado como algo habitual. En la actualidad, la función primordial del forjado es la portante; para ello, debe salvar unas luces determinadas, pero el hecho de que casi siempre se recurra al forjado plano sólo se justifica por motivos económicos, no formales. En la actualidad, la mayor parte de la construcción de edificios de oficinas y de viviendas utiliza forjados planos. Las técnicas de pretensado ponen punto y final a un desarrollo tecnológico en el que el forjado direccional ha sido desplazado, paso a paso, por el de losas y placas. Incluso las vigas, reminiscencia de las de madera, se perciben actualmente, por motivos económicos, como un elemento discordante en la construcción con hormigón, y se evitan en la medida de lo posible.

En un sentido arquitectónico programático, la casa tipo Dom-Inó (1914) de Le Corbusier había sugerido el forjado plano que, junto con el esqueleto estructural, proporcionaba una configuración de planta libre insospechada hasta entonces. La "planta libre" que propagaba este sistema no acababa de ser del todo libre. El forjado plano concebido entonces por Le Corbusier, mostraba un sistema constructivo con bovedillas, de modo que la escalera empalmaba con alguna de las vigas interiores. Al tiempo que surgía el forjado plano, el proyecto se orientó preferentemente hacia la planta, que favoreció la creciente neutralización del techo moderno y convirtió a la pared en un elemento constructivo determinante en la configuración del espacio. La capa inferior del techo y la superior del suelo se han convertido en meros fondos de un espacio estructurado por las paredes. Su carácter homogéneo, plano e indiferente a cualquier orientación no sólo determina la expresión arquitectónica del techo, sino que todas estas características constituyen hoy condiciones abstractas de partida a la hora de evaluar la rentabilidad de un espacio. Es más, la superficie de forjados constituye también un baremo para calcular la economía de un proyecto arquitectónico.

Actualmente se plantea la cuestión de cómo utilizar las diversas formas de forjado en la construcción cotidiana. Las vigas de madera, la estructura para forjados más ampliamente difundida desde la antigüedad, predominante también en la construcción occidental hasta la II Guerra Mundial, se sustituyó paulatinamente por las

vigas de acero y los forjados planos de hormigón armado. Una simple ojeada al desarrollo histórico que derivó en el forjado plano muestra la variedad de formas implícita en este proceso. La obra del estadounidense Claude Turner y del suizo Robert Maillart impulsaron decisivamente la tendencia al forjado plano, indiferente a cualquier orientación espacial. A diferencia de los forjados clásicos de vigas (como ya presagió François Hennebique con los sistemas constructivos de hormigón), el flujo de esfuerzos sólo se aprecia en los cabezales de los pilares denominados fungiformes.

No menos decisivo fue el cambio social que acompañaba a esos desarrollos técnicos. La irrupción de la sociedad de consumo y de servicios, así como la construcción de viviendas en serie, condujeron a la aparición de nuevos tipos —edificios de oficinas, centros comerciales, contenedores residenciales— y a manipulaciones de la atmósfera espacial impensables hasta entonces. En la actualidad, todo tipo de instalaciones técnicas para la vivienda —conductos sanitarios y eléctricos, de ventilación, de iluminación— constituyen elementos indispensables de los forjados modernos, estén a la vista o no. El forjado se ha convertido, pues, en un sistema constructivo complejo que aloja en su interior los elementos que suministran los servicios necesarios para que un espacio sea habitable. Con independencia del material de la estructura portante, la complejidad técnica constituye en la actualidad la característica fundamental de los forjados. A éstos, en su origen con una función meramente portante, se le fueron añadiendo en los últimos años capas y más capas, tanto en su parte inferior como en la superior, con nuevas funciones que cubrían las crecientes necesidades de la sociedad. En el lenguaje cotidiano, por "techo" se entiende la capa inferior de un forjado horizontal (la superficie que se extiende sobre nuestras cabezas). Si lo observamos como un elemento complejo compuesto de varias capas, el suelo de la planta situada por encima también pertenecería al forjado. Los problemas originados por el ruido o los incendios ponen de manifiesto no sólo su carácter de elemento separador, sino también su carácter de elemento solidario integrante de una unidad constructiva. En todo caso, sin dejar de considerarlo en su doble faz, cabe diferenciar la fenomenología de la capa inferior del forjado como un cierre espacial, del tratamiento técnico que como elemento constructivo requiere, y que incluya la composición del suelo de la planta situada por encima. Esta interdependencia se hace especialmente nítida en espacios muy amplios donde el forjado deba salvar grandes luces. Como capa inferior del forjado, el techo está expuesto a la atención de la vista y constituye, por tanto, un elemento constructivo que no se sustrae a la mirada inmediata. Justamente por ello, un techo requiere soluciones constructivas muy esmeradas en toda su extensión. Aparte de esta doble significación —el forjado como techo y como elemento constructivo—, en lo que sigue debemos hablar de tres presu-



Fig. 1. Pilares fungiformes de hormigón armado con diámetro variable según la planta. Robert Maillart: garaje, Atdorf, Suiza, 1912.



Fig. 2: La cubierta como baldaquino
Frank Lloyd Wright: edificio de oficinas para
Johnson-Wax, Racine (Wisconsin), Estados Unidos,
1940-1950

puestos conceptuales que han caracterizado hasta hoy la consideración arquitectónica del forjado. Con independencia de su materialización concreta, estos principios muestran la interacción entre la visualización y la tecnificación de los forjados, a la que, en mi opinión, ha contribuido de manera esencial el movimiento moderno.

- El techo como baldaquino: tanto antes como ahora, el techo reúne a quienes se encuentran debajo y hace que se reflejen en él. El carácter simbólico del techo como cielo artificial, encuentra una resonancia más o menos clara en los actuales revestimientos.
- El carácter estratificado de las distintas plantas: la introducción de la construcción en altura con la superposición de plantas en torre supuso, para muchos arquitectos modernos, no sólo un reto tecnológico, sino también una utopía social. En la repetición de los forjados reside una expresión arquitectónica y un sentido social.
- La añoranza por un orden espacial distinto: la oposición entre pared y techo parece darse en la construcción cotidiana. De hecho, desde los inicios del movimiento moderno se produjeron intentos por resolver esta discrepancia o por establecer una continuidad entre la pared y el techo, entre el espacio superior e inferior, entre interior y exterior.

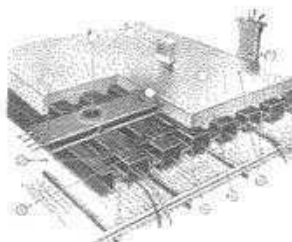


Fig. 3: Composición de un forjado formado por
celdas metálicas de chapa plegada, construido
en los años cincuenta del siglo xx.
De abajo a arriba: techo ignífugo, forjado de
celdas de chapa plegada, canal transversal
para el tendido de instalaciones y conexiones,
pavimento

Baldaquino

El término 'baldaquino' procede de *baldacco* (el nombre italiano de la ciudad de Bagdad) que designaba originalmente un costoso tejido de seda procedente de dicha ciudad, que se importaba a las metrópolis mercantiles europeas. Por su extraordinario valor, esta tela se extendía como dosel, como un suntuoso cielo textil, sobre las cabezas de los nobles y de los poderosos. El sencillo armazón para sostenerlo, pues bastaban cuatro barras, reforzaba su carácter de superficie libremente suspendida en el espacio. El baldaquino abría un espacio sin paredes dentro de otro espacio, y dotaba de de la misma inaccesibilidad a quien se exponía bajo él; el cielo propio es un rasgo inconfundible para aquellos cuyo cuerpo debe protegerse y cuya destacada individualidad debe ponerse de relieve. Una variación portátil, el palio, se utiliza todavía hoy en algunas procesiones religiosas. Sin embargo, lo

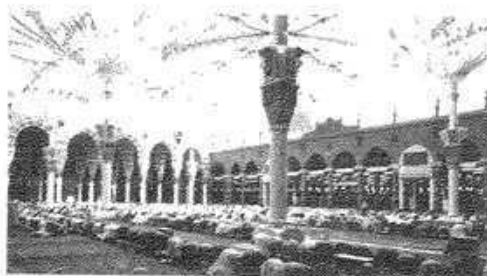


Fig. 4: Sombrillas variables en el recinto interior de la Mezquita de los Profetas
Frei Otto, Bodo Rasch y Jürgen Brachtisch: mezquita de los profetas, Medina, Arabia
Saudí, 1971

que se ha conservado no son las imitaciones temporales del cielo, sino los doseles de madera o piedra en forma de cúpula que cubren los cuerpos de los vivos (el trono del rey, la sede del obispo, la cama del príncipe) y las figuras que representan a los muertos (estatuas sobre tumbas).

Como forma reducida de cubrición, el baldaquino simboliza el gesto visto de una exhibición y no una superficie pensada para un uso determinado. Esto era lo que diferenciaba al baldaquino medieval de las concepciones actuales de un techo. El baldaquino crea un espacio inferior delimitado simbólicamente, pero no una superficie transitable superior. La posibilidad de andar sobre él, de pisarlo, se entendería como símbolo de profanación. El forjado aún se debate en este dilema, entre su legado recibido como elemento simbólico y su uso profano.

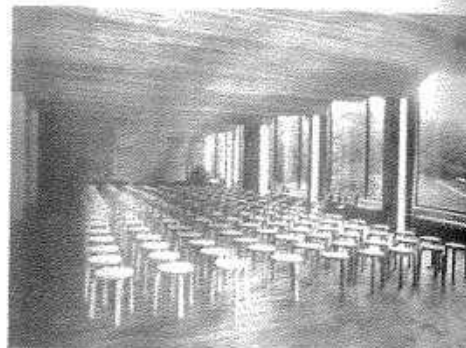


Fig. 5: Techo ondulado
Alvar Aalto: biblioteca de Vapuri, Rusia (anteriormente Finlandia), 1927-1935

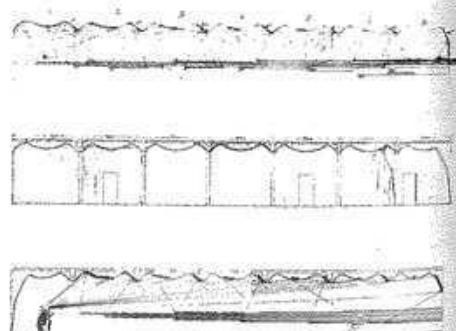


Fig. 6: Las secciones muestran el desarrollo ondulado que sigue el techo.
Las reflexiones acústicas determinan el curso de estas ondas.
Alvar Aalto: biblioteca de Vapuri, Rusia (anteriormente Finlandia), 1927-1935

Revestimientos

Dentro de las más distintas formas constructivas que se utilizan para su colocación en obra, muchos techos colgantes actuales recuerdan a baldaquinos. Este hecho pone de manifiesto un deseo de valorar al individuo moderno en sus diversas actividades y de proporcionarle comodidades de todo tipo. Incluso los falsos techos más banales, empleados en grandes espacios de oficinas, dan testimonio del intento de armonizar las complejas exigencias espaciales con un cierto grado de representación

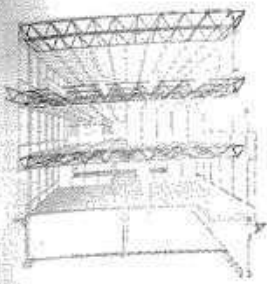


Fig. 7: Sección en perspectiva: El conjunto de las instalaciones se alojan en el interior de las cerchas del forjado.
Saro Saarinen & Associates: centro de investigación de General Motors, Warren (cerca de Detroit, Michigan), Estados Unidos, 1951-1957

arquitectónica. No sólo el falso techo en muchos casos, también la cara inferior del forjado se convierte a menudo en una capa determinante para la configuración del espacio interior. Las funciones que debe satisfacer son de lo más diverso. Como elemento espacial que debe albergar las más distintas exigencias técnicas —protección contra incendios, amortiguamiento de ruidos, instalaciones luminicas, altavoces, extintores automáticos, etc.—, el forjado acabado parece a menudo un mero compromiso. El efecto doble que produce un techo colgante (ya sea como revestimiento o como generador de un espacio intermedio) es inherente al mismo. Dicho de otra manera, el carácter de revestimiento de esta capa habla de una lógica propia que, independientemente del sistema portante, siempre se le ha atribuido en la arquitectura, tanto en los revestimientos de madera de carácter textil de la obra de Alvar Aalto, como en las imágenes en los techos utilizadas por Jean Nouvel en la reforma de un hotel en Lucerna. El techo se convierte en estos casos en una imagen arquitectónica, su revestimiento en el *Leitmotiv* de todo el edificio.

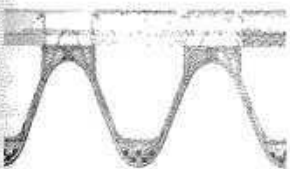


Fig. 8: Detalle del forjado: Elementos prefabricados de ferrocemento con sección en V, un grosor del alma de 3 cm y uno total (con pavimento) de 50 cm.
Pier Luigi Nervi: edificio Galvani, Milán, Italia, 1955-1956

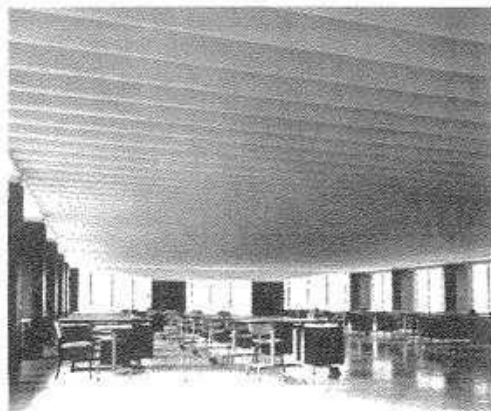


Fig. 9: Edificio administrativo Galvani, Milán, Italia, 1955-1956.
Sistema constructivo de hormigón armado del forjado. Pier Luigi Nervi.
Proyecto: E. Sordini y A. Pestalozzo

Los forjados estructurales adquieren también un carácter semejante de revestimiento, por ejemplo, en los desarrollados por Robert Maillart, Pier Luigi Nervi, Frei Otto, Heinz Isler o Santiago Calatrava. Aplicada en estos casos, la diferenciación entre estructura portante y revestimiento resulta obsoleta. Gottfried Semper fue probablemente el primero que se esforzó en comprender la arquitectura a partir del concepto del revestimiento. En palabras como *decken* (cubrir) y *entdecken* (descubrir), reconoció el carácter gestual que acompañaba al origen de las cosas y que también encontró en los inicios de la arquitectura. *Decke*, término que en alemán representa lo que cubre, tapa o reviste, encierra a la vez un concepto material e inmaterial. El pretendido carácter textil proporcionado por la lengua, mina la imagen del techo en cuanto elemento pesado y portante que se extiende sobre noso-

tros. La voluminosa capa de separación entre las diferentes plantas se reduce en Semper para pasar a ser una superficie sin volumen, una piel, un tejido, un puro revestimiento, una capa de pintura: "En todas las lenguas germanas la palabra *Wand* ('pared', que básicamente tiene la misma raíz y significado que *Gewand*, vestido), recuerda directamente el origen y el tipo del elemento constructivo visible que delimita el espacio. Del mismo modo, los términos cubierta, techo (*Decke*), revestimiento (*Bekleidung*), límite, barrera (*Schranke*), cerca (*Zaun*, igualmente *Saun*) y muchas otras expresiones técnicas no son símbolos aplicados tardíamente a la arquitectura, sino referencias claras al origen textil de dichos elementos".

En especial en edificios que albergan una gran cantidad y variedad de instalaciones —electricidad, calefacción, agua, aire acondicionado—, configuran una zona propia que, en algunos casos, puede llegar a alcanzar la altura de una planta. En el Salk Institute de Louis I. Kahn, inaugurado en 1958 en La Jolla (California), las instalaciones se alojaron en una zona practicable para asegurar tanto un sencillo mantenimiento como su reparación.

En un sentido arquitectónico, el Centre Georges Pompidou en París (acabado en 1976), obra de Richard Rogers y Renzo Piano, constituye un hito en la tecnificación creciente de los edificios. En este edificio se condensó y se llevó a cabo quince años de trabajo concienzudo de, entre otros, el grupo británico Archigram. En el Centre Georges Pompidou las instalaciones ya no son elementos que se hayan ocultado con un mayor o menor pudor, sino que constituyen el principio espacial determinante del edificio. La visión de Le Corbusier de la casa como máquina de habitar se hizo tangible en este edificio gracias a las infraestructuras vistas: el volumen constructivo se entiende como una escenificación de las instalaciones técnicas aplicadas al edificio.

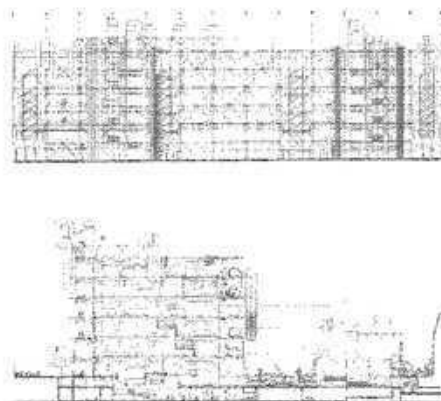


Fig. 10: Cerchas colocadas a distancias de 13 m salvan una luz de 48 m sin necesidad de pilares intermedios, permitiendo así una gran flexibilidad del espacio interior. El edificio aloja un museo de arte moderno, un centro de diseño industrial y una biblioteca pública.
Renzo Piano y Richard Rogers: Centre Georges Pompidou, París, Francia, 1976



Fig. 11: Las losas del forjado en voladizo, que configuran balcones, refuerzan el carácter por capas superpuestas de ambos edificios
Bertrand Goldberg: Marina City, Chicago (Illinois), Estados Unidos, 1954-1964

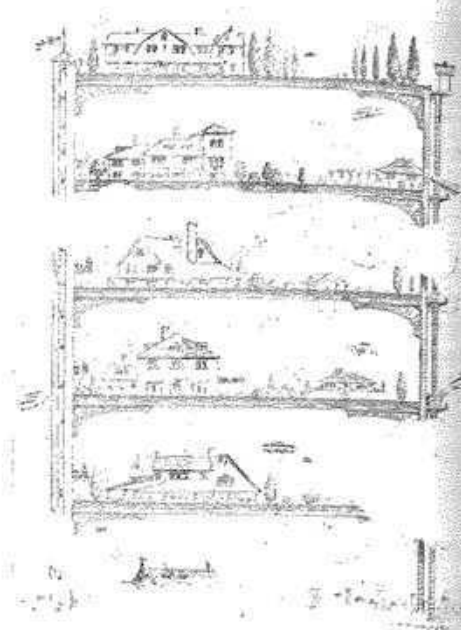


Fig. 13: Rem Koolhaas: "El rascacielos entendido como un dispositivo utópico para la producción de un número limitado de emplazamientos virgenes en una localización metropolitana"
Reimpresión de una caricatura aparecida en la revista Life en 1960

Superposiciones

Si la palabra profanación indica la creciente tendencia hacia la objetivación de las cosas (un proceso que tiende a desacralizarlas, a secularizarlas), entonces el techo moderno es el lugar donde ese proceso ha llegado a hacerse efectivo. A pesar de toda la carga simbólica que pueda transmitirnos, el techo es hoy el más profano de todos los elementos constructivos. Ningún otro elemento se ha transformado tanto como el techo, siguiendo la senda marcada por la evolución técnica y funcional moderna. Las tecnologías y su campo de aplicación han experimentado cambios radicales dentro de un mínimo espacio de tiempo y han abierto posibilidades formales y constructivas totalmente nuevas a arquitectos e ingenieros. El auge de los rascacielos desde principios del siglo xx marcó decisivamente tanto la estructura como el significado del forjado. El forjado se ha convertido en la "capa de separación" de una superposición vertical y en una "zona de infraestructuras" horizontal destinada a las instalaciones que suministran servicios al edificio.

"Todo está vacío de dioses", así ha enunciado Cioran el punto final de esta profanación (y con ello, ha ignorado que precisamente esa ausencia ha preparado el terreno a una excesiva carga religiosa de las cosas). El enaltecimiento de lo profano, surgido en los albores del siglo xx, sería inimaginable sin la creciente tecnificación de la vida cotidiana. Desde un principio, la exaltación se vio acompañada de rasgos mesiánicos dirigidos a la redención del individuo. En este sentido, se produjo una concordancia entre la idea de que "todo era posible" y el sentimiento vital, ampliamente difundido, de la "ausencia de morada".



Fig. 12: El forjado como principio estructural de la fachada
Hideo Kosaka: Caja Postal de Ahorros, Kioto, Japón, 1954

Ambos aspectos encontraron también una materialización simbólica en la nueva tipología del rascacielos. Ninguna otra tipología ha dado tantas alas a la fantasía como la arquitectura que se eleva hasta el cielo, ninguna como ella había encarnado antes todas las posibilidades convertidas en realidad de una sociedad fascinada y asombrada por la modernidad. El forjado ha pasado a ser la plataforma de esas posibilidades y un elemento estructural dominante en la configuración de las fachadas de los edificios. Sólo la superposición masiva de plantas ha hecho visible ambas cuestiones como fenómenos arquitectónicos. Peter Sloterdijk ha designado la "seriación" de tal superposición como el "lugar de transbordo entre el elementalismo y la utopía social". La superposición produce en igual medida un incremento de los valores arquitectónicos y sociales.

El forjado se convierte en el principio estructural de las fachadas, y el edificio extendido verticalmente adquiere así una articulación horizontal. Un claro ejemplo de ello son las dos torres de Bertrand Goldberg en Chicago (Marina City), donde el vuelo de los forjados acentúa el carácter de superposición de capas del edificio. Estas torres constituyen un raro ejemplo de rascacielos con balcones.

La estratificación masiva establece una relación directa entre la continua repetición de la misma planta y el aspecto general del edificio. Rem Koolhaas enunció la fórmula: a mayor número de plantas, más perdurable es la impresión de su unidad formal. En su famosa investigación sobre la arquitectura de rascacielos de Nueva York

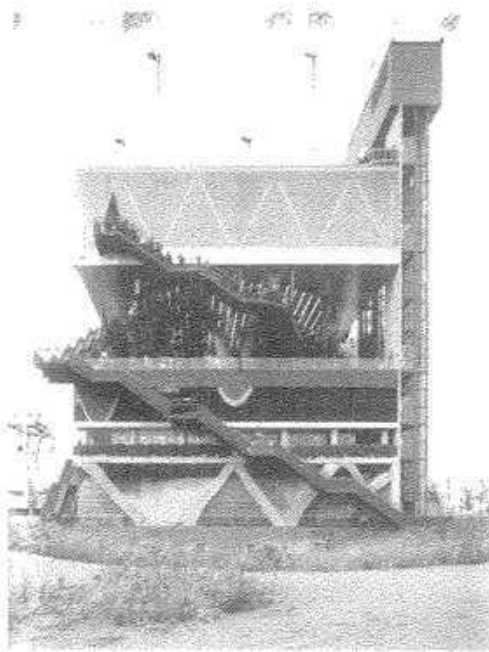


Fig. 14: Paisajes superpuestos ("¿No es aquí el tema una nueva naturaleza?")
MVRDV: pabellón de los Países Bajos para la Exposición Universal de Hannover,
Alemania, 2000

(*Delirio de Nueva York*), hizo referencia a la caricatura de un rascacielos publicada en 1909 en la popular revista *Life*. El edificio, representado como un esqueleto de acero, se compone de la mera superposición de casas de campo con sus correspondientes jardines. La idea nuclear de superponer planta a planta mundos de lo más diversos, convierte a la arquitectura en la infraestructura de las fantasías individuales dispuestas por estratos. Concebido como unidad funcional de un uso determinado, el edificio se disuelve en plantas dispares que albergan funciones distintas. El forjado se convierte en un islote vacío, producido artificialmente, que puede ser ocupado y cultivado una y otra vez. De la herencia de ese desarrollo arquitectónico (la planta como campo de posibilidades y elemento estandarizado en el interior de un gran conjunto), sacan partido también hoy los edificios con menor número de plantas. Una interpretación consecuente de este pensamiento la constituye el pabellón de los Países Bajos para la Exposición Universal de Hannover 2000, obra de MVRDV, donde los forjados se convirtieron en plataformas para paisajes dispuestos artificialmente que, ya desde lejos, se presentan a la vista del visitante como áreas independientes entre sí.

La cinta de Moebius

En 1865, el astrónomo alemán August Ferdinand Moebius describió una superficie curva tridimensional dispuesta de modo característico sólo sobre un borde y, por tanto, no sobre una cara inferior u otra superior diferenciadas. Si recorremos con un dedo una cinta de Moebius, se llega al punto de partida. La causa reside en la torsión que

experimenta la superficie en el curso de su desarrollo. Dependiendo de la posición sobre la misma, lo que en un principio está hacia dentro se vuelve hacia fuera, lo exterior hacia el interior. La orientación en un sentido convencional no es posible en una configuración de tales características, porque cada tramo de la superficie adquiere un sentido contrario durante el desarrollo. Por tanto, en ella no se dan las categorías habituales de una descripción espacial, como arriba y abajo, derecha e izquierda, delante y detrás.

La praxis constructiva, donde paredes y forjados constituyen sus piedras angulares, demuestra hasta qué punto el pensamiento arquitectónico es deudor de estas categorías. Por tanto, la cinta de Moebius representa un mundo espacial de carácter contrario al convencional, para cuya descripción y aplicación deben encontrarse nuevos conceptos. Niveles, y ya no plantas; superficies inclinadas, y ya no paredes o techos; transiciones continuas, y ya no espacios cerrados, caracterizan, donde ello es posible, este mundo contrario. Paisajes y mundos urbanos son los modelos de un cambio arquitectónico. Los intentos por hacer realidad estos otros espacios acompañaron desde un principio a la modernización de la arquitectura. El sueño de las superficies suspendidas en el aire del constructivismo ruso fue también la quimera de un forjado liberado de su infraestructura portante. Incluso las leyes de la gravedad se exoneraron de su validez en el momento de la revolución social.

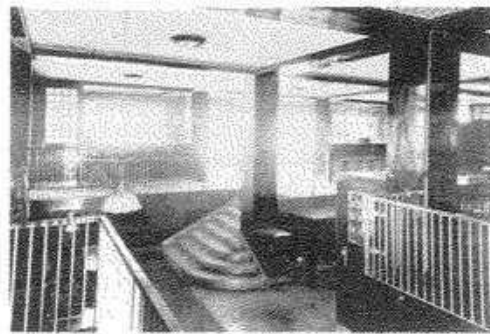


Fig. 15: Diferenciación de niveles
Adolf Loos: edificio de viviendas y sastrería Goldmann & Salatsch, Viena, Austria,
1909-1911

Diagonales

Una percepción del espacio interior, articulado verticalmente, configuró el punto de partida y la meta de una idea arquitectónica en la obra de Adolf Loos, cuya irrupción se vió facilitada por el nuevo sistema constructivo de esqueleto en hormigón armado. Con el edificio para la sastrería Goldman & Salatsch, terminado en Viena en 1911, Loos desarrolló un método de proyectar que sólo en la década de 1920 llegaría a conocerse como *Raumplan* (plan espacial), y que perseguía, no en último lugar, la superación del concepto constructivo ancestral de plantas indepen-

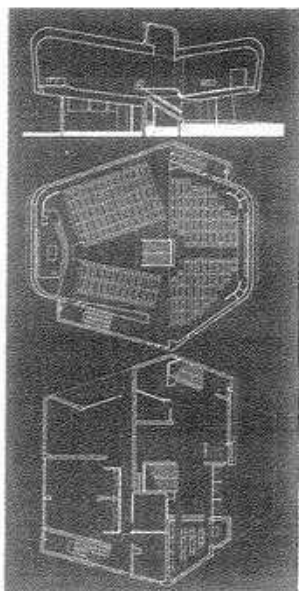


Fig. 16: Primera implantación de la "función oblicua": el espacio de la iglesia se caracteriza por la introducción de dos forjados inclinados contrapuestos.
Claude Parent y Paul Virilio: Iglesia de Saint-Bernadette de Banlay en Nevers, Francia, 1965

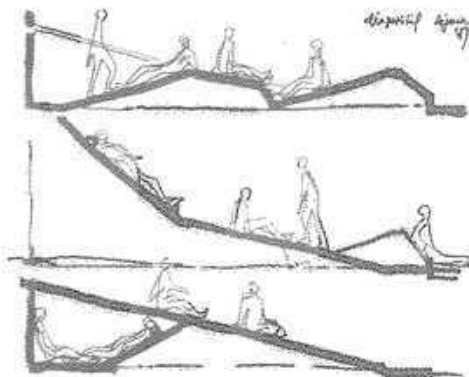


Fig. 17: Vivir sobre un plano inclinado
Claude Parent: croquis para la "función oblicua" (dispositivo sala de estar)

dientes. Ese edificio se caracterizaba por niveles a la vista y plantas no separados ya entre sí, donde los forjados se convertían en elementos efectivos de la configuración interior, antes que en el medio formal que genera una delimitación del espacio. La diferenciación de los espacios según funciones a partir de alturas variables en cada planta (2,07 m para la sala de costura, donde las costureras desarrollan su actividad sentadas, 3 m para la de los sastres, que cortan de pie, y 5,22 m para la de planchado, que se llena de vapor), exigía una compensación constante con la introducción de forjados intermedios, galerías y estrados, por cuyo motivo los cantos de los forjados eran visibles en el interior de los diferentes ámbitos. Dentro del constante subir y bajar de un determinado nivel, las escaleras que conectan el espacio en todo su conjunto cobraban un específico carácter de recorrido. El principio determinante de la superposición de plantas en la arquitectura moderna se planteó por primera vez en este caso (alternativamente) como encaje vertical de niveles escalonados.

Si los forjados configurados como plataformas caracterizaron la percepción específica del espacio interior de la arquitectura de Loos, aproximadamente cuarenta años más tarde, el arquitecto francés Claude Parent elevó el terreno al principio fundamental de configuración del es-

pacio. El suelo, haya sido producido natural o artificialmente, establece un *continuum* espacial abstracto y, de este modo, a un mundo de espacios separados funcionalmente opone otro caracterizado por transiciones y cruces fluidos. Parent, como ningún otro arquitecto hasta entonces, promovió lo oblicuo (el reflejo de un terreno concebido a la manera de un relieve) como centro de su creación arquitectónica. Al sistema espacial cartesiano, materializado arquitectónicamente por paredes y techos, Parent contraponía los planos inclinados (*fonction oblique*), como posibilidad de una experiencia espacial distinta. El desequilibrio y la desestabilización, el efecto de un "estar ahí" (*Dasein*) sobre un plano inclinado, eran para Parent garantes de un espacio percibido de nuevo de forma auténticamente corpórea. La arquitectura debería contribuir así a la experimentación de un sentimiento espacial nuevo, aún desconocido.



Fig. 20: La cinta de Moebius como clave de una geometría inabarcable hasta ahora.
Foreign Office Architects: casa virtual (proyecto), 1997

Sólo con la introducción generalizada del diseño asistido por ordenador en el proyecto arquitectónico, algunas reflexiones encontraron, como las planteadas ya en décadas anteriores por Loos, Parent y otros, una amplia y efectiva difusión en la práctica de la arquitectura. Al mismo tiempo, a principios de la década de 1990 se publicaron proyectos que elevaban el paisaje a la categoría de un nuevo modelo de arquitectura urbana. Una concepción por capas crea superficies continuas por encima de plantas y edificios, y hace que las diferenciaciones entre pared y techo, interior y exterior, pierdan su significado. No es casual que estudios de arquitectura como UNStudio y Foreign Office Architects (FOA) experimentasen simultáneamente con la figura de la cinta de Moebius como clave de una geometría hasta ahora impensable. Techos y paredes han perdido así su determinación horizontal y vertical, se han convertido en curvas, rampas, diagonales y pliegues, y permanecen desde entonces en una zona tangible de lo que resulta indiferente.

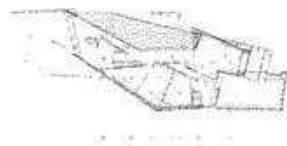


Fig. 18: Planta de la casa Moebius
UN Studio/Van Berckel & Bos: casa Moebius, Amsterdam, Países Bajos, 1993-1998



Fig. 19: Pared y techo, interior y exterior, pierden su significado como conceptos contrarios
UN Studio/Van Berckel & Bos: casa Moebius, Amsterdam, Países Bajos, 1993-1998

Bibliografía

- Gloran, Emil Michel, *De l'inconvenient d'être né* [1973] (versión castellana: *El inconveniente de haber nacido*, Santillana, Madrid, 1995).
- Semper, Gottfried, *Der Stil in den technischen und tektonischen Künsten oder praktische Ästhetik* (tomo I), Verlag für Kunst und Wissenschaft, Fráncfort, 1860.
- Sloterdijk, Peter, *Sphären III (Plurale Sphärologie)*, Schöningh, Sülz, 2004, pág. 26 (versión castellana: *Esféricas III*, Espinosa, Sinsua, Madrid, 2006).

La cubierta

Francesco Coliotti

¿Cubierta plana o inclinada? No nos interesa reconstruir con pedantería la actitud de unos y otros, ni, por supuesto, contemplamos entrar en el juego de quienes, a partir de la forma de la cubierta, distinguen entre buena y mala arquitectura, entre progreso y tradición, entre arquitectura regional y arquitectura del estilo internacional. De haber vivido a comienzos de la década de 1930, nos habríamos visto obligados a tomar partido por una u otra tendencia. Hubiéramos elegido los presupuestos defendidos por el movimiento moderno, o quizá incluso aquellos otros argumentos, extremos pero conscientes, que impiden adoptar posiciones razonables en los instantes de transformaciones radicales. O tal vez hubiéramos optado por argumentos distintos, los de la "tradición de lo moderno", que perseguía el antiguo mito de la arquitectura, buscando evocar tareas ya olvidadas para esta disciplina.

Hoy día no estamos obligados a tomar decisiones tan categóricas, y podemos permitirnos un eclecticismo libre de dogmatismos, como tendencia donde pueden convivir, lo mismo da, mundos formales de lo más diverso e incluso contrapuestos. Por tanto, podemos retomar por completo, con calma y serenidad, los argumentos de una u otra actitud, confrontándolos con los nuevos. Por un lado, reconocemos la capacidad del movimiento moderno por lo que se refiere a una refundación disciplinar de la arquitectura, pero al mismo tiempo, somos conscientes de su rígido dogmatismo que impidió a la *Neues Bauen* apelar a la "memoria" de forma duradera, y a su vinculación con el lugar, petrificándola. Por otro lado, con la distancia temporal que nos separa de las polémicas ideológicas, podemos reconocer los motivos de aquella retaguardia, situada en condiciones de conducir un diálogo franco con la tradición, la memoria del lugar y un tiempo cadencioso. Retaguardia que, a su vez, está ligada a costumbres establecidas y a una vida cotidiana compuesta de gestos cotidianos que se repiten, aparentemente banales y casuales.

Las actitudes sabias y razonables parecen ser hoy más duraderas que las categóricamente vanguardistas, también más convincentes que las irritantemente reaccionarias. En la disputa entre cubierta plana y cubierta inclinada, cada uno afirmaba tener buenos motivos para apoyar la validez de su propia propuesta, y cada uno abogaba, desde luego, por una cubierta adecuada, que protegiera y fuera sencilla, etc. Pero, ¿qué es una cubierta adecuada? ¿Es una cubierta que cubre perfectamente, o un elemento que completa y remata el edificio? ¿Un elemento constructivo que transmite la impresión de que cubre y completa perfectamente el edificio, pero mostrándose lo menos posible, o un elemento que, independientemente de que suponga una buena cubrición y un buen remate de la casa, se muestra además como una forma potente y protectora?

Pocos hablan de la cubierta como uno de los elementos originarios, generadores de la casa, del tejado como una forma y una figura necesarias. El tejado se relaciona

con el mito de la construcción y con la primitiva necesidad humana de protección. El origen de la cubierta tiene que ver quizás con una idea ancestral del espacio: la tienda (en sus formas más primitivas, pero también más cultas, como en la obra de Erik Gunnar Asplund o Sigurd Lewerentz).

Los nómadas como instaladores de tiendas y los pueblos sedentarios que construyeron terrazas de tierra o piedra y pirámides, representan dos mundos diferentes y alejados entre sí, pero ambos se reconocen en la misma imagen. El tejado está vinculado al mito de la construcción, al más antiguo de los gestos humanos: el de cubrirse y protegerse. En las extraordinarias pinturas de Piero della Francesca, el manto de la Virgen es al tiempo protección, casa, tienda y tejado. Existe incluso cuando parece no existir, es decir, cuando la cubierta no está presente claramente (la casa concebida deliberadamente sin cubierta en los ejercicios didácticos de Paul Schmitthenner).

El tejado constituye pues una exigencia de la casa, representa el anhelo por cubrir una morada, una promesa de protección, pero también una plenitud. Con la cubierta se completa la casa. En algunos países se celebra la fiesta de cubrir aguas, incluso en aquellos casos en que la cubierta, por motivos ideológicos, se considera como no perteneciente a la familia de las cubiertas convencionales, sencillamente porque no queda a la vista. Por el contrario, en muchos casos, uno percibe las cubiertas planas, aún cuando no sean directamente visibles, o al menos se intenta que se perciban. A veces basta con que el buen maestro de obras transmita la idea de cubierta, construyendo una pequeña cornisa o perfil, trazando una pequeña junta en el revoco, colocando una pequeña banda de chapa de cobre o de zinc. En la urbanización horizontal de la colonia *Ina Casa*, en el Tuscolano de Roma (1950-1954), de Adalberto Libera, lo único que queda de la cubierta es una línea tenue e ininterrumpida, pero que varía ligeramente su trayectoria y señala la terminación en la fachada de una planta y la cubierta: aparece representada como un ala ligera que estuviera lista para el vuelo, constituyendo un gesto discreto pero determinante del carácter del edificio. En el caso del ático Beistegui en París (1930-1931), obra de Le Corbusier, la cubierta es un espacio reconquistado, el lugar destinado a un jardín colgante moderno, un ámbito sustraído a los mezquinos vendedores de tejas y placas de pizarra, un espacio maravilloso, natural y artificial, un espacio situado en la ciudad y a su vez sobre ella, alejado del tumulto metropolitano. La altura del muro que rodea el plano de la terraza deja atisbar sólo algunos de los monumentos parisinos, los más significativos. Es un lugar donde la ciudad se muestra surrealista, como un objeto para la contemplación abstracta, aislado y extrañado del contexto. La cubierta se convierte así en una sala abierta de la casa (la cubierta plana como espacio habitable, de la que habla Sigfried Giedion).

La cubierta tiene que ver en cualquier caso con las formas míticas primitivas que, tras sucesivas metamorfosis, transformaciones y modificaciones, se reconocen siempre en los elementos de la arquitectura. A lo largo de los siglos, el hastial fue el único elemento de la fachada que permaneció como memoria de la cubierta (por ejemplo, en las esenciales, sencillas y modestas casas de Heinrich Tessenow).

El tejado se carga de significado, y puede ser indiscreto. En algunas ocasiones hace incluso todo lo posible por mostrarse. En los templos griegos arcaicos de Sicilia, el tejado se manifestaba mediante determinados detalles arquitectónicos, repleto de colores y figuras, metopas y triglifos, que a su vez eran una reminiscencia de los templos de madera aún más antiguos, y elementos decorativos que hacían revivir el recuerdo de las técnicas constructivas empleadas en aquéllos (las pequeñas gárgolas en forma de cabezas de león que evacúan el agua de los faldones de la cubierta, situadas en sus lados longitudinales). La cubierta acarrea consigo símbolos y figuras, advierte y atemoriza a todo aquello que amenaza a lo sagrado (en las iglesias noruegas con cabezas de dragón, el tejado se muestra como el caparazón de un animal).

No es casual que la cubierta evoque semejanzas entre la arquitectura y la construcción naval (en el arsenal de Venecia, el tejado es al mismo tiempo una grúa para la construcción de barcos); en los teatros, la cubierta se convierte en una compleja maquinaria del escenario, un lugar destinado a la creación de ilusiones y de efectos especiales (Friedrich Weinbrenner, Karl von Fischer).

La cubierta y el lugar: la cubierta crea siempre símbolos, hace que se diferencie un lugar de otro, y no sólo por motivos climáticos. El tejado y su material sugieren una determinada ciudad o ambiente. Las cubiertas de cobre de París evocan la idea de arquitectura de una metrópoli. Todas las impresiones que surgen de una determinada región o ciudad, hablan de sus tejados. La cubierta de la Borsa Mercè de Giovanni Michelucci, en Pistoia, nunca se ve totalmente. Es una sombra dibujada. En efecto, como en tantas otras ciudades de la Toscana, es una fina línea, una estructura aparentemente liviana, ampliamente volada, oscura y rica en sombras. El tejado, así se percibe, cumple su tarea, pero sólo se ve la cara inferior de su gran alero.

Para Mario Ridolfi, el tejado es una obra maestra de la artesanía de origen ancestral, una forma tradicional, que se hace cada vez más compleja y se adapta a las exigencias del plano: un grueso volumen de tejas cerámicas, una sólida figura, cuyas partes fundamentales constituyen la cumbre, y sus elementos el resultado de una cultivada tradición artesanal. (En todo ello hay algo barroco, como si Borromini hubiera revivido y se hubiera renovado en los pequeños sistemas constructivos de la arquitectura.)

Jože Plečnik crea con el tejado una figura urbana, convirtiendo una hilera de casas no homogénea en una

gran arquitectura urbana inmutable (Tmovo, 1944). El tejado puede compendiar el espíritu y el alma de un pueblo: un ámbito de grandes dimensiones en el que se reconoce toda una comunidad y en el que se hace presente en los momentos importantes (Heinrich Tessenow, casa para la comunidad 1941/1942 y foro administrativo, 1941). La cubierta constituye un lugar inconfundible situado en el centro de la ciudad: la tradición del espacio *coperto* en Lombardía. Un lugar urbano colectivo que se cubre por medio de un tejado sostenido por pilares, en el que a veces se encuentra una fuente o bancos para discutir, concertar, reconocerse como comunidad, o también, con un sentido pragmático, intercambiar mercancías, comprar o comerciar. En este caso, la cubierta, en cuanto elemento arquitectónico, puede convertirse en tipo. La transformación y racionalización del *coperto* está presente en muchas reelaboraciones clasicistas dotadas de un carácter ambivalente que oscila entre el de una arquitectura rural ennoblecida gracias a sus detalles arquitectónicos y el de otra ilustrada y culta, desprovista en cierto modo de cualquier connotación provincial: la cubierta como estado límite, como figura interrumpida, situada a medio camino entre la ciudad y el campo. (El *Coperto dei Figni* en la plaza del Duomo de Milán, destruido en torno a 1850).

Cubierta, carácter, identidad: Karl Friedrich Schinkel modifica la forma del tejado en muchas de sus reconstrucciones de palacetes y casas de campo. Este gesto muestra el intento de convertir el carácter campesino de una aristocracia, en uno más cultivado y menos provinciano.

El tejado puede, con todo, constituir tanto una estructura totalmente independiente de la casa como una estructura inseparable de ella, un elemento indispensable para su funcionamiento: un espacio para secar los cereales y el maíz, un lugar para colocar las máquinas elevadoras de los aperos y las pacas de paja. En algunos ejemplos de la arquitectura alpina, la cubierta cae desde el punto más alto de la casa para sostener los balcones de madera que discurren por delante de los muros macizos revocados de blanco. El tejado se transforma así, se perfora, se convierte en un delgado material textil, compuesto por barras horizontales y por un entramado transparente de madera, que filtra la luz.

El tejado sensible: un volumen delicado, sensible frente a los vientos dominantes y las lluvias (casa Lois Weizenbacher en Grödnertal); en otros casos el tejado se abre al sol del valle, a la vista sobre una montaña (Gio Ponti, hotel Valmartello; Jože Plečnik, casa en las montañas).

Conclusión provisional (con pocas seguridades, muchas dudas y diversos caminos abiertos): en el movimiento moderno, junto a la postura oficial, conviven y prosperan otras posiciones ricas y fructíferas, que tratan el tema de la cubierta sin tabúes. Hemos observado que una profunda investigación acerca del tratamiento de la

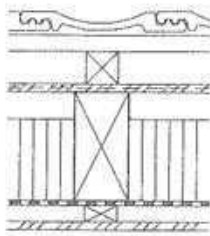
cubierta nunca puede ser concluyente, categórica ni inflexible. Como sucede con la fachada o con el ornamento, en la cubierta es importante el proceso de aproximación a la solución, no sólo la terca persecución de un principio. Tomemos, por ejemplo, la obra de Ignazio Gardella. En el curso de su vida fue protagonista de las luchas libradas para la renovación del lenguaje en la cultura arquitectónica del último siglo. Junto a otros como Ernesto N. Rogers, Giuseppe Samonà o Ludovico Quaroni, se preocuparon de que el lenguaje de la arquitectura moderna no se convirtiera en un nuevo estilo. La modernidad constituye una actitud intelectual, una forma de comportarse frente a la realidad. De ahí que las cubiertas planas de Gardella de la década de 1930 (cuando se trataba de ello), remitan a una actitud demostrativa que constituya casi un manifiesto. Sin embargo, tras la II Guerra Mundial, la cubierta de una iglesia en Lombardía, los tejados que se superponen levemente al volumen de las viviendas para trabajadores en Alessandria, la variación de un tema tradicional para la cubrición de la casa de un viticultor situada entre las viñas...

Por todos estos motivos, el tejado y su forma no pueden reducirse a un eslogan. Creo que debemos leer todas las formas de ser de la arquitectura moderna, las diferentes almas de la modernidad, no solo las vanguardistas. Conscientes de que hoy ya no podemos permitir que se entienda el movimiento moderno como el principio y el fin de la arquitectura. Hoy la arquitectura moderna puede remitirse de nuevo a la memoria, para reflexionar nuevamente sobre la experiencia arquitectónica desarrollada a lo largo de todos los tiempos. Y aprender continuamente de ella.

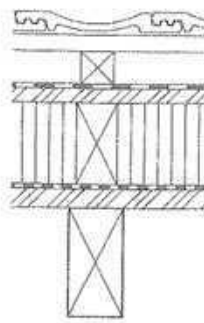
Extraído de: Colloiti, Francesco, *Architekturtheoretische Notizen*, Quart Verlag, Lucerna, 2001.

Cubierta inclinada

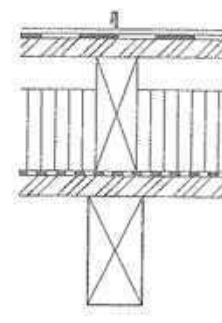
Función de las capas



- Cubrición de la cubierta (p. ej., teja cerámica)
- Capa portante de la cubrición de la cubierta
- Cámara de aire ventilada/rastreles
- Capa de impermeabilización (bajo cubierta)
- Cámara de aire ventilada
- Capa de aislamiento térmico
- Sistema constructivo portante
- Barrera de vapor/barrera contra el viento
- Cierre interior del espacio



- Cubrición de la cubierta (p. ej., teja cerámica)
- Capa portante de la cubrición de la cubierta
- Cámara de aire ventilada/rastreles
- Capa de impermeabilización (rieles bajo cubierta)
- Soporte de la capa de impermeabilización (tablero)
- Capa de aislamiento térmico
- Barrera de vapor/barrera contra el viento
- Capa portante de la barrera de vapor
- Sistema constructivo portante



- Cubrición de la cubierta/capa de impermeabilización (rieles de chapa)
- Capa de separación (p. ej., cartón embetunado)
- Capa portante de la cubrición de la cubierta (tablero)
- Cámara de aire ventilada/rastreles
- Capa de aislamiento térmico
- Sistema constructivo portante
- Barrera de vapor/barrera contra el viento
- Capa portante de la barrera de vapor (en este caso, placa como cierre del espacio interior)
- Sistema constructivo portante

Fig. 1: Cubierta inclinada con capas de impermeabilización (cubierta fría)

Fig. 2: Cubierta inclinada con capa de impermeabilización continua (cubierta caliente)

Fig. 3: Cubierta inclinada con capa de impermeabilización (cubierta fría)

Especificación de las capas

Función

Materiales, grosores

Cubrición de la cubierta

- Protección frente a los agentes atmosféricos (lluvia, granizo, nieve)
- Protección contra el fuego
- Capa reflectora (contra la radiación solar)
- Configuración de la superficie de cubierta (capa visible)

- Teja cerámica, teja de hormigón, pizarra, fibrocemento, chapa (de 2 a 40 mm)

Capa portante de la cubrición de la cubierta

- Rastreles o entablado de madera para fijación de la cubrición

- Rastreles 24/48 mm (sobre todo para todas las cubriciones de paves de pequeñas dimensiones), con una separación entre los rastreles de aproximadamente 15-30 cm, dependiendo de los elementos de cubrición
- Entablado de madera de 27 mm (sobre todo para cubriciones delgadas, planas)

Cámara de aire ventilada (entre rastreles)

- Ventilación por debajo de la cubrición
- Ventilación de los rastreles (mantenimiento de su secado)
- Evacuación del aire calentado en verano por la radiación solar (es especialmente problemático en cubriciones oscuras)

- Rastreles: Sección transversal del rastrel: 24/48, 48/48 o 60/60 mm. Separación entre rastreles, aproximadamente 60 cm

Capa impermeabilizante (bajo la cubierta, rieles bajo la cubierta)

- Protección contra la suciedad (polvo, hojín, ventisca, viento)
- Protección de las capas inferiores (aislamiento térmico)
- Evacuación del agua infiltrada por medio del revestimiento de escamas de la cubierta (retención)
- Protección provisional de la obra durante su proceso de construcción hasta colocar la cubrición definitiva)

- Cartón embetunado de 3 mm sobre un entablado de madera de 27 mm
- Lámina especial, permeable al vapor de agua, de 0,2 mm, sobre entablado de madera de 27 mm
- Paneles de fibrocemento de unos 4 mm, solapados
- Paneles de madera de 6 a 24 mm (tableros de fibra de madera resistentes al agua)

Cámara de aire ventilada (sólo en cubiertas frías)

- Ventilación de la humedad exterior por debajo de la capa de impermeabilización
- Evacuación del aire caliente y húmedo en invierno (para evitar la condensación)
- Evacuación del aire calentado en verano por la radiación solar

- Sección transversal mínima de 40 mm, o según cálculo

Capa de aislamiento térmico

- Protección o retraso del enfriamiento en invierno y del calentamiento en verano
- El aislamiento puede colocarse por debajo, por encima o entre el sistema constructivo (el problema son los encuentros estancos de los cables o pares)

- Esteras y paneles de lana mineral, paneles de espuma (PUR + PS)
- Grosor mínimo de 150 mm, o según cálculo

Sistema constructivo portante

- Soporte de las cargas propias y de uso (nieve, viento, etc.)

- Madera, acero, hormigón armado
- Grosor variable en función del cálculo estático

Barrera de vapor, barrera contra el viento

- Protección frente a una disminución incontrolada de la ventilación en la cámara de aire situada sobre la barrera y de la consiguiente condensación de agua
- Protección contra la difusión del aire caliente y húmedo en la construcción de cubierta
- Protección frente a la condensación del agua en las zonas frías

- Láminas de PE y PVC, papeles oleaginosos de aproximadamente 0,2 mm
- Láminas de PE y PVC, láminas de aluminio de aproximadamente 0,2 mm

Revestimiento interior

- Cierre interior del espacio, de la superficie situada debajo de la cubierta
- Protección frente a la condensación en las superficies (barrera frente a la humedad)
- Almacenamiento del calor interior (evita los cambios bruscos de la temperatura interior)

- Madera
- Yeso (paneles de cartón yeso)
- Derivados de la madera
- Revocos, enlucidos
- Tableros de viruta de madera reforzados con cemento
- Paneles

Cubierta plana

Función de las capas

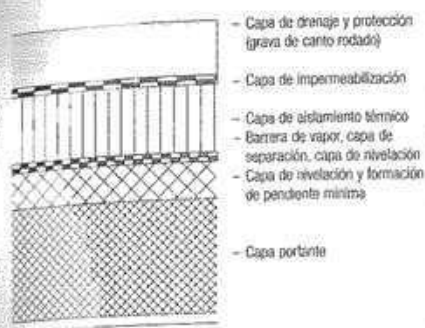


Fig. 4: Cubierta plana sin ventilación (cubierta cálida)
No transitable

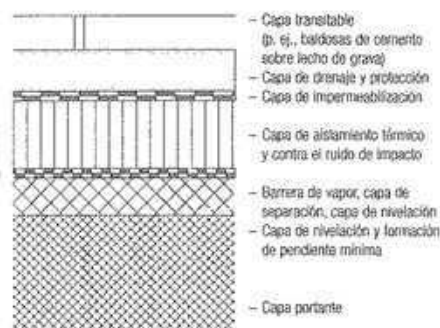


Fig. 5: Cubierta plana sin ventilación (cubierta caliente)
Transitable

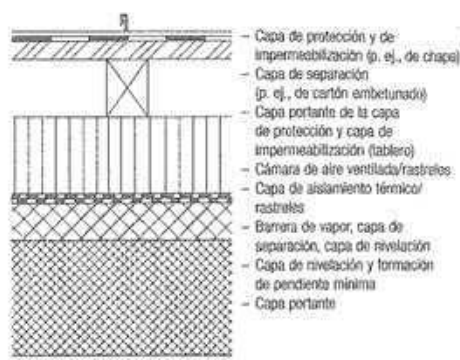


Fig. 6: Cubierta plana ventilada
(cubierta fría)
No transitable

Especificación de las capas

Capa transitable

- Pavimento para tráfico de personas, tráfico rodado
- Capa de sustrato vegetal intensiva o extensiva

Capa de protección y drenaje

- Protección de la capa de impermeabilización (en cubiertas invertidas, de la capa aislante), frente a lesiones mecánicas y radiaciones UVA, fijación de las capas situadas por debajo (contra la succión del viento)

La capa del pavimento y la de protección deben poder moverse lo más posible, independientemente la una de la otra (capas de separación)

Capa de separación

- Disposición en rieles sobre el impermeabilizante como primera protección ante la colocación de las capas transitable y de protección
- Protección ante lesiones mecánicas de la capa de impermeabilización (debidas a la grava)

Capa de impermeabilización: Barrera de agua, sellado

- Una o más capas para sellar el edificio e impedir la entrada del agua de lluvia, nieve, agua de deshielo

Cámara de aire ventilada (sólo en cubiertas frías)

Capa de aislamiento térmico

Capa compuesta por materiales aislantes con capacidad conductora del calor definida

Capa de aislamiento frente al ruido de impacto

Sólo es necesaria en construcciones transitables para peatones o vehículos.

Barrera de vapor

- Capa con permeabilidad definida frente al vapor de agua. Impide que se humedezca la capa de aislamiento térmico. Es innecesaria en cubiertas invertidas.
- Capa intermedia para la separación de materiales incompatibles

Capa de separación, capa de nivelación

- Capa intermedia que permite el movimiento independiente de las diferentes capas de la cubierta
- Capa que iguala desniveles y rugosidades del sistema constructivo que sirve de soporte

Capa de nivelación y formación de pendiente

- Capa que se forma para conseguir la pendiente necesaria sobre el sistema constructivo situado debajo de la cubierta (mín. 1,5 %)
- Puede prescindirse de esta capa cuando el sistema constructivo portante presenta ya una pendiente adecuada.

Materiales, grosores

- Cubierta transitable: baldosas de cemento, asfalto u hormigón sobre capa de drenaje de aproximadamente 6 a 20 cm
- Cubierta no transitable: grava de canto rodado (no de arena, por el posible crecimiento de plantas) de unos 6 cm
- Cultivo extensivo: capa filtro de 6 mm, con un sustrato de unos 8-15 cm y vegetación de unos 6 cm
- Cultivo intensivo: lámina de protección de 3 mm, almacenamiento de agua de 12 a 15 cm, capa filtro de 3 mm, tierra de cultivo, por ejemplo humus: de 7 a 20 cm, vegetación de 6 a 50 cm

Filtro

Los impermeabilizantes habituales en cubiertas cálidas son:

- Telas asfálticas, de tres capas, con dos imprimaciones intermedias y una de cubrición (grosor total mínimo de 7 mm), papel embetunado SNV 556, fieltro, yuta, fieltro de vidrio, lámina de aluminio
- Láminas de betún modificado con polímeros, de dos capas, soldadas o pegadas en caliente (grosor mínimo de 5 mm), norma suiza SA-281 (capa portante de yuta o fieltro de vidrio)
- Láminas de políster y plásticos, de una capa. Deben ser compatibles con los materiales adyacentes. De lo contrario, se debe colocar una capa de separación. Norma suiza SA-280: Samraft, Gonon, etc.

- Materiales de fibra mineral (resistencia limitada frente a la compresión superficial): Lana de vidrio, lana mineral
- Materiales porosos (alta resistencia frente a la compresión superficial): Vidrio celular (Foamglas), Vermiculit, Perlit (Fesco Board, Heraperm)
- Materiales orgánicos (alta resistencia frente a la compresión superficial): Poliestireno expandido o extruido, espuma de poliuretano, espuma de polietileno, espuma de PVC

- Materiales orgánicos (de alta resistencia frente a la compresión superficial): Corcho, fibra de madera, espuma de poliestireno expandido (2 a 4 cm)
- Materiales de fibra mineral (es necesario que su peso específico y su resistencia a compresión sean altos): paneles de lana de vidrio y de lana mineral (2 - 4 mm)

- Telas asfálticas: Imprimación de asfalto fundido 85/25, F 3, recubierta de talco, F 3 e imprimación, V 60 recubierta de talco, Alu 10 B
- Impermeabilizantes plásticos: lámina de aluminio recubierta por ambos caras; Samvap 1000, Gofli D 2,1; polietileno, butileno

- Diversos
- Papel oleaginoso, PE recubierto

Cubierta plana

Cubierta caliente, sistemas convencionales

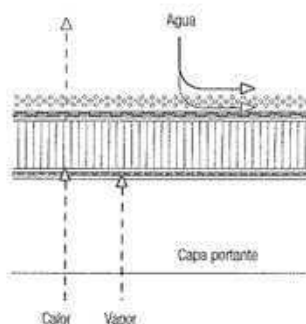


Fig. 7: Esquema de los parámetros físicoconstructivos.

Capa de protección
Capa de separación
Capa de impermeabilización
Capa de aislamiento térmico
Barrera de vapor
Capa de formación de pendientes

Capa portante

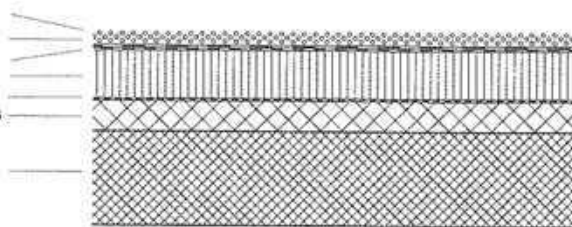


Fig. 8: Sección de cubierta caliente (plástico)

Capa de protección
Capa de separación
Capa de impermeabilización
Capa de aislamiento térmico
Barrera de vapor
Capa de formación de pendientes

Capa portante

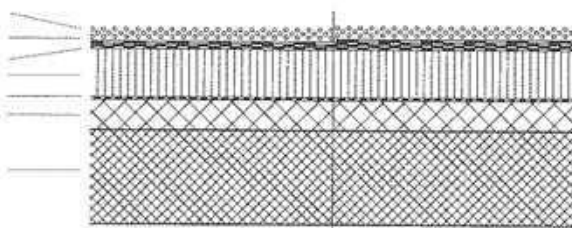


Fig. 9: Sección de cubierta caliente (bituminosa)

La cubierta caliente convencional tiene una única capa que contiene cada una de las diferentes funciones requeridas (capa portante, impermeabilizante, aislamiento térmico y, en cubiertas con tráfico rodado, también acústico). En una única capa de material pueden aunarse también distintas funciones, pero el impermeabilizante siempre se apoya sobre el aislamiento térmico. Al elegir el material es importante tener en cuenta la compatibilidad de los componentes y determinar los índices físicoconstructivos del sistema (que, como producto, debe basarse en combinaciones acreditadas). La envoltura de las cubiertas cálidas no presenta juntas. En la cara interior del aislamiento (lado caliente), sobre la capa portante, hay que colocar una barrera de vapor para evitar la condensación del agua. Ésta tiene que ofrecer una resistencia al vapor exigible a las construcciones de varias capas. Como protección para la capa de impermeabilización frente a las solicitaciones de carga y climáticas, son adecuados materiales como la grava, las baldosas, o una capa de firme o de vegetación. Generalmente, entre las capas de protección e impermeabilización se coloca una separación de, p. ej., fieltro. La pendiente (min. 1,5 %) puede realizarse en la capa portante, en una capa especial para formación de pendiente o en la capa de aislamiento térmico.

Cubierta caliente (plástico)

La capa de impermeabilización está formada por una única capa de plástico donde las juntas se solapan o se sueldan. Su estabilidad a la radiación UVA es por lo general limitada, por lo que debe protegerse con una capa adicional.

Como material aislante pueden utilizarse distintos productos resistentes a las pisadas. Hay que tener en cuenta la compatibilidad entre el material aislante y el impermeabilizante: el poliestireno, por ejemplo, debe separarse del plástico para evitar el reblandecimiento del mismo. En cubiertas transitables debe prestarse atención a la resistencia a compresión del aislamiento.

Cubierta caliente (bituminosa)

La capa de impermeabilización se compone por lo general de dos láminas de betún con polímeros, suelta la que se coloca encima del aislante y pegada en toda su superficie la capa (o las capas) dispuestas sobre ésta. En cubiertas de telas asfálticas sin materiales agregados, el estrato impermeabilizante debe ser al menos de tres capas.

Como capa aislante pueden utilizarse diferentes productos resistentes a las pisadas. En cubiertas transitables debe prestarse atención a la resistencia a compresión del aislante.

Cubierta plana

Cubierta caliente, sistemas especiales

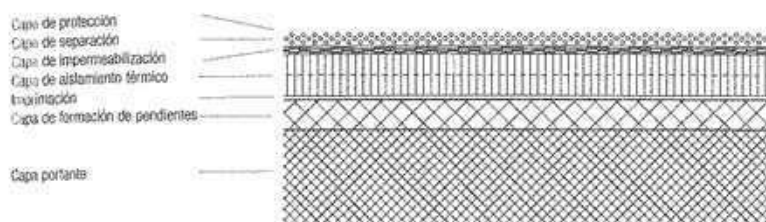


Fig. 10: Sección de una cubierta compacta

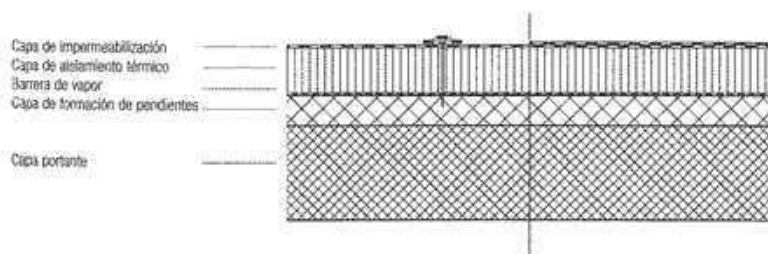


Fig. 11: Sección de una cubierta con membrana autoprottegida

De los sistemas convencionales de cubiertas calientes se derivan otros desarrollados a partir de éstos por motivos estéticos o por las características específicas de un producto, y basados en el mismo principio de capas de la cubierta plana convencional: la capa de impermeabilización no presenta juntas y se apoya sobre la capa de aislamiento térmico. La barrera de vapor, colocada en la cara interior del aislamiento, evita la condensación. También aquí la pendiente (mín. 1,5 %) puede resolverse en la capa portante, en la de formación de pendientes o en la de aislamiento térmico.

Cubierta compacta

La cubierta compacta se ha desarrollado a partir de un material específico, el vidrio celular, y funciona sólo con él. Todas las capas, excepto la de protección o la del pavimento exterior, son solidarias y están unidas a la capa portante, asumiendo conjuntamente las funciones de estanquidad al agua, al vapor y de aislamiento térmico.

El aislamiento de vidrio celular, estanco al vapor de agua, se pega sobre la capa portante con asfalto fundido, actuando al mismo tiempo como barrera de vapor. Las juntas a tope se sellan también con asfalto. Por encima del aislamiento se colocan dos capas de tela asfáltica pegadas en toda su superficie. Las capas de protección adecuadas a este tipo de cubiertas son las mismas que en las convencionales: grava, pavimento, firme o vegetación. La cubierta compacta constituye un sistema constructivo caro, pero cuando se utiliza sobre una estructura de hormigón in situ (lo más rígida posible) alcanza una elevada seguridad en lo que se refiere a la estanquidad al agua.

Cubierta con membrana autoprottegida

Las cubiertas con membrana autoprottegida constituyen un sistema de cubiertas planas sin capa de protección o transitable. Debido a esta carencia, la capa de revestimiento, expuesta al aire libre, debe ser resistente a distintas influencias exteriores.

La composición de la capa de impermeabilización puede ser tanto de un material bituminoso como plástico (el número de capas es equivalente al de la cubierta cálida convencional). Debe concretarse con cada fabricante si el material a emplear es resistente a la radiación UVA. Además, éste no puede ser combustible. Al prescindir de la capa de protección (y también de su peso), el impermeabilizante está expuesto a la acción del viento. Todas las capas tienen que ser solidarias (deben estar pegadas o unidas mecánicamente). Las sujeciones mecánicas deben protegerse. Los encuentros y remates han de asegurarse especialmente (contra la succión del viento). Además, este sistema de cubiertas no es transitable, requiere licencia oficial y una inspección para comprobar que cumple la normativa antincendios. Asimismo, debe controlarse periódicamente su estanquidad.

Cubierta plana

Cubierta invertida

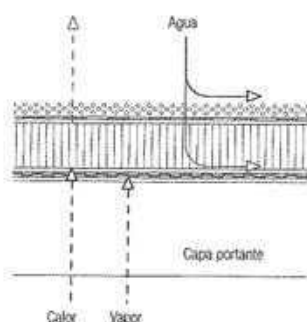


Fig. 12: Esquema de parámetros físicoconstructivos

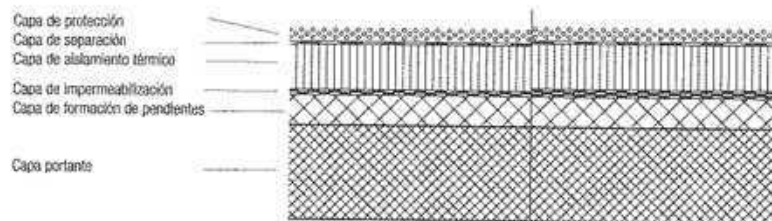


Fig. 13: Sección de una cubierta invertida

Cubierta invertida

La cubierta invertida es un sistema de cubierta plana no ventilada, con todas las capas necesarias para las funciones que debe satisfacer una cubierta, aunque se encuentran dispuestas en una sucesión distinta a las de la cubierta caliente convencional.

La capa de aislamiento térmico descansa sobre la capa de impermeabilización, por lo que el material empleado debe ser resistente al agua (poliestireno extruido), así como estar provista en toda su extensión de entalladuras escalonadas. Ya que se asienta "sobre el agua", debe sobredimensionarse un 20 % más con respecto al índice K exigible.

Un fieltro de separación (capa de separación) sobre el aislante impide la penetración de la grava en las juntas del aislamiento térmico. Con un fieltro especial de separación, que permite la evacuación de la mayor parte del agua, puede reducirse el sobredimensionado del 20 al 3 %.

La capa de impermeabilización sin juntas puede estar compuesta tanto de betún como de plástico, y se coloca bajo la capa aislante, directamente sobre la capa portante. El número de estratos es idéntico al de las cubiertas calientes. La capa de impermeabilización actúa también como barrera de vapor y, al colocarse bajo el aislamiento, está perfectamente protegida de posibles lesiones.

En las cubiertas invertidas es necesario disponer de una capa de protección. Además de sujetar con su peso a la capa aislante, la grava evita que flote o sufra daños. También aquí la pendiente (mín 1,5 %) puede resolverse en la capa portante, en una capa especial para formación de pendiente o en la de aislamiento térmico.

Cubierta plana

Cubierta fría



Fig. 14: Esquema de parámetros fisicoconstructivos

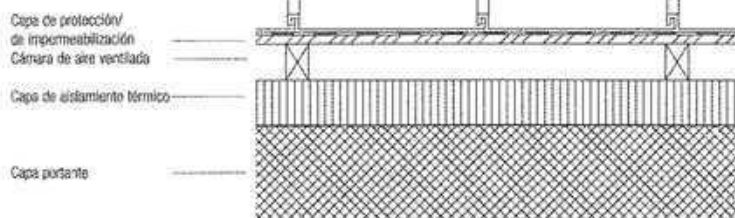


Fig. 15: Sección de una cubierta fría

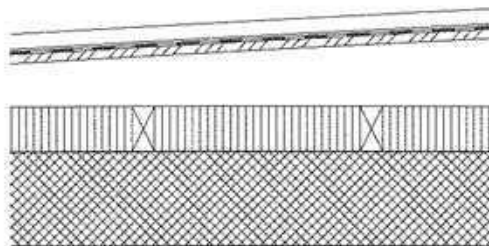


Fig. 16: Sección de una cubierta fría

Cubierta fría

La cubierta fría se compone de dos capas: una inferior que cierra el espacio y aísla térmicamente, con sellado independiente contra el viento, y otra superior como protección frente a las inclemencias meteorológicas (dimensionada para las sobrecargas de viento, nieve y uso). Entre ambas se encuentra una cámara de aire ventilada, dimensionada según las necesidades fisicoconstructivas, con sus correspondientes aberturas para la entrada y salida del aire. El grosor de la cámara de aire debe ser de al menos $1/150$ de la superficie de la cubierta, con una altura mínima de 10 cm. La suma de las superficies de todos los orificios de entrada o salida de aire, debe ser al menos la mitad de la sección transversal exigible a la cámara de ventilación. Gracias a la corriente de aire creada en esta cámara, se compensan las diferencias de presión entre el aire exterior y el interior en invierno, mientras que el calentamiento producido por la radiación solar en verano se evacua por convección. Un ejemplo especial de cubierta ventilada utilizada en Suiza es el denominado tejado de Davos, que tiene una cámara de ventilación configurada como un espacio lo suficientemente amplio como para permitir controlar la capa de impermeabilización desde el interior.

La capa aislante descansa sobre la portante y tiene que estar compuesta por un material difusor del vapor de agua (lana de roca o de vidrio). La ventilación por encima del aislamiento hace innecesaria la colocación de una barrera de vapor en la cara interior del aislamiento. No obstante, cuando la estructura portante es muy difusora (construcciones de madera o de acero), actúa también como capa de sellado para evitar la penetración del viento. El impermeabilizante no debe permitir el paso del vapor de agua, puesto que se encuentra por encima de la cámara de aire ventilada, pero necesita su propia capa portante (construcción de dos estratos). Para la capa de protección sobre la de impermeabilización son apropiados materiales como la grava o la chapa, con una pendiente mínima en cubiertas con chapa de grapa doble del 3 %. La pendiente de las cubiertas frías suele resolverse en la zona de la cámara de aire (capa portante de la capa de impermeabilización). La superficie límite inclinada favorece las corrientes de aire en la cámara de ventilación.

Cubierta inclinada

La cubierta con varias pendientes

La forma cristalina de la casa Böhler (1918) de Heinrich Tessenow armoniza de un modo natural con el paisaje montañoso. El volumen se ancla en la pendiente como una roca, de modo que la forma irregular de su tejado subraya su carácter amorfo. La dinámica silueta de los faldones de pizarra de la cubierta parece reproducir la línea horizontal de la montaña. Análogamente a la configuración de las fachadas, determinada por huecos de ventana convencionales y cuya organización en todo caso se sustrae a la tradición, la forma del tejado oscila también entre el gesto expresivo y la tradición artesana. La transición con el muro no es abstracta, sino que muestra el clásico vuelo que protege la fachada de la lluvia y de la nieve derretida.



Fig. 17: Heinrich Tessenow: casa Böhler, San Moritz, Suiza, 1918 (destruida en 1989)

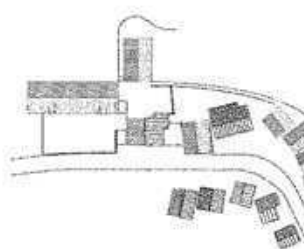


Fig. 18: Plano de situación
Conradin Clavuiot: escuela de St. Peter, Suiza, 1997

La cubierta inclinada como elemento geométrico

Integrados en un complejo dispuesto en forma de L, los dos grandes volúmenes diferenciados de exposición sobresalen dentro de este conjunto situado en el borde sureste de un parque. Ambos pabellones, de una y dos plantas de altura, se muestran como volúmenes constructivos sencillos y ortogonales. Dentro de ellos, tres salas de exposiciones, una con luz lateral y dos con luz cenital, constituyen su uso principal. Sobre el volumen de ladrillo rectangular descansa un volumen de cubierta prismático, totalmente acristalado, cuya configuración arquitectónica acentúa el deseo de reducción formal. El mínimo vuelo del tejado en cada una de las caras genera una leve sombra sobre los muros inferiores, reforzando con ello la autonomía del prisma superior. Las cubiertas acristaladas iluminan cenitalmente a las salas situadas debajo, a través de una tela que protege del polvo.

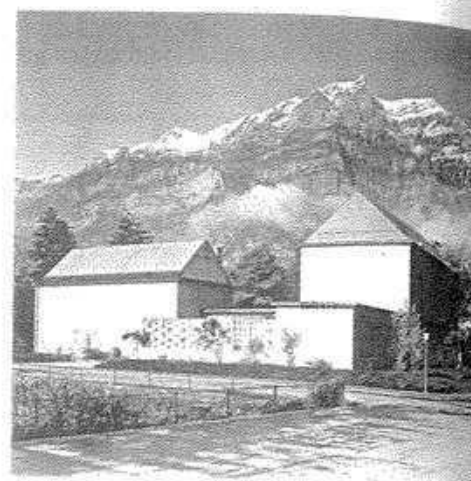


Fig. 19: Hans Leuzinger: Kunsthaus Glarus, Suiza, 1952

El tejado integrado a dos aguas

Los nuevos edificios de la escuela de St. Peter no se integran de manera espectacular en la imagen del lugar. Complementan, en efecto, la composición arquitectónica de un emplazamiento caracterizado por la posición funcional de los edificios y de una fuerte materialidad determinada por el carácter de la construcción. A pesar de ello, los tejados a dos aguas, dispuestos sobre las fachadas de madera ensamblada, adquieren cierta autonomía gracias al empleo de diferencias sutiles. Sus faldones están algo menos inclinados que los de las casas vecinas y, además, están revestidos con chapa. Los cabios se sustituyen en el alero por tableros, lo que constituye una solución sutil. El ligero alero se forma por medio de un canalón que discurre como remate a lo largo de los distintos edificios, permitiendo, como una gárgola, que el agua de lluvia chapotee directamente en forma de un visible y delgado chorro de agua sobre un canalillo de evacuación.

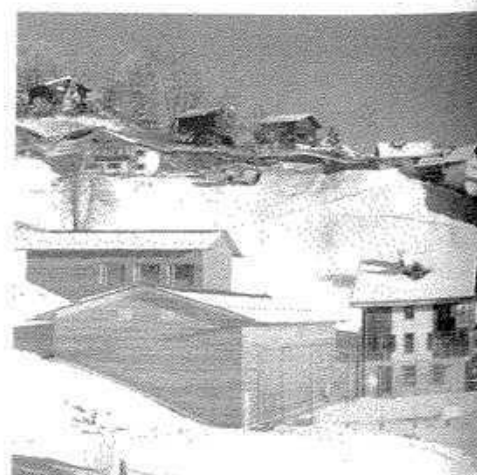


Fig. 20: Conradin Clavuiot: escuela de St. Peter, Suiza, 1997

Cubierta plana



Fig. 21: Adalberto Libera: casa Malaparte, Capri, Italia, 1941

La cubierta plana transitable

Por su configuración y su color rojo, el volumen colocado sobre la cresta de un acantilado de la casa Malaparte, de Adalberto Libera, forma una elevación artificial de la topografía. Una escalera exterior que se ensancha a la vez que lo hace el edificio, conecta el paisaje construido con el natural. La cubierta plana se entiende como una plataforma y proporciona una vista panorámica sobre el mar y sobre la accidentada costa de la isla de Capri. El carácter expuesto del lugar se refuerza por la ausencia de barandillas o antepechos. El pavimento de la cubierta plana es del mismo color que el de las fachadas, lo que acentúa la expresión monolítica del edificio. Un elegante paraviento curvo, de hormigón pintado de blanco, define un solarío como único ámbito delimitado de la terraza.



Fig. 22: Adalberto Libera: casa Malaparte, Capri, Italia, 1941

La cubierta ajardinada

La villa Savoye se levanta sobre *pilotis* en el claro de un bosque cercano a París. El retranqueo de la fachada en planta baja permite que adquieran relevancia tanto la primera planta como los elementos esculturales colocados en la cubierta. A diferencia de la planta principal, que se abre al exterior mediante una ventana apaisada continua que recorre todas las caras del edificio, la cubierta ajardinada está claramente delimitada por paredes modeladas y proporciona sólo vistas parciales. Como consecuencia, se genera un sugestivo e introvertido espacio interior orientado hacia el cielo. Al contrario que la terraza de la casa Malaparte, la terraza protegida de la villa Savoye se convierte en una prolongación del espacio de la vivienda en verano. Uno de los "Cinco puntos para una nueva arquitectura" preconizados por Le Corbusier consiste en la cubierta ajardinada como superficie que sustituye a la del suelo ocupada por el edificio.

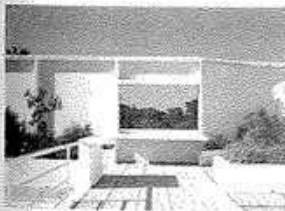


Fig. 23: Le Corbusier: villa Savoye, Poissy, Francia, 1929

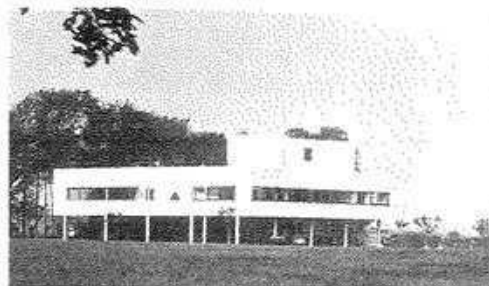


Fig. 24: Le Corbusier: villa Savoye, Poissy, Francia, 1929

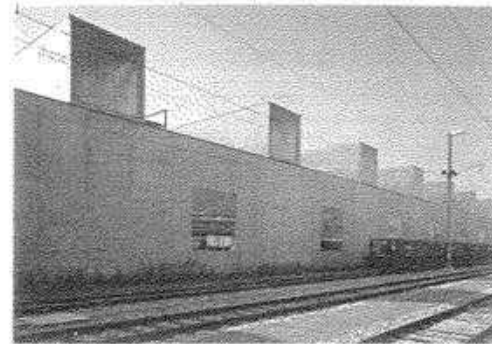


Fig. 25: Herzog & de Meuron: depósito de locomotoras "auf dem Wolf", Basilea, Suiza, 1995

La cubierta plana conformada como volúmenes

Las cuatro naves paralelas del depósito de locomotoras "auf dem Wolf", en Basilea, se separan entre sí por medio de paredes de hormigón in situ. El espacio situado entre las placas de hormigón se cubre con cerchas alojadas en volúmenes que se aprecian exteriormente. Gracias a su revestimiento con vidrio Profilit, funcionan a la vez como lucernarios que permiten una buena iluminación de las naves, a pesar de la gran profundidad del espacio interior en alguna de sus partes. Desde el punto de vista arquitectónico, el ritmo de los volúmenes traslúcidos puede interpretarse como una sucesión regular de las traviesas, mientras que las paredes longitudinales asumirían, en una especie de inversión, el papel de los raíles.

La cubierta como forma autónoma de grandes dimensiones

La vista de la Neue Nationalgalerie de Berlín desde la Potsdamer Strasse es la de un objeto elevado sobre el terreno que se reduce, prácticamente, a dos elementos arquitectónicos: el primero es la plataforma compuesta de vigas de acero que se apoya sobre ocho pilares metálicos y cubre como una losa suspendida el vestíbulo y la zona de exposición situados en la planta baja; y el segundo, apenas perceptible, es el frente de vidrio que recorre y envuelve todo el edificio. La cubierta, con una luz de 42 m y grandes voladizos, está formada por un entramado de vigas en H de 1,8 m de altura y que pesan un total de 1.250 t.



Fig. 26: Ludwig Mies van der Rohe: Neue Nationalgalerie, Berlín, Alemania, 1967

La cubierta como estructura plegada



Fig. 27: Giger & Guyer: ampliación del Kunstmuseum de Winterthur, Suiza, 1995

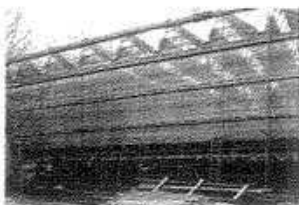


Fig. 28: Fase de construcción
Giger & Guyer: ampliación del Kunstmuseum de Winterthur, Suiza, 1995

La cubierta en diente de sierra como capa que capta la luz

Los museos en Appenzell y Winterthur, obra de Giger & Guyer, muestran de manera ejemplar dos métodos diferentes en el tratamiento básico de las cubiertas en dientes de sierra.

La ampliación del Kunstmuseum de Winterthur se subdivide en tres capas horizontales. La planta baja, ventilada y desprovista de calefacción, alberga un aparcamiento. Por encima, en la auténtica planta principal, se encuentran los espacios de exposición con una serie de lucernarios en diente de sierra para su iluminación. Esta superposición de las funciones por capas se refleja en la división tripartita de la fachada, si bien el peso principal recae en la planta destinada a exposiciones, que queda casi enmarcada por la del aparcamiento y por la hilera de los volúmenes de la cubierta en dientes de sierra. El ritmo de los dientes coincide con el de la retícula de la estructura de acero (cada tres, cuatro o cinco dientes albergan un ámbito expositivo). En contraposición a la fachada, el interior carece de juntas y se disimula la separación por capas entre el ámbito de exposiciones y el de iluminación. El espacio interior tiene una altura efectiva que incluye el ocupado por los volúmenes que configuran los dientes de sierra. Gracias a la exacta orientación a norte de éstos, se evita la incidencia directa de la radiación solar.

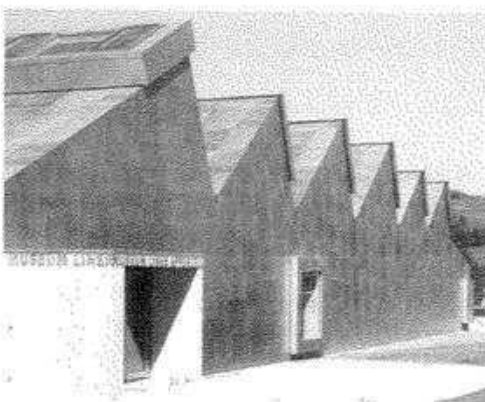


Fig. 29: Giger & Guyer: Museum Liner, Appenzell, Suiza, 1998

La cubierta en dientes de sierra como elemento escultural

En el Museum Liner, el tema de la cubierta en dientes de sierra persigue un objetivo totalmente distinto. La sección dentada de la cubierta configura una forma expresiva que, de cerca, confiere al museo el carácter de un objeto abstracto. Cuando se divisa desde alguna de las colinas cercanas, los dientes en sierra de la cubierta se fusionan con los edificios industriales cercanos. Cada diente se corresponde con una sala de exposiciones, por lo que la silueta del espacio interior recuerda la forma de los hastiales asimétricos. El ritmo de los espacios (y el de los dientes) se estrecha hacia el norte. Aunque la pendiente



Fig. 30: Vista desde el lado de la montaña
Bearth & Deplazes: telesilla de Carmenna, Arosa, Suiza, 2000

de las cubiertas en dientes de sierra es la misma, sus alturas varían. Este hecho (unido a la configuración de los límites del edificio y su revestimiento homogéneo) favorece el extrañamiento del tema de la cubierta en dientes de sierra en su expresión exterior. La estructura se reviste enteramente de chapa de acero inoxidable con acabado al chorro de arena, constituyendo una piel escamosa que recubre todo el edificio y no establece diferencia alguna entre paredes y cubiertas. Esta solución es la que otorga al volumen su carácter corpóreo.

La cubierta como estructura plegada irregular

El telesilla Carmenna conduce desde la estación del valle, situada por encima de Inner-Arosa, en las proximidades de la iglesia de montaña tardogótica que se encuentra allí, vía un intercambiador, hasta el flanco del Weissstorn.

Debido a la normativa para la protección del paisaje, el relativamente gran volumen de la estación inferior se ha insertado en la pendiente de la montaña. Una delgada capa de tierra descansa como una alfombra sobre los varios pliegues en forma de tienda de la piel de la cubierta, produciendo una unión sin suturas con el terreno. No obstante, los agudos de cantos la cubierta (cuya estructura portante está formada por un ligero entramado metálico) delatan la continuidad artificial de esta prolongación del terreno. En invierno, por el contrario, la adecuada escala dimensional de la cubierta con respecto a la topografía y el manto de nieve que lo cubre todo, conducen a la fusión completa entre naturaleza y arquitectura.

Sobre el lado del valle se muestra otra imagen: la fachada de acceso, muy articulada desde el punto de vista compositivo, es visible en toda su extensión y produce la impresión de ser una sección atravesada por un paisaje modelado de nuevo. Tras la superficie de las fachadas semitransparentes, formadas enteramente de Scobalit, se señala esquemáticamente el interior. La parte izquierda sirve para el aparcamiento nocturno de las cabinas. En el lado derecho tiene lugar la expedición de los deportistas en su trayecto hacia la estación alpina. Esta zona, en la que se encuentra la propia estación del funicular, está configurada como un túnel pintado de un estridente color naranja.



Fig. 31: Bearth & Deplazes: telesilla de Carmenna, Arosa, Suiza, 2000

Cubiertas en bóveda de cañón y laminas

La cubierta en bóveda de cañón

Los volúmenes divididos simétricamente en tres partes en planta del Kimbell Art Museum de Louis I Kahn, están marcados rítmicamente por las cubiertas en bóveda de cañón que discurren en perpendicular a su eje de simetría. El carácter del edificio está muy determinado, tanto interior como exteriormente, por la forma de las cubiertas. Las láminas abovedadas de sección cicloide salvan unas luces de 30,5 m en sentido longitudinal y de 6,7 m en sentido transversal, y descansan sobre cuatro pilares cuadrados colocados en sus extremos. Todos los segmentos tienen las mismas dimensiones y hacen posible, mediante su disposición en hilera, espacios muy amplios, libres de pilares, subdivididos por paredes no portantes que pueden colocarse de forma variable. La forma de las cubiertas genera asimismo una iluminación natural extraordinaria. Las bóvedas están provistas en toda su longitud de una hendidura en la clave que deja penetrar la luz cenital. Puesto que la luz directa no es adecuada para la presentación de obras de arte, los rayos de luz se desvían mediante un reflector montado bajo la hendidura e iluminan la superficie interior de las bóvedas. Entre el revestimiento no portante de travertino del hastial y el canto reforzado del borde de las bóvedas se encuentra una hendidura acristalada de ancho variable, donde se hace legible la geometría de la sección.



Fig. 32: Louis I. Kahn: Kimbell Art Museum, Fort Worth (Texas), Estados Unidos, 1972

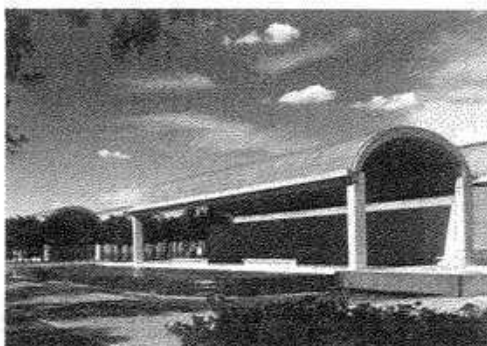


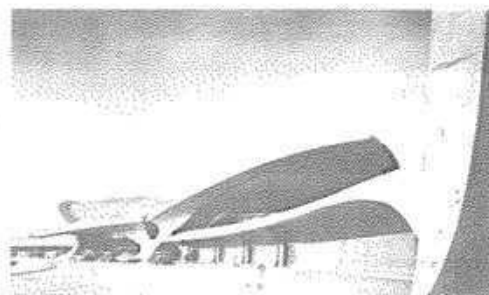
Fig. 33: Louis I. Kahn: Kimbell Art Museum, Fort Worth (Texas), Estados Unidos, 1972

La cubierta laminar aditiva

La ópera de Sídney de Jørn Utzon se encuentra en un prominente lugar sobre una península del puerto de la ciudad. El arquitecto desarrolló su proyecto aprovechando esta posición especial. Tres grupos de caparzones prendidos entre sí, que contienen una sala de conciertos, la ópera y un restaurante, se elevan sobre un zócalo aparentemente macizo y monolítico. El contraste entre la base pesada, ligada al terreno, y las ligeras y elegantes láminas acentúa la separación funcional entre los espacios de servicio que se alojan en el zócalo y los *foyers* y auditorios situados necesariamente por encima. Al mismo tiempo, el zócalo conforma una topografía artificial para un graderío, análogo al de los antiguos teatros griegos.



Fig. 34: Jørn Utzon: ópera de Sídney, Australia, 1973



Figs. 35 y 36: Eero Saarinen: terminal de la TWA, Nueva York, Estados Unidos, 1958

La cubierta laminar expresiva

A diferencia de los grandes módulos laminares de distinto tamaño, cuya adición configura la ópera de Sídney, la expresiva forma de la cubierta de la terminal de la TWA en Nueva York se configura con un único elemento simétrico de grandes dimensiones. Aunque para Eero Saarinen el carácter escultórico fue clave en el proceso del proyecto (los planos del sistema constructivo se realizaron una vez establecida la forma definitiva), el edificio se aprovecha de las posibilidades estructurales de la lámina tridimensional que transmite todo el peso de la cubierta únicamente a cuatro pilares colosales. Su configuración dinámica, que apuró al máximo las posibilidades límite del encofrado para el hormigón armado, recrea la estética de los antiguos aviones de hélice.

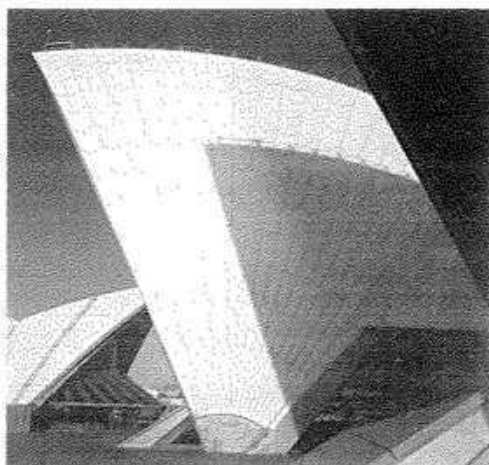


Fig. 37: Jørn Utzon: ópera de Sídney, Australia, 1973

Criterios e interdependencias

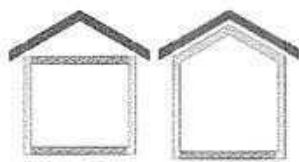


Fig. 38: Cubierta fría
Cubierta inclinada
Espacio frío bajo
la cubierta
(puro de cemento)



Fig. 39: Cubierta fría
Cubierta inclinada
Doblemente ventilada

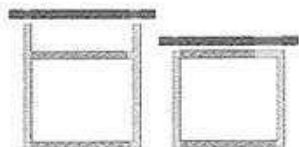


Fig. 40: Cubierta fría
Cubierta plana
Espacio bajo la cubierta
transitable



Fig. 41: Cubierta fría
Cubierta plana
Sistema constructivo con
cámara de aire

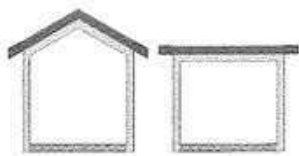


Fig. 42: Cubierta
caliente
Cubierta inclinada
Con aireación sencilla

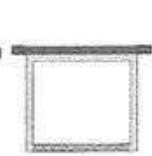


Fig. 43: Cubierta
caliente
Cubierta plana
Sin cámara de aire

Principio de las dos capas

Dejando aparte la función de protección básica que tiene la cubierta para la morada humana, su tarea principal es asegurar la estanquidad al agua. Agentes exteriores (sol, lluvia, viento), e interiores (presión del vapor de agua, con el problema consiguiente de la difusión del vapor) provocan exigencias adicionales muy importantes. Para satisfacerlas, es necesaria una composición de cubierta con varias capas, donde el principio de las dos capas debe responder a las condiciones dadas en lo que se refiere a la forma de la cubierta, el sistema constructivo y la superficie de cierre.

Cubierta fría

En las cubiertas frías, la separación entre la capa de impermeabilización y la de aislamiento térmico es tal que, entre medias, se forma una cámara de aire ventilada. Gracias a ella, el vapor de agua puede disiparse a través de la capa aislante.

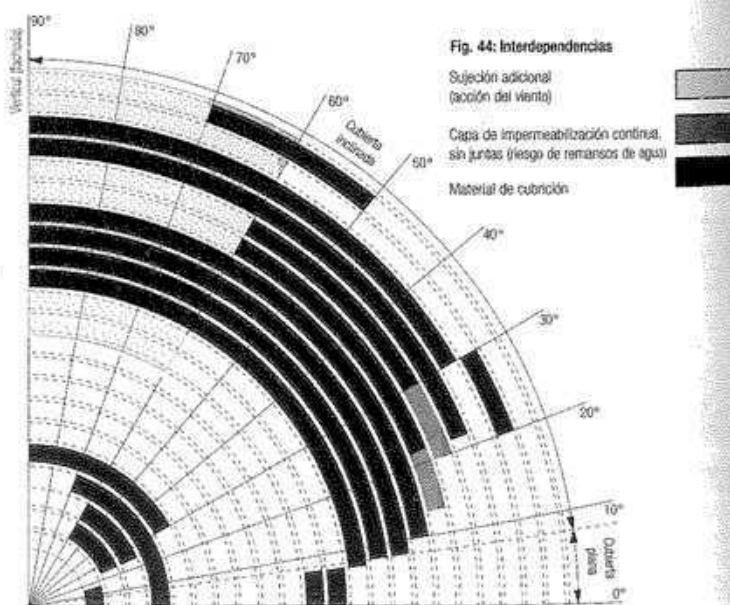
Una cubierta fría inclinada se entiende también como cubierta doblemente ventilada, ya que, además de la cámara de aire entre la cubrición y la capa de impermeabilización, se necesita otra segunda entre la de impermeabilización y la de aislamiento térmico. Esta última es inherente al concepto de cubierta fría (véase el documento "Cubierta inclinada").

Cubierta caliente

En las cubiertas calientes se coloca una capa de impermeabilización directamente sobre la de aislamiento térmico (cubierta plana) o una capa que impida la difusión como, por ejemplo, en la cubierta inclinada. Si el vapor de agua por difusión atraviesa la capa aislante, se condensaría en la cara exterior no ventilada del aislante y lo humedecería. Una barrera de vapor colocada en la cara interior del aislamiento impide la penetración del aire caliente, saturado de vapor, en el material, evitando así la condensación perjudicial.

Caría
Placas planas
Paja, junco
Placas de piedra sin
sujeción
Ripias de madera
Fibrocemento
Cerámicas, de hormigón
Cerámicas, de hormigón
Vidrio
Fibrocemento
Metal
Metal (juntas de pliegado)
Bituminosas
Plásticas

Cubiertas de madera
Cubierta de cables
Par e hilera
Par y picadero
Cerchas o cuchillos
Cubierta de hormigón
in situ



Interdependencias entre la pendiente de la cubierta y el material de cubrición

La inclinación de la cubierta depende del material de cubrición, de su forma, de su fijación y del tipo de solape. Una cubierta plana debe mostrar una piel exterior impermeable

y sin juntas, mientras que el gran número de juntas de una cubrición realizada con piezas pequeñas condiciona el uso de un tejado inclinado. Cuanto más impermeable sea el elemento de cubrición y sus uniones, más plana puede ser la cubierta.

Cubierta plana – cubierta inclinada

Repercusión en la envolvente del edificio

1. Lluvia

Cubierta plana

La impermeabilización, que también recoge las aguas, debe presentar una pendiente mínima que oscila entre el 1,5 (cubierta invertida) y el 3 %. Por lo general, la capa de impermeabilización es la superior o aquella colocada inmediatamente debajo de la protección o transitable. La cubierta invertida, donde la capa de impermeabilización discurre por debajo de la capa aislante, es una excepción. En este caso debe tenerse muy en cuenta que el aislamiento empleado sea resistente a la humedad por todos los distintos sistemas constructivos.

Evacuación del agua: el agua de lluvia se canaliza desde el punto más bajo de la cubierta a una bajante o al suelo, ya sea por el interior o por el exterior, al terreno o a un sistema de alcantarillado. Un canalón perimetral colocado en el borde del tejado impide que el agua se escurra por la fachada en el caso de precipitaciones intensas. El canalón debe sobresalir al menos 12 cm desde la capa de protección, o del pavimento de la cubierta, sobre la parte expuesta más alta del edificio (por ejemplo, un perfil de chapa cantado en su parte superior), y ser absolutamente estanco, según la norma suiza SIA 271).

Cubierta inclinada

A diferencia de la cubierta plana, en la inclinada la capa que recoge el agua debe ser resistente a la lluvia, pero no estanca al agua (por ejemplo, un tejado de paja). La evacuación del agua tiene lugar forzosamente a través de la capa superior, construida con chapa, tejas, Element, piedra, vidrio, etc. Según el tipo de material, también varía el grado de inclinación. La inclinación tiene que ser suficiente para que el agua fluya sin estancarse. La capa situada debajo de la cubrición y de la cámara de aire funciona aquí como un tejado de emergencia en el caso de que se dañe la cubrición o de intensas precipitaciones.

Evacuación del agua: el canalón está montado necesariamente en el borde del faldón. Puede quedar visto (baldíos «caviones») o estar integrado en el alero de la cubierta (evacuación interior).

Generalidades

Las juntas con aleros protegen el encuentro entre la fachada y la cubierta de la lluvia. Las juntas entre ambos elementos están sometidas a esfuerzos extremos (por la presión del agua filtrada). Los remolinos de aire que se forman bajo el alero generan una corriente en dirección contraria que reduce el peligro de la penetración del agua. Las dimensiones de los canalones y el número de bajantes deben calcularse en función de la superficie de cubierta y de la cantidad de lluvia prevista en el lugar.

2. Sol

Cubierta plana

Algunos impermeabilizantes son sensibles a la radiación UV (por ejemplo, las telas asfálticas), por lo que deben protegerse y cubrirse con grava o materiales semejantes.

Generalidades

En tejados con sistemas constructivos ligeros, la cámara de aire ventilada evita los cambios bruscos de temperatura en el interior (por la acumulación de calor bajo el tejado). En tejados con sistemas constructivos masivos, es la masa de la capa portante la que absorbe el calor.

3. Viento

Cubierta plana

La succión del viento constituye un problema en las cubiertas con membranas autoprotegidas (ya que apenas tienen un peso, una lámina o grava que las fije). Las placas tienen que sujetarse puntualmente a la capa portante. Los rebordes perimetrales en el alero, reducen la succión que ejerce el viento sobre grandes superficies. La capa exterior de protección tiene también la función de sujetar con su peso las capas inferiores (por ejemplo, grava, placas o losas de hormigón).

Cubierta inclinada

En tejados cuyo material de cubrición está compuesto por piezas pequeñas hay que prestar atención a la succión del viento, en función de la pendiente de los faldones y del peso del material. Las cubiertas de ripias y de paja se sujetan siempre. Gracias a su peso propio, las tejas pueden por lo general colocarse tan cual, sólo a partir de una pendiente superior al 60 % deben fijarse siempre mecánicamente.

Generalidades

En tejados con sistemas constructivos ligeros debe asegurarse especialmente la estanqueidad al viento.

4. Temperatura

Generalidades

La resistencia al calor, y con ello el grosor mínimo de los diferentes sistemas constructivos, se estipula según normas. En Suiza, por las condiciones climáticas extremas, es necesario siempre el uso de un aislante térmico en espacios habitables. Tanto el tipo de aislamiento como el lugar que ocupa dentro de la construcción de la cubierta dependen del sistema elegido.

5. Difusión del vapor del interior al exterior

Generalidades

Debido a la difusión del vapor de agua del interior al exterior, debe evitarse que se humedezcan los materiales, en especial los del aislamiento, pues la humedad reduce las propiedades de aislamiento de muchos de ellos. Medidas para evitarlo son: la utilización de una capa portante de hormigón (retanco al vapor), de una barrera de vapor colocada en la cara interior del aislamiento o de materiales estables aislantes de la humedad.

6. Nieve

Cubierta plana

Un reborde perimetral en el alero de un mínimo de 12 cm impide la penetración de la nieve en el remate de la cubierta y permite recoger el agua de deshielo.

Cubierta inclinada

Para impedir un brusco desprendimiento de la nieve deben instalarse barreras sobre los faldones.

Generalidades

En función de la pendiente de la cubierta y de la altitud en que está situado el edificio, el sistema constructivo portante debe calcularse teniendo en cuenta la carga de nieve.

7. Lesiones mecánicas

Cubierta plana

Las cubiertas con membranas autoprotegidas son especialmente vulnerables frente a lesiones mecánicas, en ocasiones también frente al granizo. En cubiertas calientes bituminosas hay que evitar que la grava de canto rodado contenga arena, puesto que ésta favorece la proliferación de plantas y las pequeñas raíces pueden perforar la capa de impermeabilización. En cubiertas invertidas transilables, el aislamiento térmico es especialmente sensible a cargas puntuales.

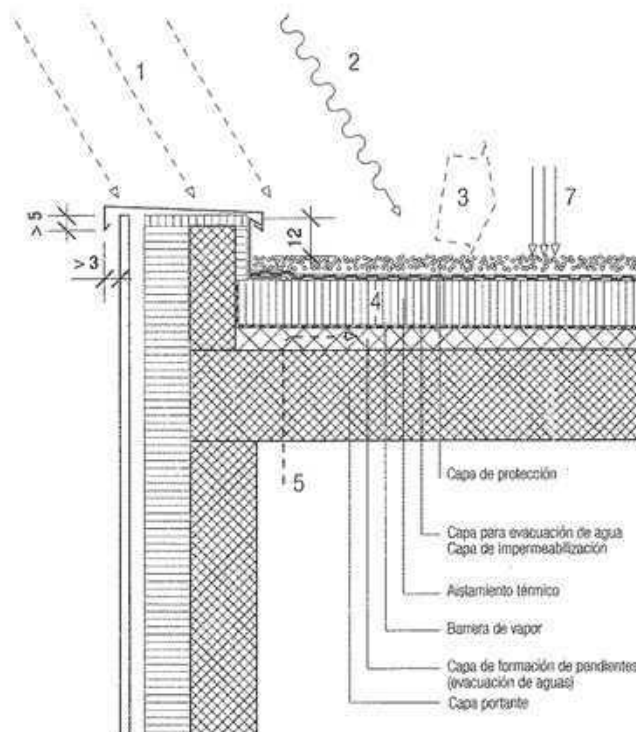


Fig. 45: Cubierta plana caliente E 1:20

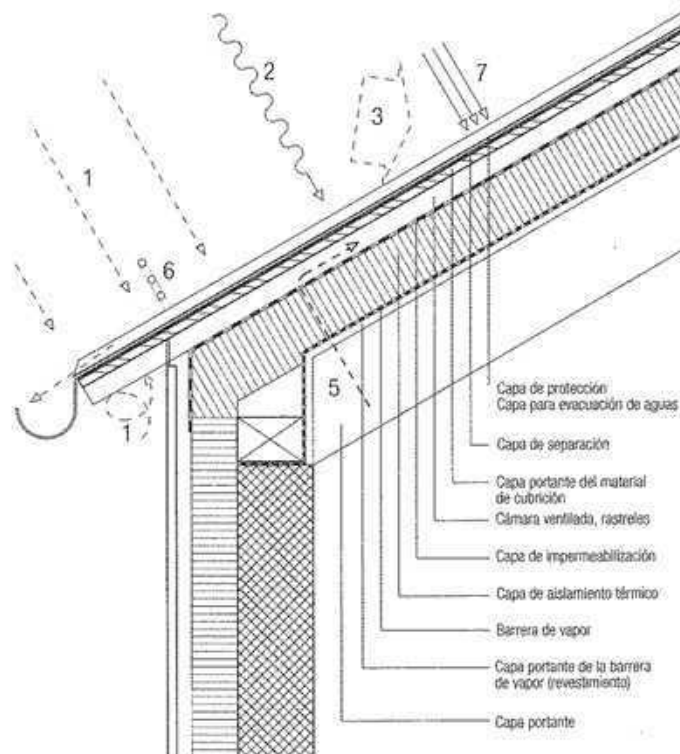


Fig. 46: Cubierta ventilada de chapa E 1:20

Reflexiones

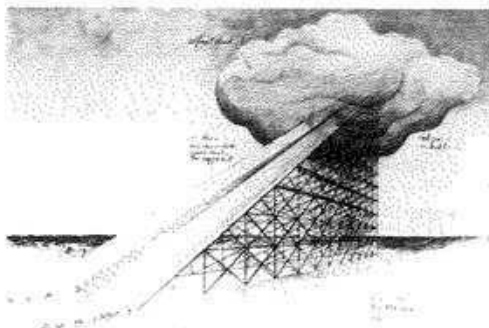
Daniel Gut

Fig. 1: Giovanni Battista Piranesi: *Carceri*, lámina VIII, segunda edición, 1761

La escalera como multiplicador de planos horizontales

El espacio para el movimiento del hombre se limita prácticamente a las dos dimensiones, pues la fuerza de la gravedad nos fija al suelo. El espacio que se encuentra sobre nosotros no nos resulta físicamente accesible. En consecuencia, nuestro espacio perceptivo se orienta también en un sentido horizontal. Desde hace miles de años, la arquitectura ha ordenado horizontalmente las distintas funciones que debe satisfacer. En consecuencia, la escalera supone una de las ideas más ingeniosas y decisivas surgidas en la historia de la arquitectura, pues permite conectar verticalmente, de una manera cómoda, planos situados a diferente nivel, haciendo que sean accesibles, a pesar de sus diferencias de altura, gracias a pequeños escalones transitables.

Cada escalera permite dos movimientos distintos, básicamente contrarios, y no sólo desde un punto de vista físico. Subir y bajar están asimismo cargados de significado psicológico y mitológico. Por ejemplo, en la mitología cristiana, la conexión entre los lugares asignados a lo bueno y a lo malo dota de un significado adicional a los conceptos contrapuestos arriba-abajo, claro-oscuro, lo que tiene consecuencias para la dimensión psicológica del concepto de ascensión y descenso. Dos conceptos contrarios firmemente anclados en la conciencia humana, trasladados directamente al mundo secular. De la esca-

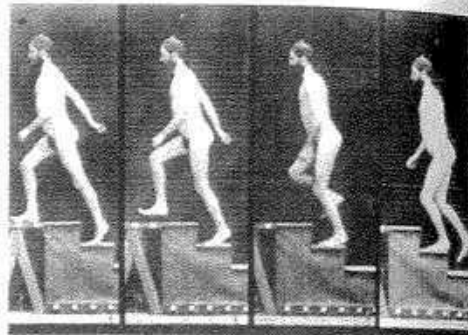
Fig. 2: Haus-Rucker-Co: *Big piano*, 1972

lera del cielo procede la escala de la sabiduría y la de la virtud, el puesto más alto en un escalafón es el mejor, o uno asciende a la mejor liga o se sumerge en la locura.

Giovanni Battista Piranesi utiliza en sus visiones arquitectónicas, en las llamadas *Carceri d'Invenzione*, escaleras imposibles que dan rienda suelta a la fantasía, para dotar a sus lúgubres espacios de un elemento de desarmonía psicológica. Las escaleras conducen a la profundidad de las mazmorras y simbolizan un mundo que ha perdido su equilibrio.

En relación con el caminar por el plano horizontal, el movimiento de subir y bajar significa un cambio de ritmo que produce efectos psicológicos insospechados. Debido a la disminución del ritmo al subir, el espíritu tiende a

adelantarse al cuerpo y confrontarse con la meta o con el futuro inmediato. Para este proceso se inventó en el lenguaje popular la expresión "pensamientos escalonados". La denominada *Treppenwitz* ("espíritu de escalera") es la expresión que se utiliza en alemán para indicar una idea que a uno le llega tarde, cuando ya se ha pasado el instante y la oportunidad de dar una réplica oportuna. Es decir, una idea que a uno le hubiera cogido bajando la escalera y, figuradamente, se hubiera quedado arriba en un momento inmediato ya pasado.

Fig. 3: Eadweard Muybridge: *Locomoción humana y animal*, 1887

El ser humano se ha acostumbrado al carácter artificial de los planos estratificados horizontalmente. Todo niño que domine el arte del caminar se dedica a la lección de subir las escaleras y, con los años, este movimiento se convierte en una dinámica programada. Pero, al contrario que caminar sobre un plano, este movimiento ritualizado está estrechamente vinculado a la geometría de los escalones, por ello se presta mucha atención a la escalera. Para el arquitecto, una escalera significa la oportunidad de afrontar la cuestión con los materiales propios de su oficio. Independientemente de que la elección de la geometría de la escalera determine el ritmo de los futuros movimientos, el arquitecto también sabe que la escalera se encuentra con el pavimento, que el pasamanos se agarrará con cuidado y que el giro en el descansillo se dará siguiendo un trayecto ya conocido.

En lo que sigue se trata de parejas de conceptos que representan caracteres o planteamientos contrarios relativos a la escalera, y que muestran en qué consisten las posibilidades y las consecuencias derivadas de una decisión arquitectónica. La elección de estas parejas de conceptos ha sido voluntariamente arbitraria. El campo de las posibilidades es tan amplio que no puede cubrirse en su totalidad.

La escalera como elemento generador de un proyecto o como objeto

La comunicación vertical puede estar tan ligada a la idea espacial de un objeto que llega a configurar una parte integral de él, o incluso su hilo conductor. Por consiguiente, la escalera es desde el principio un tema esencial del proceso del proyecto. Su materialización y construc-



Fig. 4: Frank Lloyd Wright: Guggenheim Museum, Nueva York, Estados Unidos, 1959

ción se deriva directamente de la estructura general del edificio o forma una parte integral de la misma. La supresión o el cambio de lugar de la escalera resulta cada vez más difícil a medida que avanza el proyecto, y casi imposible de cambiar una vez que la obra está acabada, sin que con ello se modifique o estropee la idea de conjunto. La posibilidad de elevar la calidad espacial conlleva una pérdida de flexibilidad, compatible únicamente en tareas constructivas con una composición espacial rígida.

Como ejemplo de escaleras o rampas que constituyen el hilo conductor de una idea, puede destacarse el Guggenheim Museum de Nueva York. Su idea espacial se basa en una rampa helicoidal cuya forma se refleja del modo más directo en la propia expresión exterior del edificio. Todos los espacios expositivos están articulados por la rampa. El visitante alcanza el nivel superior del edificio gracias a un ascensor para, desde allí, comenzar a descender por la rampa con un ritmo casi imperceptible, determinado por la cadencia del individuo que contempla una obra de arte.



Fig. 5: Adalberto Libera: casa Malaparte, Capri, Italia, 1941

En la casa Malaparte la aproximación al tema de la escalera como elemento generador del proyecto es completamente distinta. La fuerza expresiva del volumen alargado, acurrucado entre la vegetación y colocado sobre una roca que avanza sobre el mar, se refuerza gracias al quiebro ocasionado en su silueta por la monumental escalera. La forma del edificio parece crecer a partir de las rocas porque la escalera, y con ella el volumen, se confunden en el lugar más bajo entre la tierra y la península, lugar donde se acaba también la pintoresca escalera. Una vez se ha bajado por ella, la escalera conduce a un camino que, discurriendo en plena naturaleza, conduce a la casa.

En tanto que objetos, las escaleras poseen estructuralmente un carácter más o menos complementario, dependiendo de que estén pensadas sencillamente como un mero acento, como parte de una composición formada por distintos elementos o como continuación de la propia estructura del edificio. A diferencia de los ejemplos antes mencionados, constituyen un tema posterior en el proceso del proyecto. Su colocación y su configuración se apoyan en un mayor grado de flexibilidad, tanto durante

el proceso del proyecto como en intervenciones posteriores en el edificio ya existente, aunque naturalmente la localización estratégica de una escalera alcanza siempre un significado decisivo. El carácter de objeto que posee la escalera configura un potencial de posibilidades para que su manifestación arquitectónica, relativamente independiente, obedezca a la idea pretendida en el proyecto, y pueda fundirse a su vez con su entorno de las más diversas maneras.

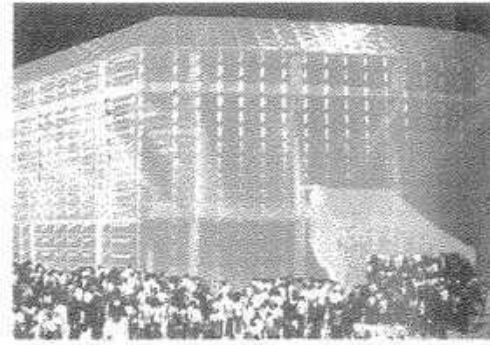


Fig. 7: Herzog & de Meuron: St. Jakob-Park, Basilea, Suiza, 2001

Los accesos al St. Jakob-Park pueden citarse como un ejemplo de este planteamiento. Están configurados por escaleras en embudo que, de modo semejante a las escaleras móviles que se colocan ante las puertas de los aviones, se ubican ante la fachada de forma aditiva. La lógica de su colocación flexible hizo que pudiese adaptarse a las exigencias funcionales. En cuanto a su materialización, existe la preocupación de que revestimiento traslúcido de los túneles de las escaleras combine con el tema de la fachada, compuesta por elementos de plástico transparentes que configuran su cúpula iluminada y que constituyen la piel resplandeciente, iluminada por la noche desde el interior.

La escalera de caracol en el número 24 de la rue Nungesser et Coli de París (1934), de Le Corbusier, se añade como un objeto en el interior de la planta de la vivienda. Bajo su zócalo se aloja una escalera que conduce a la planta inferior. Su carácter de objeto se expresa también en su materialización. Mientras que el sistema constructivo básico determina adecuadamente la configuración de las superficies enlucidas del apartamento, el desarrollo de la escalera se muestra como parte de una composición de elementos insertados o engastados.

La escalera como acontecimiento o la escalera como obstáculo

Hay escaleras que incitan justamente al observador a poner el pie en ellas. Ante otras, uno pasa de largo sin apenas prestarles atención, y si las pisamos tenemos la impresión de no ser bienvenidos. Un factor decisivo al respecto parece ser el grado de apertura del arranque o del hueco de la escalera. Si éste se mantiene o se agranda, la escalera muestra una tendencia a revelar un



Fig. 6: Le Corbusier: número 24 de la rue Nungesser et Coli, París, Francia, 1934



Fig. 8: Escalera en el puerto de St. Augustine, Estados Unidos

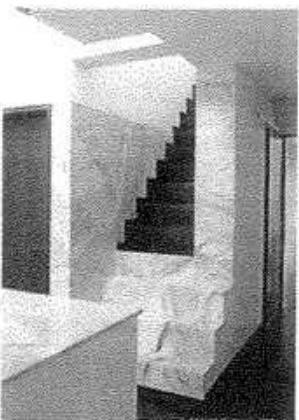


Fig. 9: Álvaro Siza: casa Duarte, Ovar, Portugal, 1985

efecto representativo. La escalera se convierte en un acontecimiento. Esta impresión puede manipularse mediante una gran variedad de recursos. En este sentido, la masa efectiva de una escalera y su relación con el espacio circundante juegan un papel esencial. Pueden, por ejemplo, desarrollarse determinados recursos escenográficos para hacer que la escalera provoque cierta sensación al subir o se convierta en un acontecimiento social. Una construcción noble y materiales costosos pueden reforzar (o no) aún más ese carácter de acontecimiento que reviste la ascensión de una escalera.

Un criterio espacial y de organización hace que la escalera central de la biblioteca de Viipuri se convierta en un acontecimiento. El visitante discurre en un primer momento a través de un estrecho espacio de la escalera, antes de que ponga el pie sobre un amplio descansillo que se encuentra en el centro del edificio. Si apoyándose en el desarrollo del pasamanos uno llega directamente al registro situado en el nivel superior, experimenta la dimensión espacial de la escalera simétrica colocada en el eje del conjunto. El recurso de la barandilla, que permite establecer una relación entre la escalera de acceso y la de circulación interior, hace que este elemento de comunicación vertical (que ocupa el centro del espacio) adquiera un carácter representativo.

En la propuesta barroca de Balthasar Neumann para el Hofburg de Viena, el ascenso de su escalera se celebra como la atracción principal del palacio. La monumental escalera se aloja en el espacio de mayores dimensiones del Hofburg que, situado en el eje principal del complejo, ocupa una posición preeminente y está iluminado lateralmente por dos patios. Desde el nivel de la entrada, ascendiendo dos tramos de escalera, se alcanza una meseta de la que parten varias escalinatas y descansillos, ramificándose casi laberínticamente. El conjunto de las escaleras, casi intimidatorio, parece simbolizar la exigencia feudal de dominio y de poder.

También interesante resulta la cuestión contraria a la expuesta anteriormente: ¿cómo se impide que los paseantes suban una escalera? ¿Cómo se explica mediante procedimientos arquitectónicos que no debe ponerse el pie en una escalera? Modificando su carácter público y

convirtiéndolo en privado mediante su limitación espacial o geométrica, la escalera se convierte en un obstáculo. Cuanto más abrupto sea ese cambio, más clara es su manifestación. La configuración de la escalera puede favorecer que pase desapercibida o produzca un efecto de rechazo. Una pendiente muy empinada o la ausencia de barandillas acrecienta esa impresión. Un efecto semejante se produce cuando la escalera está casualmente enterrada y se confunde con el entorno, y además se utilizan los mismos materiales, en particular si esa homogeneización contrasta con el espacio público.

La imagen de la escalera del puerto de St. Augustine muestra claramente que no se trata de un espacio en pendiente de carácter público, sino que está destinado a permitir el acceso a sus barcos por parte de los pescadores y navegantes. La claridad de esta manifestación arquitectónica es el resultado del abrupto salto de escala entre la amplia superficie del muelle y la de la escalera, que se refuerza aún más por la utilización en ambas de la misma piedra caliza.

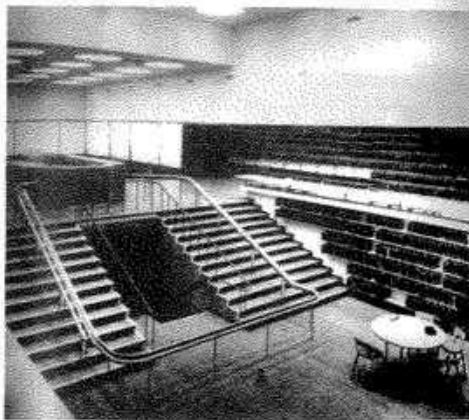


Fig. 11: Alvar Aalto: biblioteca de Viipuri, Rusia (anteriormente Finlandia), 1935

En la escalera que conduce a la planta privada de la casa Avelino Duarte, Álvaro Siza se sirve de un matiz para indicar que se traspasa la frontera del ámbito privado. Mientras los peldaños inferiores, vinculados al espacio semipúblico, parecen cincelados en el zócalo sobreelevado, los peldaños superiores, al tiempo que la escalera se estrecha, pasan a ser de una cálida madera, estableciendo así un límite nítido respecto a la esfera de lo privado.

Configuración espacial en tres dimensiones o núcleo de la escalera

Los núcleos de escalera serpentean entre superficies que permanecen iguales o varían muy poco, elevándose sobre un número de plantas a discreción. A menudo constituyen bloques casi autárquicos dentro del edificio (cajas de escaleras) que conectan o separan las distintas plantas. Aunque el grado de disociación espacial puede manipularse

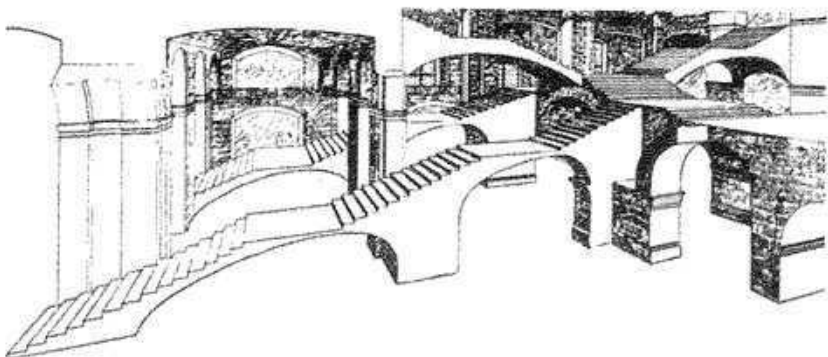


Fig. 10: Balthasar Neumann: propuesta para el Hofburg en Viena, Austria, 1747

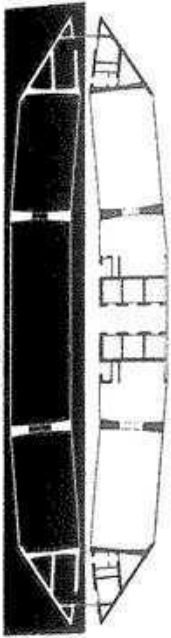


Fig. 12: Gio Ponti: torre Pirelli, Milán, Italia, 1961

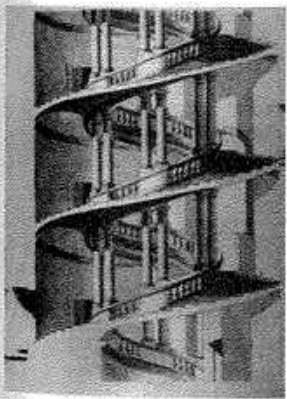


Fig. 13: Francesco Borromini: palacio Barberini, Roma, Italia, 1633

larse mediante la clase de conexión establecida entre la caja de la escalera y cada una de las plantas, o mediante la permeabilidad espacial entendida en sentido vertical, el núcleo asume un significado para el movimiento entre los diferentes pisos, que son muy autónomos frente al carácter "neutro" de la caja. La solución es económica ya que permite tanto una relación óptima entre superficie útil y de comunicación vertical, y mediante la repetición de los mismos elementos constructivos facilita un proceso de construcción racional. Por todo ello, los núcleos de escaleras son indispensables a partir de una determinada altura.

Las cajas de escalera, o sus paredes exteriores, que suelen tener una configuración maciza por motivos físicoconstructivos y de protección contra el fuego, pueden utilizarse también para proporcionar rigidez al edificio, como muestra el diagrama en planta del rascacielos Pirelli. El sistema de paredes que separa las cajas de la escalera y los espacios de servicio sirve para arriostrar longitudinalmente el edificio. Dado que la comunicación vertical principal discurre a través del volumen de ascensores situado en el centro del edificio, las cajas de escalera se limitan a una superficie útil mínima y se integran en un espacio a modo de pórtico de la estructura, en el extremo de las placas portantes ligeramente curvadas.

Como un elemento contrapuesto a la caja de las escaleras de evacuación descrita más arriba, debe destacarse la escalinata del palacio Barberini, que combina asombrosamente el carácter representativo que debe tener el edificio y una comunicación vertical racional. La gran dimensión del hueco de la escalera, que atraviesa las seis plantas del edificio, constituye una conexión espacial auténtica y efectiva.

La configuración espacial tridimensional intenta disminuir el contraste entre el movimiento vertical y el horizontal, mezclando espacios dinámicos verticales y horizontales en el interior de un *continuum* espacial. Las barreras espaciales que existen entre los distintos niveles pueden incluso eliminarse mediante la introducción de elementos constructivos encajados entre ellos, como planos inclinados y rampas. La jerarquía entre las distintas plantas puede, por tanto, manipularse a voluntad. Surge así una *promenade architecturale*, la planta más elevada se convierte en el punto final del paseo, un ascensor acaso de la máquina del tiempo.

Con su *Raumplan*, Adolf Loos llevó a cabo intentos tempranos de superar la habitual separación entre las diferentes plantas para conseguir una composición espacial en tres dimensiones. Gracias a esta idea se hizo posible dotar de diferente altura a los espacios de la vivienda en función de sus distintos usos. Los elementos constructivos de comunicación introducidos entre los distintos niveles, como los diferentes tramos de escalera, hacen posible crear un gran juego espacial pleno de matices en el interior de la vivienda. Muchas escaleras de pocos peldaños configuran un progresivo paseo que discurre a

través de esos espacios, siempre dentro de un ámbito cada vez más privado.

En algunos proyectos de OMA se maneja una idea espacial emparentada con la de Adolf Loos, aunque surgida de un *Zeitgeist* [espíritu de los tiempos] totalmente distinto. La tecnología contemporánea permite configurar los forjados a voluntad, superar la clásica separación entre planos horizontales y verticales, y hacer que la planta baja discorra en altura como una banda continua, sin escalera.

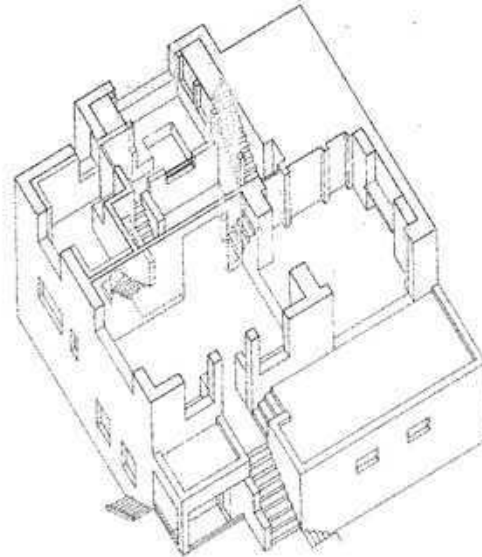


Fig. 14: Adolf Loos: casa Müller, Viena, Austria, 1928

La escalera como lugar de paso o de estancia

Las escaleras que se reducen a su función práctica superan alturas diferentes y están configuradas como lugares de paso. Si se permanece en ellas, es únicamente durante un instante, para descansar o para intercambiar unas palabras con quien se cruza con nosotros en sentido contrario. Por lo demás, estas escaleras son meras superficies de tránsito que conducen de un lugar a otro de estancia. El tráfico de personas que pasa por ellas, o incluso la seguridad, pueden verse afectados dependiendo de la relación entre la cantidad de individuos que perma-

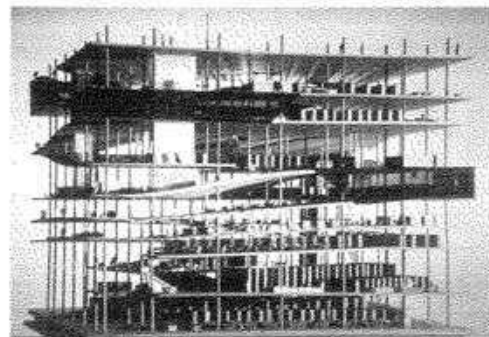


Fig. 15: OMA: bibliotecas Jussieu (proyecto), París, Francia, 1993



Fig. 16: Escalera del metro de París, Francia

necen en ella y sus dimensiones. Se puede influir en el carácter de este flujo de personas mediante una serie de medidas. Escaleras interminables en las estaciones de metro de todo el mundo muestran cómo puede reforzarse un movimiento fluido de la masa humana, con una dinámica complementaria paralela a ese movimiento o en la dirección del flujo.

¿Qué es lo que convierte a una escalera en lugar de estancia o de comunicación? Las escaleras de las viviendas sociales en hileras Bouça en Oporto, de Álvaro Siza, por ejemplo, no se diferencian necesariamente, ni en su anchura, ni en su pendiente, de las escaleras de paso antes descritas; sin embargo, a la gente le gusta sentarse o detenerse en ellas para charlar un rato. La proporción entre la anchura y la longitud de la escalera, así como la relación entre el tráfico de personas estipulado y la anchura de la misma, juegan un papel decisivo. Las escaleras como catalizadores de la comunicación dependen naturalmente de los usos que ponen en conexión y de su relación con el entorno inmediato. La iluminación, el microclima y, en ciertos casos, una buena perspectiva, pueden constituir factores estimulantes. ¿Quién no prefiere la percepción que ofrece una vista panorámica frente a la perspectiva desde abajo?

La escalera ofrece también la ventaja de que uno puede ver más fácilmente más allá, por encima de la persona que se encuentra ante nosotros, que en el plano utilizado desde hace miles de años para la colocación del público. Estos lugares sirven normalmente para la comunicación unilateral que se consume sobre la tribuna. Cuanto más inclinado es el graderío, mejor es la visión y mayor la sensación de estar expuesto frente a todo aquello que se ofrece ante nuestra vista: resulta difícil esconderse detrás de quien está delante de nosotros. Si se colocan dos tribunas, una frente a otra, es posible una comunicación múltiple. Los foros clásicos de discusión, como los actuales debates televisivos, utilizan esta disposición espacial. Una variante contemporánea de esta clase de comunicación colectiva la ejercen los cánticos que intercambian los hinchas de los equipos rivales en los estadios de fútbol, posible únicamente por la forma que presentan las tribunas.



Fig. 17: Edward Hopper: Sunlight on brownstones, 1956



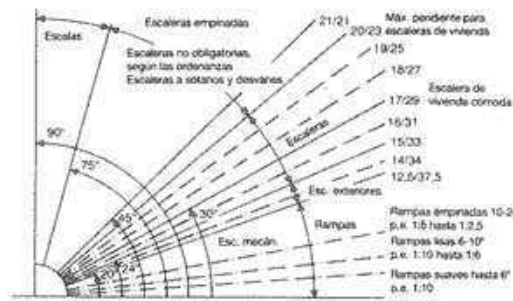
Fig. 18: Álvaro Siza: viviendas sociales Bouça, Oporto, Portugal, 1977



Fig. 19: Teatro griego en Epidauro, Grecia, siglo IV a. C.

Bibliografía

- Habermann, Karl J., *Treppen. Entwurf und Konstruktion*, Birkhäuser, Basel/Boston/Berlin 2003.
- Temple, John, *The staircase*, The MIT Press, Cambridge (Mass.), 1992.
- Baldon, Cleo, y Melchior, Jo, *Steps & stairways*, Rizzoli, Nueva York, 1999.
- Förderer, Walter M., "Treppenräume", en *Daedalos*, 9, 1983.
- Meisenheimer, Wolfgang, "Treppen als Bühnen der Raum-Architektur", en *Daedalos*, 9, 1983.
- Giersch, Ulrich, "Auf Stufen", en *Daedalos*, 9, 1983.

Extracto del libro *Arte de proyectar en arquitectura* de Ernst Neufert

① Pendientes de rampas, escaleras exentas, escaleras de viviendas, cuartos de máquina y escaleras empinadas

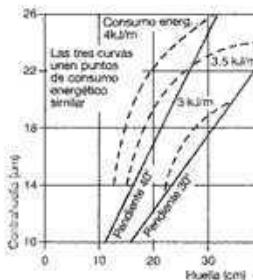
Tipo de edificio	Tipo de escalera	Anchura de paso (cm)	Huella H ²	Contrahuella C ²
Edificios con un máximo de 2 viviendas ¹	Escaleras obligatorias	≥ 80	17 ± 3	28 ± 3
	Escaleras al sótano o al desván	≥ 80	15 ± 1	≥ 21
	Escaleras no obligatorias (adiccionales), DIN 18054/11.79, apartado 2.5	≥ 50	11 ± 1	≥ 21
Escaleras no obligatorias (escaleras secundarias en el interior de viviendas)		≥ 50	Sin determinar	
Otros edificios	Escaleras obligatorias	≥ 100	17 ± 3	28 ± 3
	Escaleras no obligatorias (adiccionales), véase DIN 18054/11.79, apartado 2.5	≥ 50	11 ± 1	≥ 21

¹ Comprende también viviendas-duplex en edificios con más de dos viviendas.
² Paso no < 14 cm; ³ pero no > 37 cm = determinación de la relación H/C.

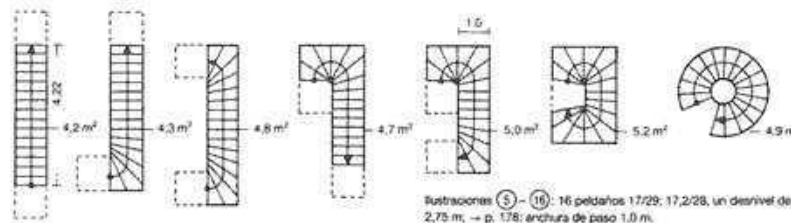
③ Escaleras en edificios de viviendas, DIN 18055

Desnivel entre pisos	Escaleras de dos tramos		Escaleras de uno o dos tramos	
	Poca pendiente	Poca pendiente	Poca pendiente	Poca pendiente
	N.º de peldaños	Huella	N.º de peldaños	Huella
2550	14	178,5	13	173,0
2500	15	178,5	14	188,6
2400	16	171,8	15	175,0
2300	17	168,8	16	176,4

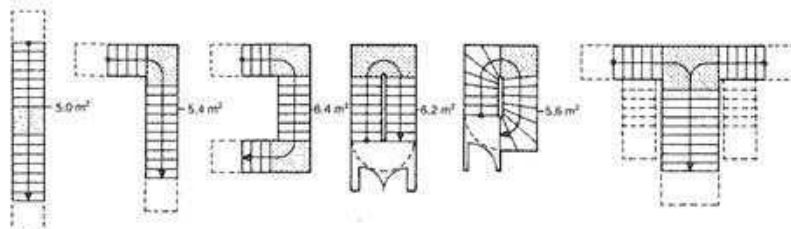
② Desnivel entre pisos y pendiente de la escalera



④ Consumo energético de un adulto al subir por una escalera

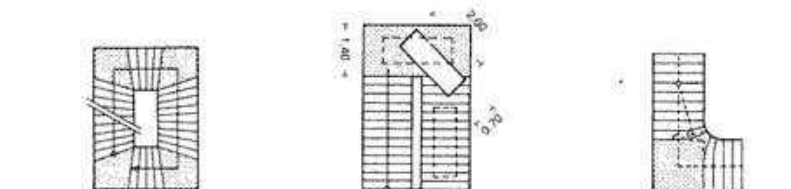


⑤ - ⑪ Las escaleras sin rellano intermedio ocupan prácticamente la misma superficie en planta, con independencia de su forma; el recorrido desde la salida de un tramo hasta el arranque de otro puede acortarse considerablemente girando los peldaños → ⑥ - ⑪, aconsejable en edificios de varias plantas.



⑫ - ⑮ Las escaleras con rellanos intermedios ocupan una superficie igual a la de una escalera rectilínea + un rellano = una contrahuella. Es necesario intercalar un rellano cuando el desnivel entre pisos ≥ 2,75 m. Longitud del rellano ≥ anchura de paso de la escalera.

⑮ Las escaleras de tres tramos son caras, poco funcionales y ocupan mucho espacio.



⑮ Arranque en diagonal y peldaños en forma de cuña.

⑮ Dimensiones mínimas para transportar muebles.

⑮ Compensar los peldaños permite disminuir la longitud del rellano en las escaleras estrechas.

ESCALERAS

DIN 18064-65, 4174

Las sensaciones al ascender por una escalera pueden variar mucho: desde las diferentes posibilidades de diseñar las escaleras de una vivienda, hasta las posibilidades que ofrece una escalera en el exterior, por la que ascender o descender apenas requiere esfuerzo. Ascender por una escalera exige un consumo energético siete veces superior al requerido para andar sobre una superficie horizontal; el esfuerzo psicológicamente óptimo se consigue con una pendiente de unos 30° y una relación entre contrahuella (C) y huella (H) de 17/29.

Esta relación se obtiene a partir de la longitud del paso normal de una persona adulta (aprox. 61-64 cm). Para calcular la relación óptima que minimiza el consumo energético se ha de aplicar la siguiente fórmula: $2C + H = 63$ (1 paso).

Al dimensionar y diseñar una escalera, además de las características citadas más arriba, es importante tener en cuenta la función posterior de la escalera y el objetivo formal.

En las escaleras exentas de gran circulación, los peldaños han de ser más bajos: aprox. 16 × 30 cm; en cambio, las escaleras de un taller o de una salida de emergencia han de permitir superar con rapidez el desnivel. Todas las escaleras obligatorias, según las ordenanzas, han de estar situadas en una caja de escalera propia, cuyo acceso y salida al exterior pueda utilizarse, sin peligro, como recorrido de evacuación en caso de emergencia. Anchura de la salida ≥ anchura de la escalera.

Desde cualquier punto del interior de un edificio la escalera más próxima no puede distar más de 35 m. Si hay varias escaleras, éstas se han de repartir de manera que los recorridos de emergencia sean lo más cortos posible. Las puertas de acceso a una escalera desde el sótano, desván, talleres, comercios, almacenes y espacios similares han de tener, como mínimo, una resistencia al fuego RF-30.

Fig. 20: Página del libro: *Arte de proyectar en arquitectura* de Ernst Neufert

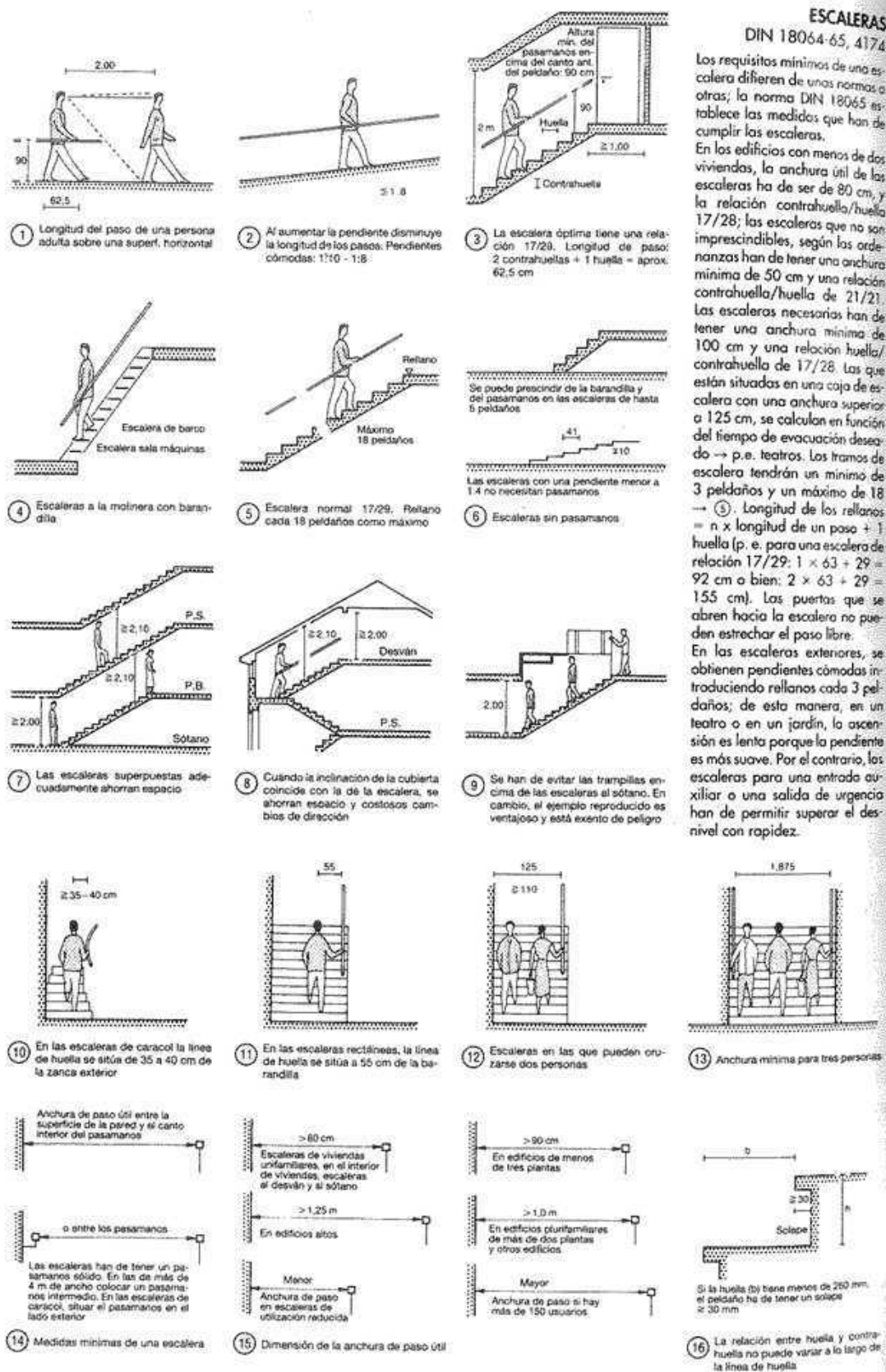


Fig. 21: Página del libro: Arte de proyectar en arquitectura de Ernst Neufert

Geometría de las zonas de paso

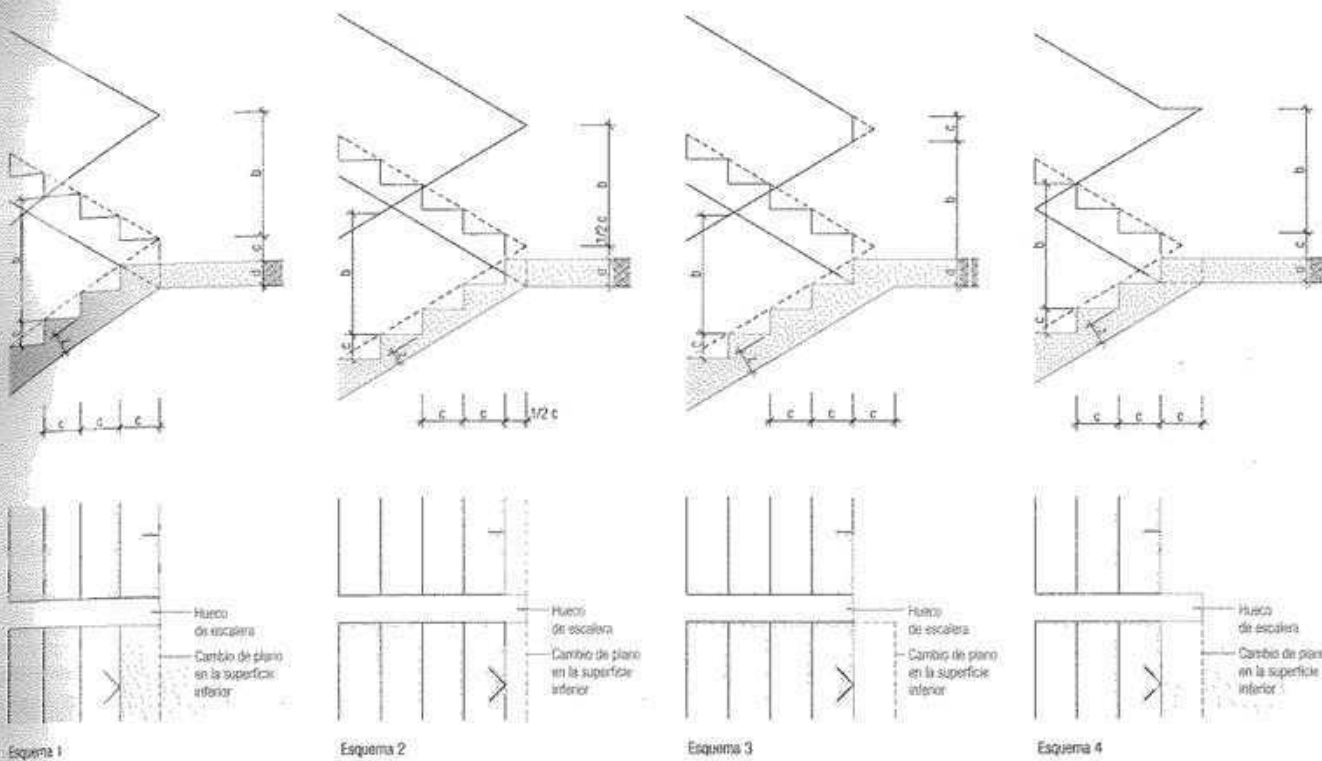


Fig. 22: Secciones (arriba)
 a) Hueco
 b) Contrahuella
 c) Altura de la barandilla
 d) Canto del descansillo
 e) Canto de la zanca

Interrelación entre los grosores constructivos, el desarrollo de la barandilla y la geometría del descansillo

Al pensar constructivamente las escaleras, el proyectista se enfrenta a múltiples interrelaciones geométricas en las zonas de paso que varían según el sistema constructivo de la escalera y el desarrollo de su barandilla. Los esquemas indicados más arriba no representan soluciones de validez general, sino que indican, en el caso de una escalera maciza, las dependencias típicas entre la geometría de los peldaños, la del desarrollo del pasamanos y el canto del descansillo y de la zanca.

Esquema 1

El desplazamiento de una huella hacia el descansillo facilita una alineación del hueco de escalera, la línea que marca el cambio de plano en la superficie inferior del tramo y el cambio de dirección de la barandilla. El lugar exacto de la línea que marca el cambio de plano en la superficie inferior del tramo, depende de la relación entre el canto del descansillo y el de la zanca (d/z). El cambio de dirección del pasamanos se obtiene mediante la elevación (con la dimensión de una contrahuella) en el lugar de la línea que marca el cambio de plano en la superficie inferior del tramo y en el punto de encuentro de ambos pasamanos ($b + c$).

Esquema 2

Si el arranque y el desembarque de un tramo respecto del descansillo se desplazan media huella, el hueco de escalera, la línea que marca el cambio de plano en la superficie inferior del tramo y el cambio de dirección en el pasamanos se sitúan sobre una línea. El lugar exacto de la línea que marca el cambio de plano en la superficie inferior del tramo depende de la relación entre el canto del descansillo y el de la zanca (d/z). El punto donde se produce el cambio de dirección del pasamanos se eleva en todo caso sólo media contrahuella ($b + 1/2 c$).

Esquema 3

La coincidencia del arranque y el desembarque sobre la línea del hueco de escalera implica, en las escaleras macizas, que la línea que marca el cambio de plano en la superficie inferior del tramo se desplace aproximadamente una huella hacia el descansillo, y el punto de encuentro de los pasamanos, media huella. Dependiendo de la anchura del hueco de escalera, esta situación puede solucionarse con un desarrollo curvo de la barandilla o con su interrupción en ese punto.

Esquema 4

En caso de que el desembarque y el arranque del tramo de la escalera se retranqueen una huella respecto al hueco de escalera, la línea que marca el cambio de plano en la superficie inferior del tramo coincide con el remate del hueco de escalera. En este caso, el pasamanos está obligado a seguir un doble cambio de dirección para alcanzar de nuevo la misma altura de la barandilla.

Barandillas y antepechos

Extracto de la norma suiza SIA 358, edición de 1996

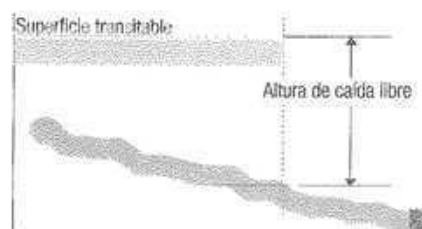


Fig. 23: Concepto de altura de caída libre

Finalidad de protección

Barandillas, antepechos y pasamanos son elementos constructivos cuya finalidad es proteger a las personas de las caídas. Si se adoptan las medidas adecuadas se aumenta el grado de seguridad frente a posibles caídas a valores aceptables.

Resistencia

Barandillas, antepechos y elementos de protección similares se configuran de manera que satisfagan las exigencias requeridas. Estas exigencias rigen asimismo para la sujeción y el relleno de los elementos de protección.

Materiales

Aquellos materiales susceptibles de corrosión o deterioro frente a la intemperie deben poder protegerse y mantenerse adecuadamente. En rellenos de vidrio, plástico o similares tendrá que elegirse un material adecuado para evitar heridas en caso de rotura.

Disposición de los elementos de protección

Barandillas y antepechos

Toda superficie transitable de uso normal que suponga un riesgo de caídas debe asegurarse con elementos de protección. Se consideran transitables todas aquellas superficies de libre acceso para las personas.

Se considera que puede existir peligro si la altura de caída libre es superior a un metro. Como altura de caída libre se entiende la diferencia de altura existente entre el borde de la superficie transitable y la superficie límite inferior. En el caso de que aumente el peligro de caída, pueden exigirse elementos de protección incluso para alturas menores. En alturas de hasta 1,5 m, la protección puede consistir en dificultar la accesibilidad al borde de la superficie transitable, mediante la colocación de, por ejemplo, plantas o elementos similares.

Pasamanos

Por lo general, las escaleras con más de cinco peldaños necesitan estar provistas de pasamanos. Las escaleras con más de dos peldaños, utilizadas normalmente por minusválidos o personas con dificultades, así como las escaleras de evacuación, deberán contar con pasamanos a ambos lados.

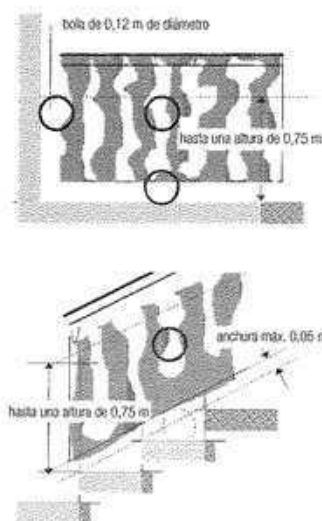


Fig. 24: Geometría de los elementos de protección

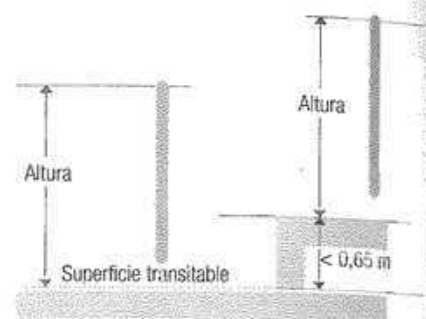


Fig. 25: Altura de los elementos de protección

Condiciones que deben cumplir los elementos de protección

Altura

En las escaleras, la altura se mide verticalmente desde la superficie transitable o desde la huella hasta el extremo superior del elemento de protección. En ventanas se toma como referencia el borde superior del marco inferior.

Los elementos constructivos antepuestos al de protección y por los que se puede trepar, como coronaciones del muro o radiadores cuya superficie superior se encuentre a una altura menor de los 0,65 m sobre la superficie transitable, se consideran también transitables. La altura del elemento de protección se mide en este caso desde la superficie superior. La altura de un elemento de protección es, normalmente, de al menos un metro; los antepechos de fábrica deben tener un grosor mínimo de 0,2 m y una altura de 0,9 m.

La altura de antepechos y barandillas en la zona de desarrollo de las escaleras debe ser de al menos 0,9 m. Por motivos de uso (para evitar la sensación de inseguridad y de vértigo), en superficies con gran altura de caída libre debe aumentarse la altura de los elementos de protección.

Configuración geométrica

Las barandillas, los antepechos y demás elementos tienen que proteger ante las caídas cuando uno se asoma a ellos. Las exigencias mínimas indican que se debe colocar un travesaño superior, así como un listón intermedio a mitad de la altura, o una distancia a lo sumo de 0,3 m en barrotes verticales.

En edificios y complejos a los que tienen acceso niños en edad preescolar y sin vigilancia, deben tenerse en cuenta especialmente las siguientes exigencias: los huecos practicados en los elementos de protección hasta una altura de 0,75 m deben impedir que pueda colarse una bola de 0,12 m de diámetro. Esta exigencia rige también para los huecos existentes entre los elementos de protección y los elementos constructivos de cierre o límite, a excepción del hueco entre la huella y la barandilla. La distancia entre el borde exterior del peldaño y la barandilla no debe superar los 0,05 m. Asimismo, deben adoptarse las medidas apropiadas para dificultar o impedir que se pueda trepar por los elementos de protección.

Ascensores



Fig. 26: La caja del ascensor se encuentra alojada en el hueco de la escalera. Foto: Jacobson; Ayuntamiento de Sölleröd, Dinamarca, 1942.

Fig. 27: Una selección de distintas cabinas y cajas de ascensores de la empresa AS Aufzüge AG.



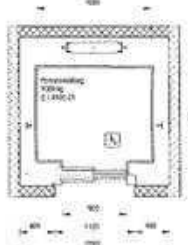
Pequeño ascensor para personas con acceso por uno de sus lados

- Para edificios residenciales y de oficinas
- Capacidad de carga: 630 kg
- Cabina para ocho personas, modelo estándar apto para el transporte de casi todos los modelos de sillas de ruedas y cochecitos de bebé
- La entrada única permite una dimensión mínima de la caja del ascensor
- Puerta telescópica compuesta por dos elementos



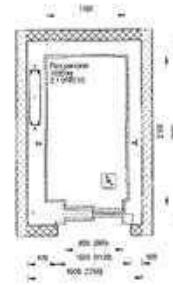
Pequeño ascensor para personas con acceso por dos de sus lados

- Para edificios residenciales y de oficinas
- Capacidad de carga: 630 kg
- Cabina para ocho personas, sillas de ruedas y cochecitos de bebé
- Debido a que el acceso puede efectuarse por dos de sus lados, se necesita una caja más profunda
- Puerta telescópica compuesta por dos elementos



Ascensor de tamaño mediano para personas con acceso por uno de sus lados

- Para edificios de oficinas
- Capacidad de carga: 1.000 kg
- Cabina para trece personas y sillas de ruedas
- Cabina ancha para una frecuencia de uso alta
- Entrada única por uno de sus lados
- Puerta telescópica compuesta por dos elementos



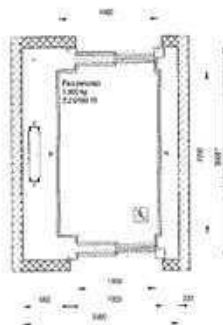
Ascensor de tamaño mediano para personas con acceso por uno de sus lados

- Para edificios residenciales y de oficinas
- Capacidad de carga: 1.000 kg
- Cabina para trece personas, sillas de ruedas y camillas
- Cabina profunda para transporte de muebles
- Entrada única por uno de sus lados
- Puerta telescópica compuesta por dos elementos



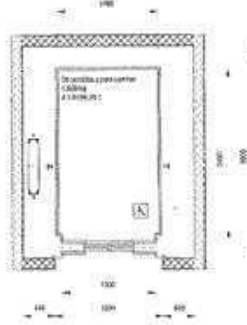
Ascensor de gran tamaño para personas y cargas, con acceso por uno de sus lados

- Para edificios de oficinas, industriales y comerciales
- Capacidad de carga: 1.600 kg
- Cabina para 21 personas y transporte de herramientas
- Entrada única por uno de sus lados
- Puerta telescópica compuesta por dos elementos



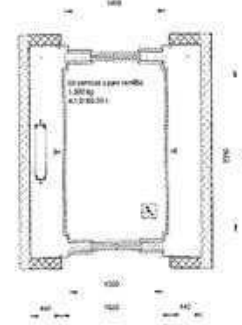
Ascensor de gran tamaño para personas y cargas, con acceso por dos de sus lados

- Para edificios de oficinas, industriales y comerciales
- Capacidad de carga: 1.600 kg
- Cabina para 21 personas y transporte de herramientas
- Entrada doble, con cabina de menor tamaño pero idéntica caja
- Puerta telescópica compuesta por dos elementos



Ascensor de gran tamaño para camillas y cargas, con acceso por uno de sus lados

- Para hospitales, edificios industriales y comerciales
- Capacidad de carga: 1.600 kg
- Cabina para 21 personas, transporte de camas y de herramientas
- Entrada única por uno de sus lados
- Puerta telescópica compuesta por cuatro elementos con cierre central



Ascensor de gran tamaño para camillas y cargas, con acceso por dos de sus lados

- Para hospitales, edificios industriales y comerciales
- Capacidad de carga: 1.600 kg
- Cabina para 21 personas, transporte de camas y de herramientas
- Entrada doble, con cabina de menor tamaño pero idéntica caja
- Puerta corredera telescópica compuesta por cuatro elementos con cierre central

El transporte vertical de personas y cargas entre las diferentes plantas superpuestas de un edificio es posible gracias a los ascensores. Estos están considerados como instalaciones, aunque no estén relacionados directamente con los elementos técnicos de la edificación, sino más bien con los espacios verticales y horizontales de circulación y división.

A diferencia de las escaleras, que se extienden en sentido horizontal y vertical y que pueden variar su desarrollo a lo largo de varias plantas, los ascensores deben situarse en una caja vertical (tanto por motivos de la carga que deben de transportar como por la protección frente a los incendios). Los ascensores configuran lugares de corte en la circulación de personas y mercancías de cada planta, y se colocan en la proximidad inmediata de los núcleos de escalera (no sólo para que sea más fácil localizarlos).

Las normas que deben cumplir los ascensores dependen esencialmente de su utilización y del uso a que está destinado el edificio. A este respecto, cabe diferenciar entre ascensores de personas y montacargas. Los límites entre ambos tipos son difusos debido a los desarrollos tecnológicos y a la especificidad del mercado.

Según la norma ISO 4190, una cabina con capacidad para albergar una silla de ruedas debe tener unas medidas mínimas de $1,4 \times 1,1$ m (largo $\times$ ancho) y 0,8 m de anchura de puerta. Todos los fabricantes ofrecen una cabina estandarizada de esas dimensiones, con una capacidad de carga de al menos 630 kg para un máximo de ocho personas. Con ello se hace posible el transporte de la mayor parte de los modelos de sillas de ruedas con uno o dos acompañantes. El espacio de espera frente al ascensor debe ser lo suficientemente grande. Las dimensiones mínimas recomendadas son $1,4 \times 1,4$ m.

Sistemas de propulsión

A continuación se describen tres ejemplos de ascensores que representan los sistemas de propulsión actualmente más habituales. Básicamente se diferencia entre ascensores de cables e hidráulicos de émbolo o tracción.

El uso del ascensor de cables está hoy muy difundido. Diferentes multiplicaciones de cables permiten una disminución de la potencia de propulsión o de grandes cargas. Análogamente puede variarse también la velocidad necesaria. A causa de su sencillo sistema de propulsión, estos ascensores son apropiados para edificios de gran altura.

Los ascensores hidráulicos tienen una velocidad y altura limitadas que depende de la presión máxima que puede producir la bomba de propulsión. Estos ascensores resultan adecuados para edificios bajos. Su ventaja es que el sistema de propulsión puede colocarse casi donde se quiera dentro de la caja.

Muchos fabricantes ofrecen hoy combinaciones híbridas de ambos sistemas que tienen influencia tanto en la potencia y en la posición del sistema de propulsión como en la configuración del espacio libre situado por encima y por debajo del ascensor.

Fig. 28: Tres ejemplos de ascensores de la empresa AS Aufzüge AG, con diversos modos de propulsión, muestran su influencia en la geometría de la caja (para cabinas de idénticas dimensiones)

Fig. 29: Modos de apertura de las puertas para ascensores



Puerta telescópica de dos elementos, apertura lateral

El elemento de la puerta telescópica que se desplaza hacia un lado de la caja condiciona la anchura de la misma. Este tipo de puerta resulta adecuado para cabinas estándar con aberturas estrechas.



Puerta telescópica de cuatro elementos, apertura central

Los elementos que componen estas puertas telescópicas tienen una longitud menor y se desplazan a ambos lados de la caja. La anchura de ésta depende del modo de propulsión, no de la puerta.



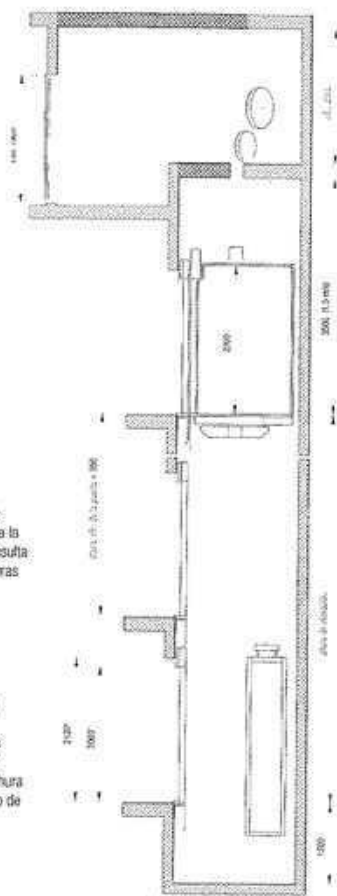
Puerta telescópica de seis elementos, apertura central

Los elementos que componen estas puertas telescópicas son poco profundos y se desplazan a ambos lados de la caja. Estas puertas son apropiadas para cabinas con aberturas anchas (por ejemplo, en hospitales y edificios industriales).



Puerta corredera de dos elementos, apertura central

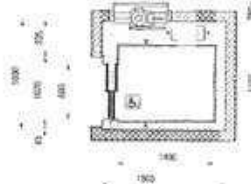
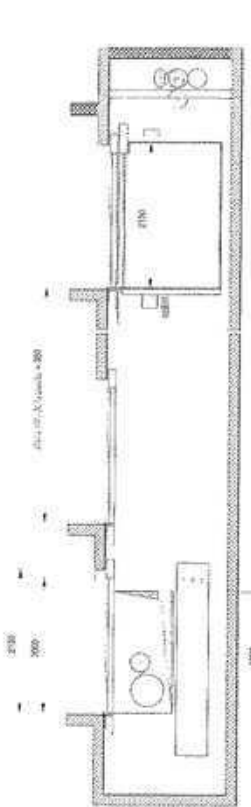
Los elementos que componen las puertas correderas son profundos e influyen de modo determinante en la anchura de la caja. Estas puertas son adecuadas para cabinas con amplias aberturas, que deben evacuarse rápidamente (p. ej., en edificios de oficinas en altura).



Ascensor de cables simple

El motor de propulsión se aloja en un cuarto de máquinas separado, dispuesto directamente sobre la caja o lateralmente en su parte inferior. La capacidad de carga es de unos 1.600 kg. Para cargas mayores debe aumentarse el número de poleas (en una proporción de 4:1).

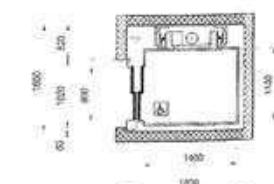
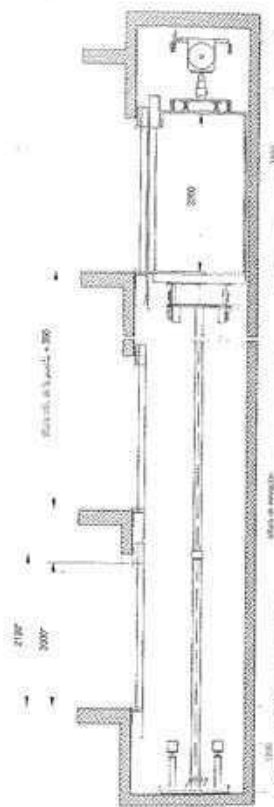
- Sistema de polea simple 1:1 de propulsión central
- Altura de elevación (hasta unos 30 m)
- Velocidad de hasta 2 m/s



Ascensor mecánico con polea compuesta

El sistema de propulsión está integrado en la caja y se accede al mismo a través de una puerta de servicio. Esta solución permite prescindir del cuarto de máquinas que, por lo general, sobresale por encima de la cubierta. Dependiendo del fabricante, el sistema de propulsión puede colocarse en la parte superior de la caja o directamente sobre la cabina.

- Sistema de polea compuesta 4:1, de propulsión lateral
- Altura de elevación hasta unos 15 m (cinco paradas)
- Velocidad de hasta 1 m/s



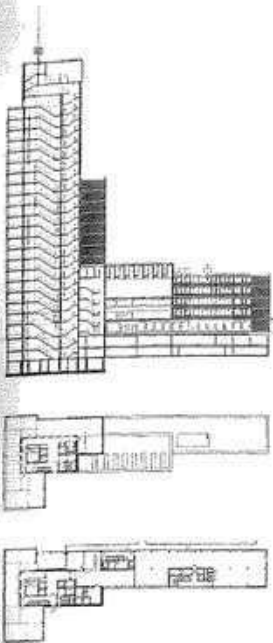
Ascensor hidráulico

El sistema de propulsión hidráulico puede colocarse en cualquier planta en un cuarto independiente situado dentro de un radio de unos 10 m en torno a la caja. La colocación del émbolo de tracción en un lateral de la cabina, permite la salida por varios lados. Es necesario que al menos una de las paredes de la caja pueda estar sometida a cargas.

- Sistema de polea compuesta 2:1 de propulsión lateral
- Altura de elevación hasta aproximadamente los 18 m
- Velocidad de hasta 0,6 m/s

La escalera como sistema constructivo formado por vigas sencillas ensambladas

Burkard Meyer Architekten: centro de prestación de servicios en Winterthur, Suiza, 1999



Figs. 30 y 31: Sección y plantas

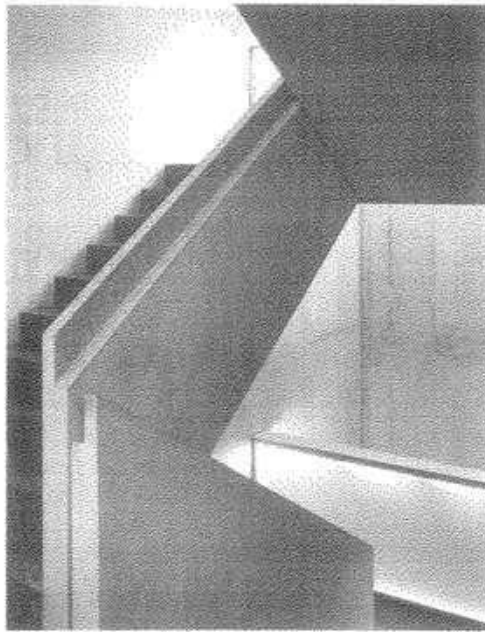


Fig. 32: Escalera
Burkard Meyer Architekten: centro de prestación de servicios en Winterthur, Suiza, 1999

La escalera principal insertada en el núcleo de comunicación vertical de esta torre supera alturas en planta de hasta 4,5 m, lo que implica que el desarrollo de la escalera, compuesta por piezas prefabricadas de piedra artificial oscura, debe salvar grandes luces.

Puesto que el material noble elegido tiene menor capacidad estática que el hormigón, la función portante de la escalera recae en cuatro elementos prefabricados de hormigón. Dos vigas principales salvan las luces entre los apoyos, mientras que una de ellas se configura como una sencilla viga de apoyo, la otra hace a su vez la función de parapeto de la escalera de carácter macizo. Estas vigas se refuerzan en sus caras frontales mediante dos piezas de apoyo. Sobre estos elementos portantes se colocan las piezas de piedra artificial que conforman los peldaños, donde una capa de neopreno evita la propagación del ruido producido por las pisadas.

La verticalidad y presencia psíquica, así como la exactitud de los elementos prefabricados, determinan el carácter de la caja de escalera.

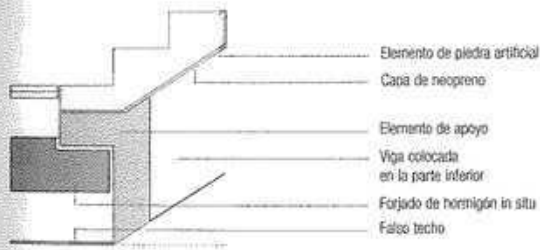


Fig. 33: Detalle del apoyo

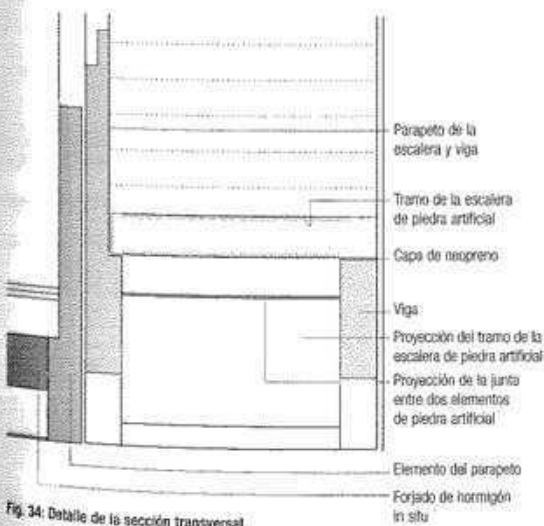


Fig. 34: Detalle de la sección transversal

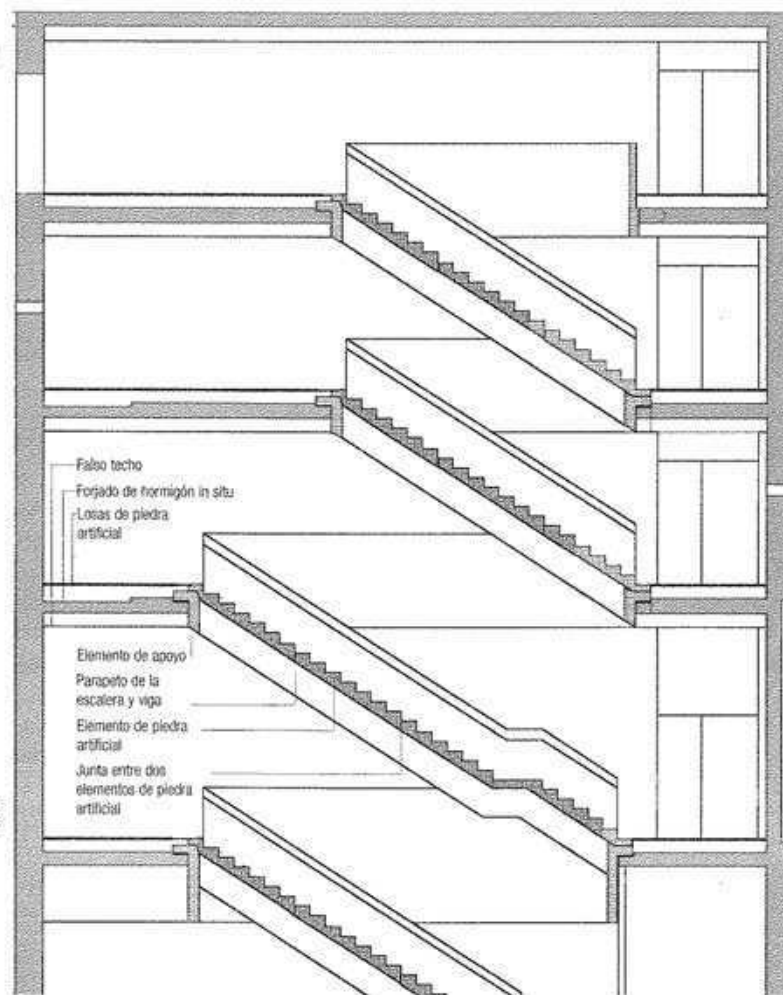


Fig. 35: Sección constructiva

La escalera como forma orgánica monolítica

Herzog & de Meuron: Museum Küppersmühle, Duisburgo, Alemania, 1999

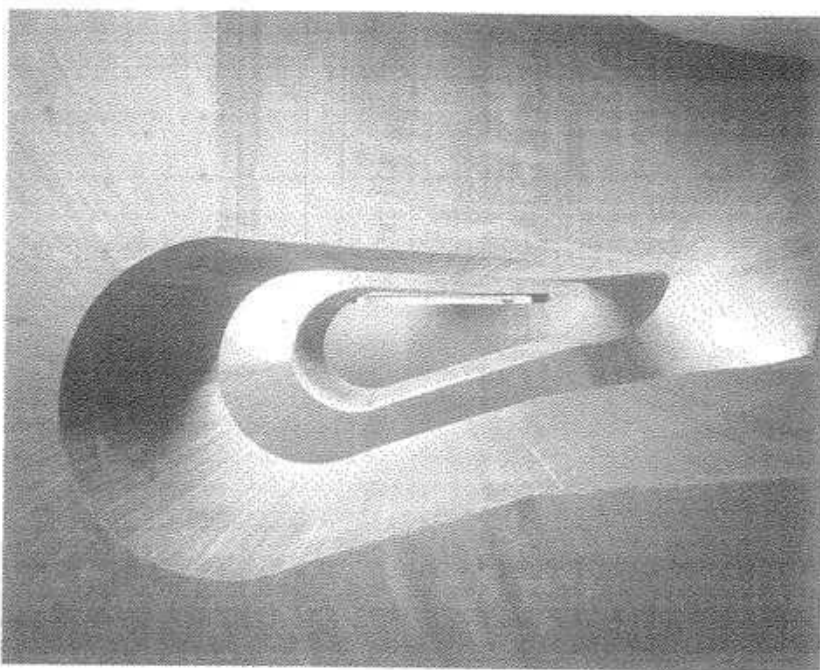


Fig. 36: Hueco de escalera curiosamente orgánico

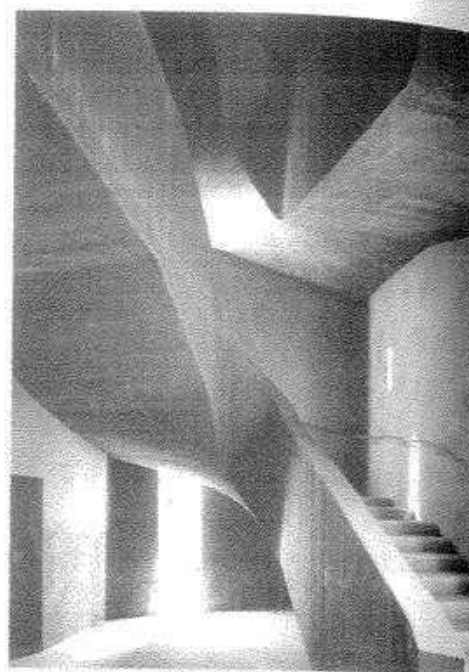


Fig. 37: No existe junta visible alguna

Esta torre pentagonal de escaleras se ha configurado como un espacio vertical muy expresivo. Se ha proyectado conscientemente como un elemento añadido al volumen principal para contrastar con los discretos espacios expositivos de la rehabilitación de este edificio.

Construida con hormigón visto y en voladizo, la escalera se enrosca en las paredes exteriores oblicuas a lo largo del hueco de escalera produciendo una impresión extrañamente orgánica. Para que este espacio adquiriese un carácter homogéneo, se cuidó especialmente que al verter el hormigón no aparecieran juntas visibles de las diferentes etapas del proceso de hormigonado. El parapeto y los tramos de la escalera se añadieron en una misma fase a las paredes exteriores de hormigón, construidas con anterioridad, lo que significa que debía construirse con hormigón una sección transversal en L, lo que dificultaba la compactación, pues no puede cubrirse ningún ángulo recto con el vibrador del hormigón. Las superficies afectadas por este hecho, en especial las huellas de la escalera y del suelo, se recubrieron con un pavimento, también homogéneo, de terrazo continuo vertido in situ. Las tablas del encofrado de los parapetos y las superficies inferiores dejan ver las juntas verticales, inevitables a lo largo de un desarrollo curvo que alcanza las cuatro plantas. Únicamente se lijaron, dándoles un tratamiento más noble, las superficies superiores de los parapetos.

Todos los elementos de hormigón visto, incluido el terrazo, son de color pardo rojizo, entonando de ese modo con la fábrica de ladrillo del edificio existente y haciendo que el espacio monocromo resultante aumente el efecto monolítico que produce la construcción.

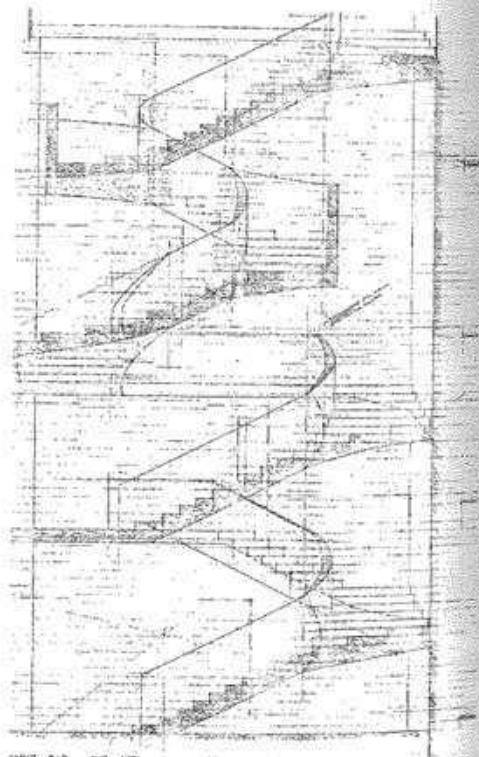


Fig. 38: Sección constructiva

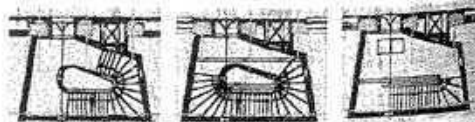


Fig. 39: Plantas baja, primera y segunda

La escalera como retícula espacial

Otto Rudolf Salvisberg: central térmica de la ETH, Zúrich, Suiza, 1935



Fig. 40: Vista del núcleo de comunicación vertical

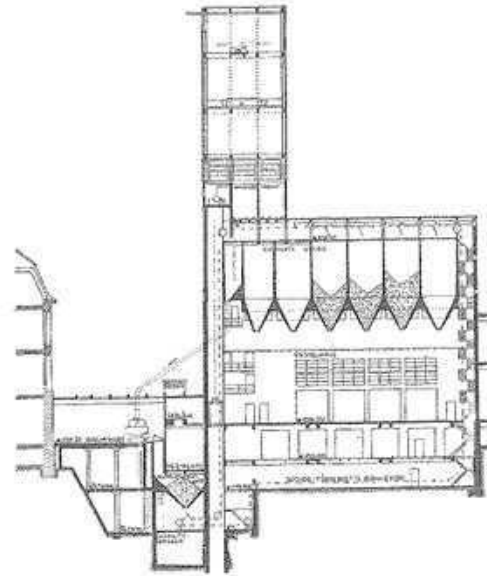


Fig. 44: Sección a través de la sala de calderas

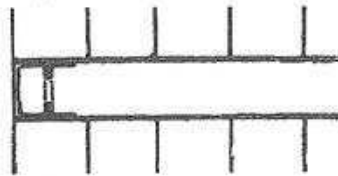


Fig. 41: Detalle del hueco de escalera

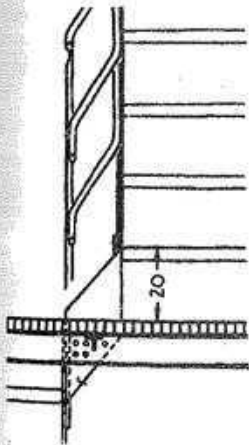


Fig. 42: Detalle en sección

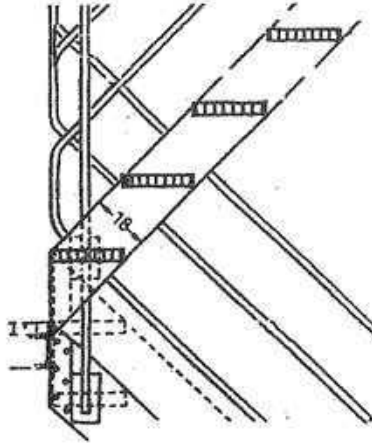


Fig. 43: Vista de detalle y sección de la barandilla

En el edificio de las calderas de esta central térmica, construido con muros macizos de hormigón y silos en embudo, se colocan dos estructuras transparentes, una de acero y otra reticulada, que estructuran la nave desarrollada en longitud sin que lleguen a dominar el espacio.

Una escalera de dos tramos situada en una esquina y con zancas de acero alcanza la vertiginosa altura del nivel donde se rellenan los silos. Por debajo de los huecos en embudo de los silos se extiende un altito transparente colgado de unas vigas y un entramado de acero que permite a los trabajadores el control de las bocas de salida.

Las zancas de chapa de acero de 18 cm de altura hacen las veces de vigas principales de la escalera y de los descansillos, que se atornillan directamente a las paredes de hormigón. En la zona del descansillo, la zanca de la escalera está doblada como un nudo corredizo, sin que se modifique su pendiente en la dirección transversal. La geometría resultante en las zonas de tránsito, en los descansillos, produce en los lados exteriores un acodamiento soldado poco convencional que armoniza, dentro de la imagen general, con la solución de detalle interior. Entre las zancas, sin que existan vigas secundarias, están atornillados directamente los elementos que estructuran la trama de acero, que adquieren así una fuerte presencia espacial como telón de fondo. Los perfiles tubulares de la barandilla están unidos a las zancas mediante pletinas y placas de acero atornilladas. En los puntos de encuentro con el hormigón, los tubos se atornillan directamente a la pared.

Aparte de un sistema constructivo sencillo y transparente, también el montaje directo de los elementos sobre la pared es responsable de que surja el efecto de una retícula espacial suspendida en el espacio.

La escalera como sistema constructivo macizo de madera

Conradin Clavuot: escuela de St. Peter, Suiza, 1998

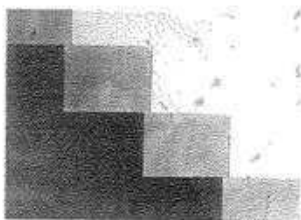


Fig. 45 & 46: Canto lateral de los escalones

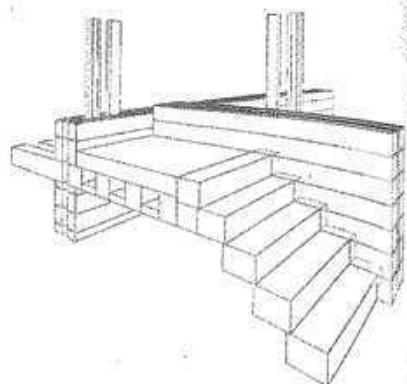
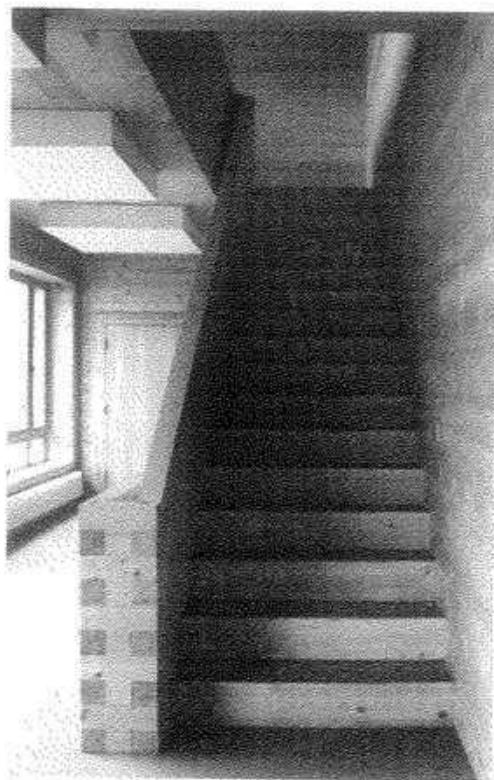


Fig. 49: Perspectiva

El espacio interior de la escuela de St. Peter se configura gracias a la presencia material de los tableros macizos de madera de pino apilados y trabados a soga. La escalera se integra sin solución de continuidad en ese concepto constructivo. Los peldaños se componen de piezas de madera sin tratar que parecen crecer a partir del módulo de las paredes, y salvan la luz entre el parapeto de la escalera y las paredes. En los primeros dibujos constructivos, los peldaños estaban empotrados en la pared (véase el dibujo en perspectiva), pero en la ejecución se renunció a ello porque las paredes de piezas de madera apiladas forman parte del sistema constructivo de placas estructurales que dan rigidez al edificio, y si se interrumpían las vigas no producía el mismo efecto. El apoyo en la pared se efectúa mediante una unión en espiga reforzada con un tornillo metálico oculto (véase la sección transversal). Los peldaños se sujetan desde abajo mediante un tornillo tapado con un taco de madera sobre los parapetos de madera ensamblada que salvan la distancia entre los forjados. Las piezas que componen el parapeto están unidas entre sí con barras atornilladas que trabajan como placas estructurales.

La madera maciza tiene la propiedad de sufrir contracciones en los primeros años y los consiguientes asentamientos. En esta escuela, el asentamiento por planta llega a alcanzar los 10 cm, de modo que el parapeto experimentó un ligero movimiento de rotación (previamente calculado). Esto significa que los peldaños están sometidos a una torsión mínima, porque sus dos apoyos experimentan diferentes movimientos motivados por el asentamiento. Debido a ello y a las contracciones de las piezas de la escalera, aparecieron pequeñas fisuras visibles entre las partes de madera que, en todo caso, no afectan en lo más mínimo al carácter general del edificio. La elegante desnudez de los elementos macizos asume este hecho sin ninguna dificultad e incluso refuerza el carácter expresivo del edificio.

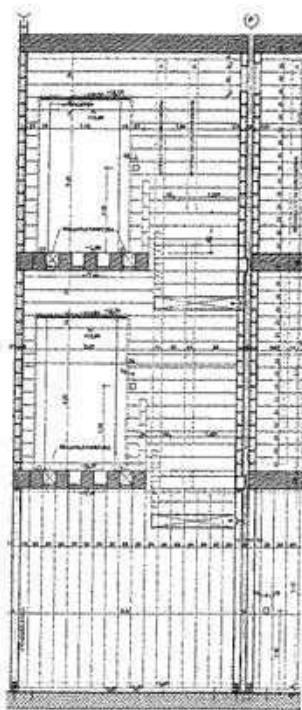


Fig. 47: Sección transversal

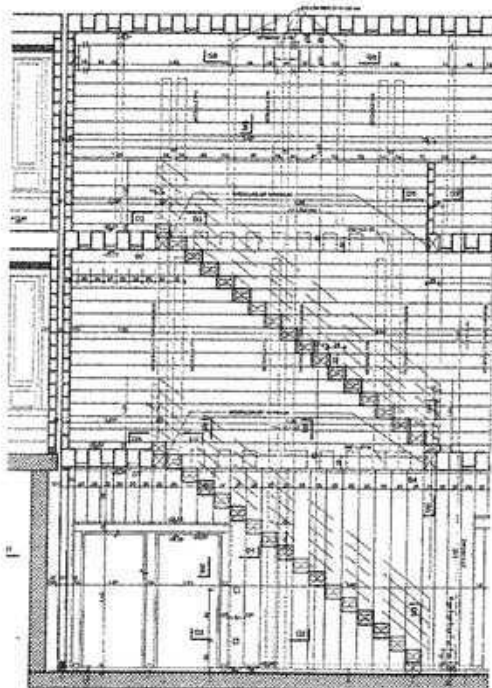
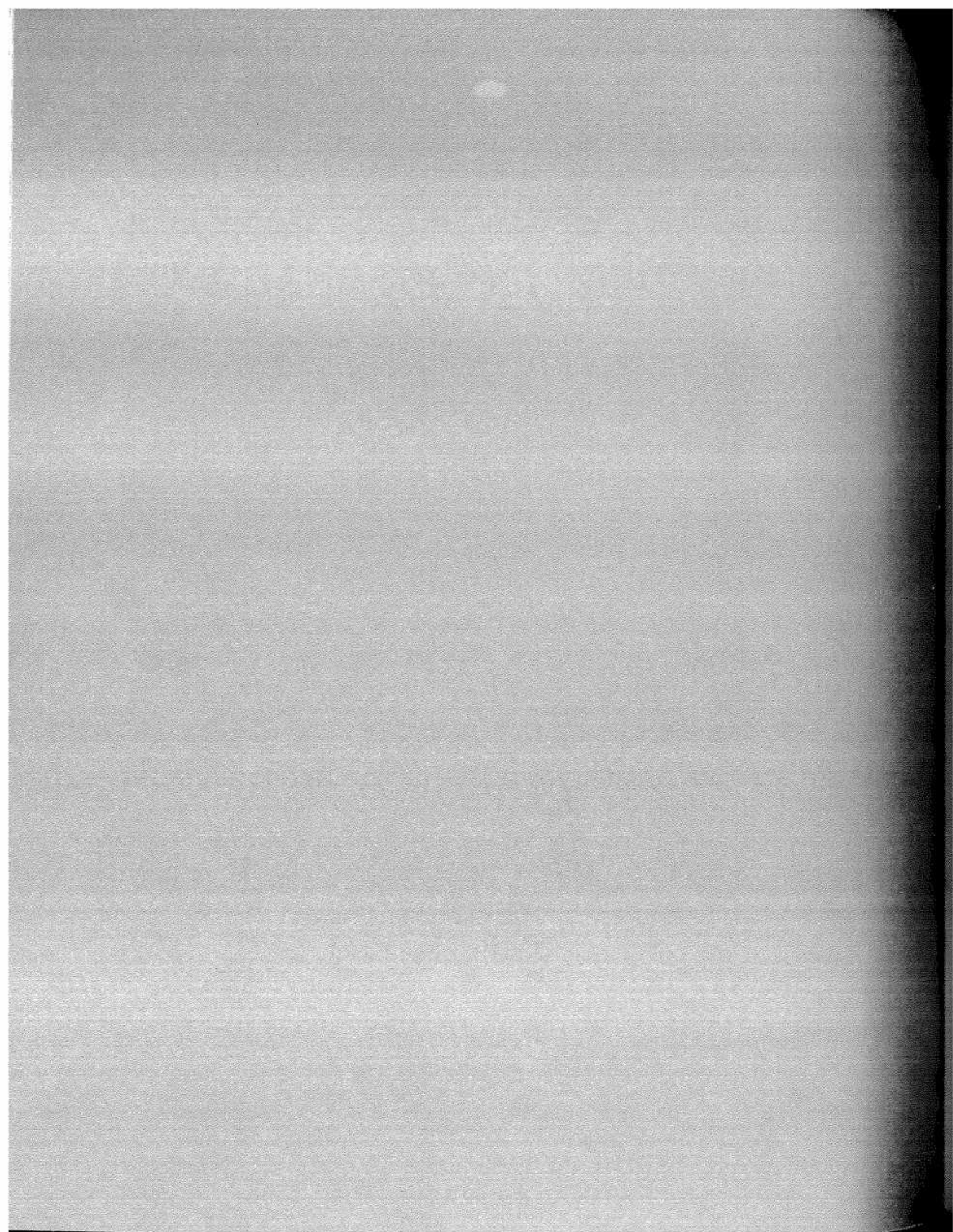


Fig. 48: Sección longitudinal

	Tipologías constructivas	Física aplicada a la construcción, energía
Introducción	Intento de establecer una sistemática para el desarrollo espacial horizontal y vertical	Permeabilidad: principios básicos de la arquitectura
Conceptos	Estructura espacial vertical en la construcción maciza: conceptos relativos a la sección	Sobre el problema de la transmisión del calor y la difusión del vapor: esquema de capas
	Estructura espacial vertical en la construcción maciza: conceptos relativos a la planta	Conceptos de aislamiento: sistemas complementarios
	Estructura espacial abovedada en la construcción maciza: sistemas constructivos con empujes verticales: arcos y bóvedas de cañón	Capa portante interior: Conceptos de aislamiento: sistemas complementarios
	Estructura espacial abovedada en la construcción maciza: sistemas constructivos con empujes verticales: cúpulas	Caso portante exterior: Sieta: reglas para la construcción de un edificio de base cuboidal aneolítico
Ejemplos	Sobre la masa pesada y la apariencia de pesadez: Asar Fench: un conjunto de almacenes fortificados en el sur de Tínez. Arquitectura plástica: la torre escocesa habitable	Low tech - high technology
Procesos	Fases del proceso de planteamiento. El proceso constructivo	
Sistemas	Sistemas constructivos de celdas especiales	
	Sistemas constructivos de placas	
	Sistemas constructivos de laminación o sandwich	
	Sistemas constructivos de muros y pilares	
	Sistemas constructivos de cerchas	
	EX. 2011	
Las estructuras en la arquitectura	Prescripciones constructivas sistemáticamente: sistemas constructivos	



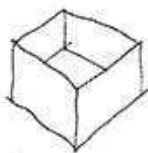
Intento de establecer una sistemática para el desarrollo espacial horizontal y vertical

Christoph Wieser,
Andrea Deplazes

La arquitectura crea espacios; el modo como cubrirlos es, en cierta manera, un código grabado en la planta, pues su expansión horizontal está estrechamente relacionada con la cuestión de su cubrición. Esta dependencia conduce a poder describir el desarrollo espacial horizontal y vertical en tres pasos. En un principio, las células espaciales sencillas, de dimensiones más bien humildes, surgen como consecuencia de las necesidades del individuo o de la comunidad. En un segundo paso, la superficie básica se amplía. La extensión máxima posible viene definida por el correspondiente modo de cubrición, cuyos límites, incluso con la técnica actual, sólo pueden modificarse hasta cierto punto, pues el sobreesfuerzo de tensión crece exponencialmente. Por este motivo se llega al tercer paso, el de la adición espacial, y con ella a la perforación de las células individuales para la producción de conexiones espaciales. En función de las necesidades, la extensión de la estructura espacial tiene lugar en la dirección vertical u horizontal. ¿Qué principios rigen la ampliación de la célula en estructuras espaciales complejas? ¿Qué repercusiones tienen desde el punto de vista constructivo los distintos procesos de crecimiento?

Primera parte: núcleo y modelo de pensamiento

La principal atención de la investigación debe centrarse en el establecimiento de las interdependencias entre la estructura espacial y la constructiva de un edificio. Una célula espacial sencilla sirve como modelo de pensamiento para el análisis de estas interdependencias. A partir de la misma se derivarán las posibles estrategias de ampliación. La observación simplificada del modelo debe concentrar su atención en los principios básicos establecidos. No se trata, pues, de realizar una exposición de la evolución cultural e histórica, sino de extraer las consecuencias de las hipótesis antes citadas. Los ejemplos elegidos ilustran y relativizan al mismo tiempo lo enunciado, pues la evolución planteada no pretende tener validez absoluta. En realidad, el desarrollo espacial es bastante más complejo, pues en la práctica depende de muchos y diversos factores, y las formas mixtas de todo tipo se imponen en la construcción cotidiana.



En favor de esta sencillez, imaginemos la célula espacial de planta cuadrada de unos 4×4 m y una altura de 2 a 3 m. Las medidas reales de las construcciones arcaicas, como tiendas o cabañas de piedra o de madera, eran de este orden. Estas dimensiones bien pudieron surgir a partir del radio que abarca los brazos y la fuerza corporal del hombre, y ser claramente observadas como un concepto constructivo referido a él, lo que les confiere un

carácter en cierto modo "genético". Por otra parte, el hombre ha sido consciente, desde siempre, del aprovechamiento del espacio de que disponía, independientemente de los materiales existentes.

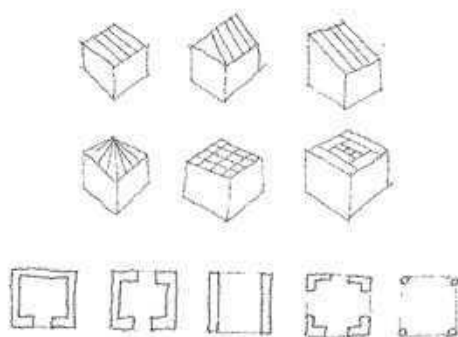
Observemos ahora la célula espacial con mayor detalle. A diferencia de un volumen como el cubo, que es el modelo más próximo al elegido, no presenta seis superficies limitrofes equivalentes, sino de diferente orden, correspondientes, según Bodo Rasch, a su delimitación constructiva, y que muestran la siguiente jerarquía: las paredes o muros son elementos límite primarios, la cubierta es un límite de segundo orden y, el suelo de tercero. La clasificación de la envoltura espacial en diversos órdenes hace referencia a las diferentes funciones que estos elementos deben satisfacer, tanto en un sentido simbólico como constructivo. Concentrémonos en las paredes y el tejado, puesto que ambos elementos son decisivos para la representación del desarrollo espacial vertical y horizontal. Dependiendo de que se trate de construcciones macizas o ligeras, se emplean distintas técnicas, pero, en todo caso, construcciones de carácter tan distinto deben llegar a soluciones equiparables.

Cubriciones

La cubrición de espacios ha constituido desde siempre una tarea muy exigente, porque los efectos de la acción gravitatoria se manifiestan inexorablemente: cualquier fallo de cálculo conduce a la ruina. Si bien la cubierta y los forjados de las construcciones macizas suelen ser ligeros (para reducir peso), en las construcciones ligeras no puede darse el típico cambio de material por motivos comprensibles. Una construcción ligera se cierra en cualquier lugar, desde luego, con muros (como en una construcción de entramado), pero la cubierta siempre se trata de la manera más liviana posible y no se carga con peso innecesario. La elección del tipo de cubierta dependía en épocas anteriores del material disponible. Hasta hoy, las propiedades de los materiales son un factor importante desde el punto de vista constructivo, pero también desde el formal. Las cúpulas macizas presentan propiedades distintas a las de las cubiertas con estructura plegada, o de vigas de madera o acero situadas en un mismo plano. Las cubiertas planas de hormigón armado en el siglo xx abrieron nuevas posibilidades.

Si la construcción es ligera, la cubrición de una célula espacial sencilla se realiza con vigas. Originariamente se empleaban pequeños troncos y ramas. Por lo general, se trata de sistemas regulares, a los que pertenecen todo tipo de cubiertas planas, con uno o varios aleros. Un rasgo común es que siempre existen los muros, que sirven de apoyo y, en este caso, se liberan de la carga del tejado.

Esta diferenciación permite la posibilidad de abrir ampliamente los frentes laterales de la construcción (o incluso suprimirlos), siempre y cuando la estabilidad transversal se asegure de otra manera.



Dentro de las construcciones ligeras también existen cubiertas no regulares utilizadas en cabañas cónicas o tiendas. Dentro de esta categoría se incluyen también las cubiertas piramidales, las construcciones regulares concéntricas, muy utilizadas con modificaciones, o los techos de casetones (si bien estos deberían definirse realmente como construcciones doblemente regulares).

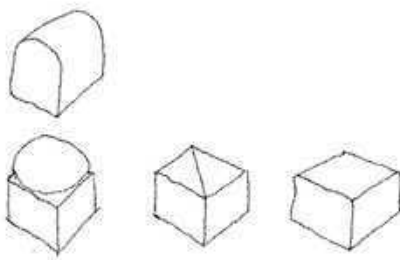
En la construcción maciza también hay varios tipos de cubiertas no regulares: bóvedas falsas construidas con hiladas de piedras sin argamasa —como aún pueden verse hoy en las *bories* de Gordes— cubiertas piramidales, cúpulas e incluso cubiertas planas de hormigón armado (las cuales, dependiendo de la colocación de la armadura, pueden disponerse regular o irregularmente). Las bóvedas de cañón se incluyen dentro de las construcciones macizas regulares.

Huecos

En ocasiones, el muro o la pared deben cumplir funciones en cierto modo contrarias: por un lado tienen que ser elementos portantes y, por otro, albergar aberturas como puertas y ventanas (tanto para conectar las diversas cé-



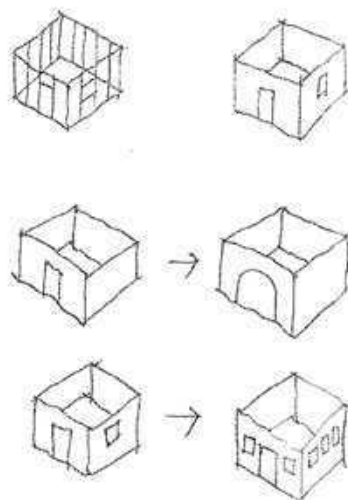
Fig. 1: Falsa cúpula de piedras apiladas
Bories, Gordes, Francia



lulas espaciales como para iluminarlas y ventilarlas). En las construcciones ligeras se comienza levantando un armazón a través del cual fluye el espacio. La segunda fase consiste en el cierre de este armazón con un límite espacial de paredes (no portantes). Por tanto, desde un punto de vista estructural, los huecos surgen dejando de rellenas partes del armazón. En construcciones macizas, donde los huecos suponen un vacío en el muro, debilitando por tanto su función estructural, el proceso es muy distinto. Esta condición limita el grado de apertura.

La necesidad de aumentar la dimensión de los huecos, o en ocasiones su número, se debe a varios motivos. Además de mejorar la iluminación natural, existen usos

que precisan aberturas amplias, por ejemplo, garajes o tiendas. El deseo de lograr una mayor apertura de huecos precisamente en la planta baja, debido a la instalación de locales públicos, es una contradicción, ya que ahí es donde se concentran el mayor número de esfuerzos y las solicitaciones estáticas son mayores. Para solventar tal contradicción, tanto en la construcción maciza como en la ligera, a lo largo de los siglos se han desarrollado diversas técnicas, que se exponen en la parte tercera.



Segunda parte: proceso de crecimiento horizontal

El deseo de ampliar la superficie del suelo lleva a un proceso de expansión horizontal. Si partimos de la célula sencilla, el desarrollo espacial tiene lugar fundamentalmente de dos maneras: mediante la ampliación del volumen de una célula individual o con la adición de espacios agregados que se conectan entre sí.

1. Estrategias de un único espacio

La ampliación de una célula espacial para crear una sala o una nave tiene como finalidad erigir un espacio de reunión o festivo capaz de albergar un elevado número de personas. Se conocen también diversas formas de volúmenes edificadas alargados y salas comunales —como las que construían los vikingos— en las que vivían clanes enteros. Cuando el volumen crece, aumentan también las dimensiones de los elementos estructurales relevantes: la altura constructiva de la cubierta y el grosor de la sección de los muros exteriores. Con todo, esto sólo es posible hasta un cierto grado, cuyo límite es la resistencia del material. Cuando se llega a dicho límite es necesario modificar el sistema constructivo, lo que origina un conflicto de intereses desde el punto de vista estructural para salvar luces mayores es preciso también el empleo de más material. Más material implica mayor peso propio y, con ello, una mayor complejidad de la estructura, lo que, a su vez repercute en la posibilidad de alcanzar mayores luces.

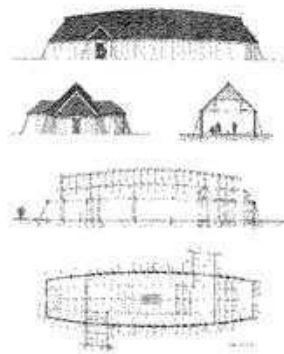


Fig. 2: Fyrkat
Reconstrucción de una gran sala vikinga



Fig. 3: Sección transversal por la cúpula de doble capa
Filippo Brunelleschi, Santa María del Fiore,
Florencia, Italia, 1418-1436

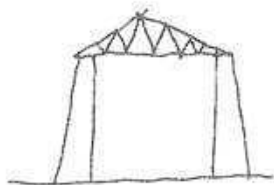


Fig. 4: Sección según Andrea Palladio, 1570
Panteón, Roma, Italia, 118-128

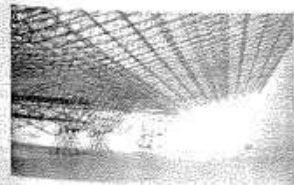


Fig. 5: Estructura ligera basada en un módulo
y en una longitud de barra normalizada
Konrad Wachsmann; maqueta de una retícula
tridimensional

Esta problemática se muestra de forma ejemplar en el proceso del proyecto y construcción de la cúpula de la catedral de Florencia. Las dimensiones de la nave principal y del crucero fueron determinadas mucho antes de que Filippo Brunelleschi encontrara la solución para cubrir ese espacio. Brunelleschi propuso una cúpula de dos ca-

pas o cáscaras que le permitía continuar sin interrupción, tanto interior como exteriormente, el grueso muro del tambor ya existente, por una parte, y, por otra, aligerar el peso que aguantaba la parte de la construcción situada debajo. Se trataba en este caso de salvar 42 m de luz.

En función de sus propiedades, las estructuras pueden clasificarse en "activas por su sección" y "activas por su forma". Las primeras se caracterizan porque los esfuerzos fluyen dentro de una sección no específica, que está parcialmente sobredimensionada y que, por tanto, contiene zonas estáticamente inactivas. Para reducir peso se emplea por lo general un material lo más ligero posible. Es el caso del Panteón, cuya cúpula se compone de una mezcla de hormigón que va aligerándose progresivamente en dirección a su vértice. Al mismo tiempo, el grosor de la cúpula también disminuye en altura, lo que la convierte en una estructura parcialmente optimizada, activa por su forma. En este tipo de estructuras, el flujo de fuerzas se convierte en un elemento generador de la forma, que se reduce hasta el punto en que sólo se consideran necesarias las partes estructuralmente relevantes. Típicos ejemplos de ellas son todas las construcciones de entramado, desde las más sencillas hasta las experimentales de Konrad Wachsmann, quien al perfeccionar la técnica de nudos desarrolló entramados espaciales de acero cada vez más atrevidos.

Pero también las sofisticadas estructuras pensadas para cubrir espacios sin necesidad de pilares llegan al límite de lo técnicamente posible y, por motivos de proporcionalidad, con frecuencia carecen de sentido. Por ello, ya en épocas tempranas apareció la basilica, un tipo espacial de varias naves cuya disposición hace que las cargas se repartan sutilmente. Los empujes originados por la cubrición de la nave principal se transmiten a las naves laterales, articuladas con aquélla. Con esta solución, el reparto de cargas permite no sólo la creación de un espacio de grandes dimensiones continuo, sino también una construcción sutilmente articulada, que conduce a otra solución estructural espectacular, la iglesia gótica. En ella se obtienen espacios interiores diáfanos y luminosos con una serie de elementos como los arbotantes, que,

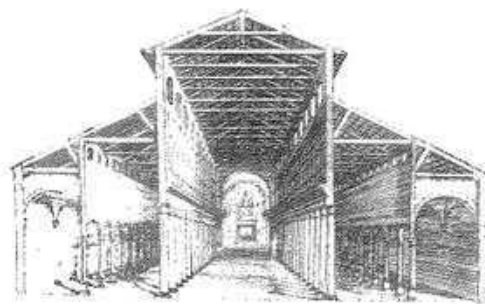


Fig. 6: Sección transversal de una basilica de cinco naves
Basilica de San Pedro anterior a la actual, Roma, Italia, siglo IV

dispuestos exteriormente a lo largo de las fachadas laterales, procuran el necesario equilibrio de fuerzas.

2. Estrategias de varios espacios

La basilica nos conduce a otro tipo de crecimiento espacial horizontal, a las estrategias de varios espacios, que a su vez comprenden dos grupos principales. Dependiendo del tipo de crecimiento, puede diferenciarse entre adiciones espaciales regulares y no regulares.

Adición no regular

La extensión del núcleo para crear varios espacios en su torno origina un agregado espacial. Si este surge sin jerarquía, es decir, si los distintos espacios se tratan de forma equivalente, entonces hablamos de una adición no regular. El motivo es muy normal: la necesidad de ampliar el espacio existente. A su vez, permite la diferenciación de espacios, pues las células añadidas no necesitan poseer ni la misma forma ni el mismo tamaño.

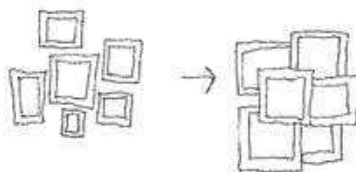
Algo característico de estos agregados espaciales surgidos de forma espontánea es su apertura ante diversas ampliaciones. El principio ancestral de la conexión geométrica libre de espacios independientes está presente tanto en la arquitectura tradicional de barro como en la arquitectura del iglú. Cada iglú individual se compone de una secuencia de espacios más altos y más bajos, mayores y menores. Son también conocidas las agrupaciones de varios iglúes para formar un recinto espacial propio. Un agregado de estancias de distintas proporciones y tamaños puede densificarse hasta el punto de que no quede ningún espacio residual. Una muestra de ello es la planta de la villa Adriana de Tivoli (118-134 d. C.), en la que este principio, especialmente en el ámbito de las pequeñas termas, se utiliza con ingenio y sentido del placer.

El concepto prototípico de un desarrollo espacial aditivo no regular se basa en la integración de estancias individuales y estructural y estáticamente independientes, en un conglomerado espacial complejo.

Esta integración produciría supuestamente una duplicación de los pilares en las construcciones ligeras y de



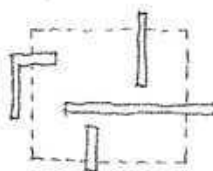
Fig. 7: Construcción de un iglú



los muros en las macizas, pero, en la práctica, esta duplicación se evita para economizar medios. Así pues, surgen ampliaciones de la estructura que afectan sólo a determinados ángulos y segmentos de muro, que adquie-

ren la estabilidad necesaria si trabajan conjuntamente con la estructura preexistente. El concepto de fluidez espacial propio del movimiento De Stijl, o el proyecto de Mies van der Rohe para una casa de campo de ladrillo (1924), pueden ser interpretados como un desarrollo radical y avanzado de éste método: la estructura cerrada de las distintas partes de muro unidas entre sí, se disuelve. Tanto los segmentos de muro como los ángulos se levantan aisladamente y delimitan sólo en parte los espacios situados entre ellos.

En estos casos también la cubrición del espacio es diferente. Por motivos técnicos y económicos, en los edificios tradicionales cada ámbito suele cubrirse de forma independiente. En caso contrario, la cubierta constituye una estructura interdependiente que actúa como una losa, lo que permite determinadas partes de la misma en voladizo.



El hormigón armado es un material idóneo para construir losas no regulares, si bien el calificativo "no regular" da a entender proporciones no precisas. Normalmente, las losas planas son también estructuras regulares, sólo que, después del vertido, sólo podemos apreciar el hormigón; pues las armaduras ya no quedan a la vista.

Junto a la variante moderna de una cubierta no regu-

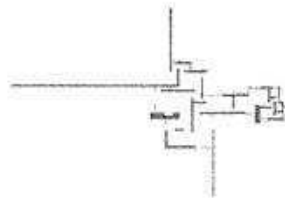


Fig. 9: Mies van der Rohe, casa de campo de ladrillo (proyecto), 1923-1924



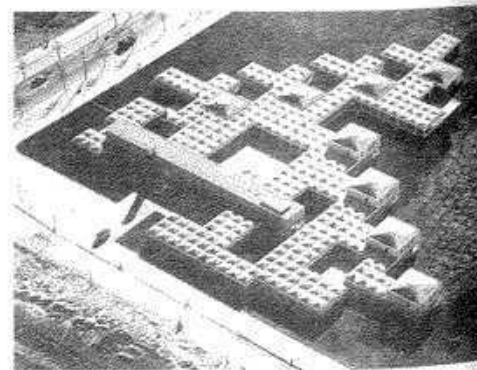
lar, o mejor dicho, ordenada regularmente en dos o más sentidos, existen también construcciones tradicionales de este tipo, entre las que se encuentran los sistemas de cubrición de las células con cúpulas, como los de las madrasas musulmanas, o los de una cubierta de madera. Los forjados de vigas de madera o de vigas encoladas, a

causa de su relativa limitación para cubrir luces mayores de alrededor de 5 m, son adecuados para agregados espaciales con numerosas células cerradas. Para lograr una mayor rigidez, las vigas se cambian de dirección en cada espacio. Los forjados planos de acero permiten una gran disolución de la estructura, puesto que las vigas de acero pueden cubrir grandes luces y, por tanto, concebirse para abarcar más de una célula. En todo caso, normalmente están contruidos teniendo en cuenta una jerarquía, por lo tanto, son regulares.

También las células espaciales cubiertas con cúpulas pueden unirse para formar espacios modulares complejos. Cuando los muros intermedios se disuelven en pilares, se conforma un gran espacio o varios espacios grandes. Un rasgo característico de estos grandes espacios es la importancia cada vez mayor que adquiere cada uno de los módulos, pues cada cúpula produce un efecto muy centralizador. Aldo van Eyck aprovecha inteligentemente estas características en su orfanato de Ámsterdam. Inspirándose en un zoco africano, Van Eyck proyectó una estructura alveolar donde cada célula se cubre con una cúpula. Para señalar los ámbitos espaciales, trabajó con cubiertas de mayores dimensiones y también con lucernarios individuales dispuestos en forma de corona. Además, empleó la flexibilidad de la estructura abierta para expandir el edificio, en correspondencia con la ampliación de las exigencias requeridas.

Adición regular

El segundo grupo de estrategias de varios espacios para la extensión horizontal de los edificios se basa en el crecimiento en hilera o radial. En la formación en hilera, los muros o paredes forman una sucesión lineal para configurar una estructura organizada por tramos o partes independientes. Un sistema constructivo de estas características es jerárquico y se construye tanto con muros longitudinales portantes como no portantes, que en este caso son simplemente elementos de relleno o arriostramiento. Esta configuración de lugar a espacios rectangulares alargados que, exceptuando los tramos primero y último, tan sólo pueden recibir luz natural a través del ha-

Fig. 10: Estructura alveolar cubierta con cúpulas
Aldo van Eyck: orfanato, Ámsterdam, Países Bajos, 1955-1960

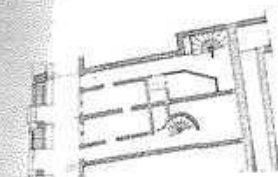
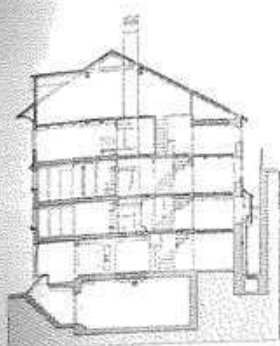
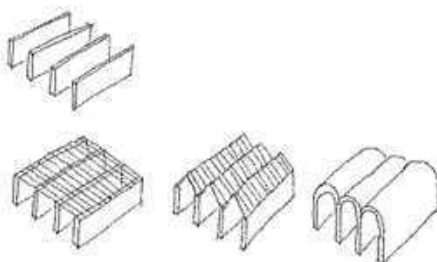


Fig. 11: Casas construidas en solares largos y estrechos en el centro histórico de Berna

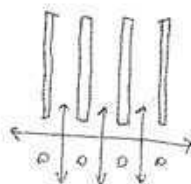
tial o de la cubierta. Si los tramos constructivos se cubren independientemente con tejados a dos aguas o bóvedas de cañón, se potencia el efecto, ya de por sí fuertemente regular, que produce este tipo de estructura.

La disposición de los espacios interiores discurre de forma paralela a los elementos de separación. Puede también pensarse en la extensión ilimitada de los espacios individuales en una dirección, mientras que su extensión transversal depende siempre de la "unidad" total del sistema constructivo. La distancia entre los elementos de separación de cada tramo constructivo será mayor o menor dependiendo del tipo de cubrición, pero este aspecto no modifica la ordenación regular de la planta primitiva.



Desde el punto de vista arquitectónico, y también estructural, resulta especialmente interesante la conexión transversal, con elementos constructivos de separación, de los espacios dispuestos en sentido longitudinal.

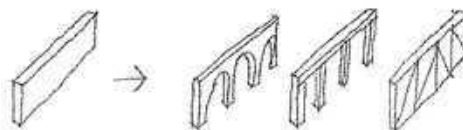
Las construcciones ligeras estructuradas en retícula son, debido a su naturaleza, casi permeables en todas las direcciones. Por su configuración espacial funcionan como una construcción maciza, a excepción de las construcciones de entramado de madera o textiles. La necesidad de conectar las células individuales llevó, ya en los mercados de Trajano en Roma, a taladrar los elementos de separación de los diferentes espacios en su parte anterior, de manera que quedasen unidos por un corredor que discurre



transversalmente. Un principio similar presenta el centro histórico de la ciudad medieval de Berna, donde los soportales que se abren a las calles se anteponen a los edificios estrechos y profundos, creando de este modo una zona pública que conecta las distintas casas entre sí.

Con la disolución del muro en arcos, y finalmente en pilares, se consigue un aumento cada vez mayor del grado de transparencia en sentido transversal.

Un ejemplo temprano de estructura organizada por elementos constructivos que separan ámbitos individua-



les, cubierta con bóvedas de cañón e integrada en un gran espacio, son las termas del palacio Qusayr Amra (711) que, en la actualidad, se erige en pleno desierto de Jordania: el vestíbulo de la entrada se cubre con tres bóvedas de cañón paralelas, cuyos elementos verticales de sustentación se abren prácticamente en su totalidad mediante arcos. A pesar de ello, el espacio mantiene su carácter longitudinal debido a la delimitación espacial determinada por las bóvedas de cañón. Esta superposición de las direcciones longitudinal y transversal resulta asimismo fascinante en las salas con columnas destinadas al culto de las mezquitas, como en la mezquita de Córdoba (785-961). Ampliaciones sucesivas la convirtieron en un grandioso espacio interior con 600 columnas, cubierto interiormente (como en la mayoría de las mezquitas con columnas), por un techo plano de madera. Los tejados se componen de un sistema constructivo con cerchas de madera, cuyas cubiertas a dos aguas reproducen la estructura del espacio interior.

El Kimbell Art Museum, construido por Louis I. Kahn en 1972 en Fort Worth, Texas, constituye una variante moderna del sistema de cubrición con bóvedas de cañón, en este caso de hormigón armado y que descansan sobre cuatro pilares, también de hormigón, que disuelven al máximo la separación entre los distintos espacios que cubren. En esta obra, Kahn contrapone la dominancia de las bóvedas orientadas longitudinalmente al recorrido

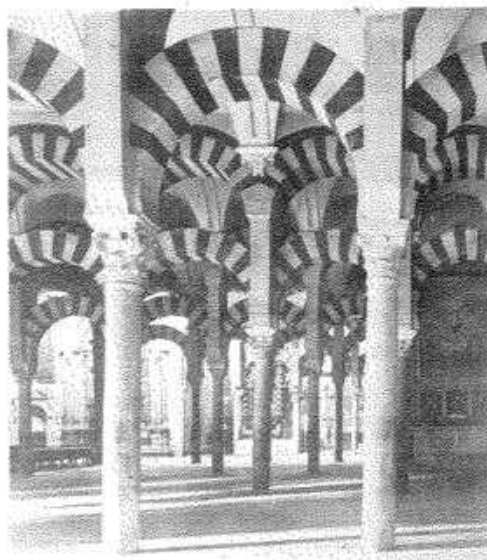


Fig. 13: Vista de la gran sala de columnas que muestra un sistema constructivo sólidamente resuelto a base de columnas y arcos independientes. Mezquita de Córdoba, España, 785-961



Fig. 12: Sistema constructivo con bóvedas de cañón independientes. Termas del palacio de Qusayr Amra, Jordania, 711

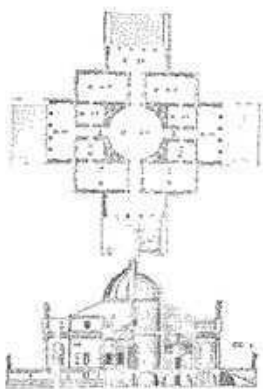


Fig. 14: Planta y sección
Andrea Palladio: villa Capra (La Rotonda), Vicenza,
Italia, 1567-1591

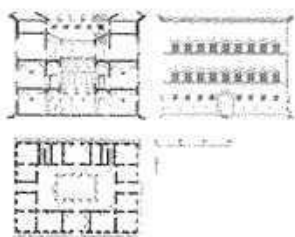


Fig. 15: Planta, sección y alzado
Giuliano da Sangallo: palacio Strozzi, Florencia,
Italia, 1489-1539

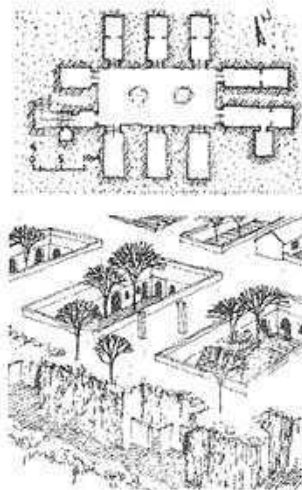


Fig. 16: Casas subterráneas, China

principal del visitante, que se desarrolla en perpendicular a las mismas. Desde la entrada principal, situada en el centro de la gran fachada alargada, los visitantes acceden al edificio en dirección transversal a la estructura y, desde allí, en sentido longitudinal, a las salas de exposición. En ellas, el espacio se amplía abarcando la anchura de varias bóvedas, y los visitantes las recorren en sentido transversal a la estructura.

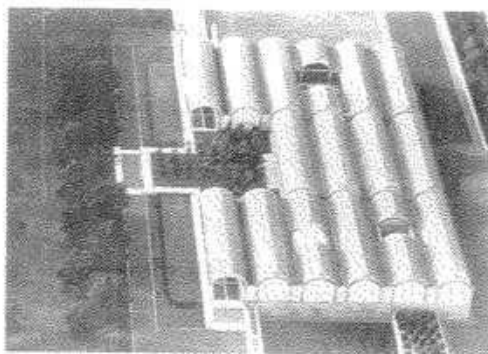
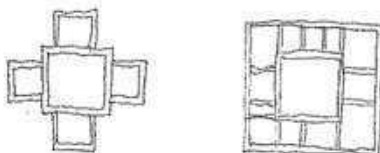


Fig. 17: Estructura de cubierta con bóvedas de cañón
Louis I. Kahn: Kimbell Art Museum, Fort Worth (Texas), Estados Unidos, 1972

Al grupo de conjuntos espaciales regulares, surgidos por adición, pertenecen también todas aquellas construcciones cuyas partes se desarrollan a partir de un espacio central.



Entre los edificios centrales erigidos de forma jerárquica, frecuentemente también simétricos, se cuentan palacios y muchas iglesias, con sus nichos y capillas laterales. Paul Frankl llevó a cabo un estudio sistemático de estas construcciones, mediante sencillos esquemas, en su libro *Die Entwicklungsphasen der neueren Baukunst* (1914). También obras profanas, como la villa Rotonda, construida por Andrea Palladio en Vicenza (1571), están organizadas frecuentemente de esa manera.

En el palacio Strozzi de Florencia, erigido posiblemente entre 1489 y 1539, según el proyecto de Giuliano da Sangallo, queda manifiestamente claro que el espacio central también puede ser un patio. Son interesantes al respecto las casas chinas y tunecinas enterradas en el suelo: las estancias individuales se agrupan en torno a un patio central. En caso de necesidad pueden ganarse espacios hasta completar una corona de células en torno al patio. Una vez

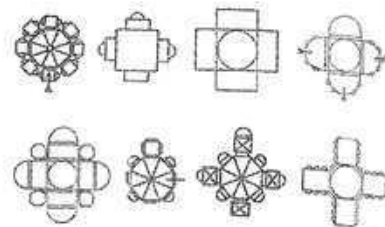


Fig. 18: Conjunto de espacios radiales
Del libro de Paul Frankl, *Die Entwicklungsphasen der neueren Baukunst*, 1914

completo, si se desea más espacio debe excavarse otro patio adicional con funciones de ventilación, iluminación y comunicación. Existe una relación directa entre la anchura de los espacios y la capacidad portante de la tierra arcillosa, o limo con contenido de cal.

Si la adición radial ha sido calificada de jerárquica, es en primer lugar por la organización del espacio, que consta de un espacio principal central y espacios anexos periféricos. Pero, además, el espacio principal suele tratarse con un sistema estructural distinto a los demás, lo que, sin lugar a dudas, tiene mucho que ver con las diferentes dimensiones a cubrir. En la arquitectura sacra, por ejemplo, se produce la combinación con cúpulas de piedra y cubiertas de entramado de madera para los espacios más pequeños. En las construcciones ligeras, por el contrario, el cambio de sistema no suele darse. Ante solicitudes diferenciadas de exceso de tensión en un determinado punto puede reaccionarse adoptando un sistema constructivo de cubierta diferente o reduciendo la distancia entre los soportes, así como con sus dimensiones.

Tercera parte: proceso de crecimiento vertical

Como ya se dijo en el caso del crecimiento de una célula espacial transformada en una sala, generalmente el crecimiento tiene lugar no sólo en sentido horizontal, sino también vertical. Es una cuestión que tiene que ver, sobre todo, con el uso, las proporciones y el bienestar, pues desde un punto de vista puramente constructivo se trata de una relación no forzada, ya que los grandes espacios de poca altura pueden cubrirse de igual modo que los espacios de grandes superficies con una altura elevada. Para un uso eficiente del material, el aumento en altura de las paredes o muros debe acompañarse del correspondiente cambio de su sección. Lo atestiguan tanto los escalonamientos de las plantas en los muros de las construcciones macizas como el cambio de sección en los pilares de las construcciones ligeras.

De igual modo, cuando a partir de una determinada altura es preciso emplear un andamio, éste puede dejar señal de su uso como elemento constructivo efímero y propio. Aunque se desmonte una vez concluida la obra, sus huellas pueden ser en cierta manera duraderas en el edificio, como sucede en la fachada trasera y la torre (1338-1348) del Ayuntamiento de Siena (1288-1309). Los rebajes de los cabezales de las vigas del andamio queda-

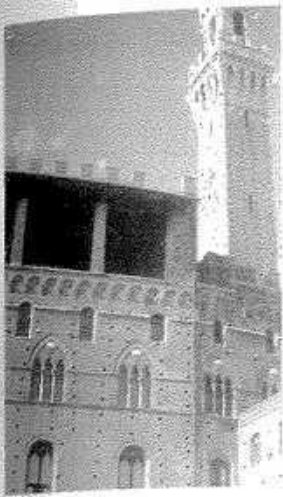


Fig. 19: Las rebajas para las cabezas de las vigas del entramado de madera son especialmente visibles en su fachada trasera. Ayuntamiento de Siena, Italia, 1288-1309, con la torre de la Marina, 1338-1348.

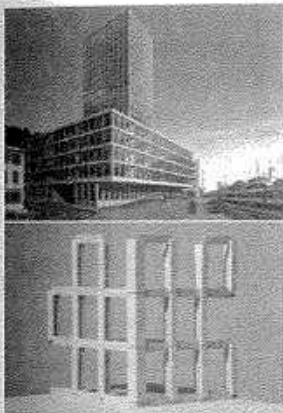


Fig. 20: Elementos de fachada formados con entramado prefabricado de hormigón visto. Güllari Höger, centro de especialización superior, Estación Norte de St. Gallen, Suiza, 2003-2010.

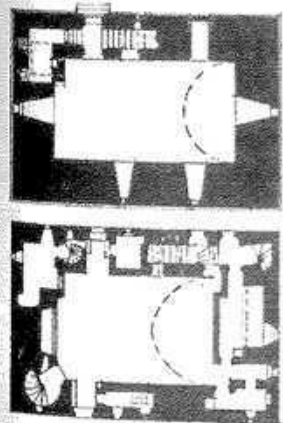
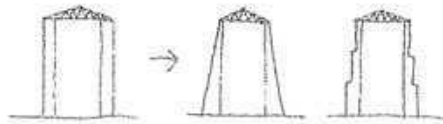


Fig. 21: Torreón habitable en Escocia. Torre Elphinstone, hacia 1440, plantas a nivel del terreno y primera.



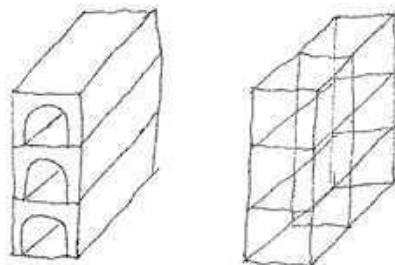
ron impresos como muestra irregular de esos huecos en la superficie de los muros de ladrillo. La construcción de rascacielos favoreció el desarrollo de técnicas constructivas que no requieren andamios (y no sólo por motivos económicos). Giuliani Höger ha convertido esta exigencia en el tema del proyecto para el centro de especialización superior de la Estación Norte de St. Gallen. Los elementos de fachada están concebidos como bastidores de hormigón visto compuestos de dos capas, configurados de tal forma que pueden encajarse por plantas, y es innecesario el sellado de juntas suplementarias. Las ventanas se montan interiormente y quedan perfectamente ajustadas en el bastidor prefabricado de medidas exactas.

En esta tercera parte se trata sistemáticamente de la superposición de espacios individuales y sistemas espaciales para constituir edificios de varias plantas. Las cuestiones relativas a la cubrición de tales espacios pueden dejarse de lado porque ya han sido tratadas. Sin embargo, la construcción de los forjados cobra una gran relevancia en este apartado. También es posible diferenciar dos categorías fundamentales en el desarrollo espacial vertical, cada una de ellas tiene, a su vez, diversas posibilidades. Lo esencial para la clasificación en uno u otro grupo es el concepto relativo a la absorción de los esfuerzos verticales en cada caso.

1. Superposición espacial

La posibilidad más sencilla para el desarrollo espacial vertical es la superposición de espacios con idéntica estructura portante.

De un modo simplificado, en este método la planta baja se multiplica de tal forma que la posición de muros portantes y de los pilares coincide en todas las plantas. Cuando el incremento de plantas se alcanza mediante una sencilla superposición, cada una de ellas constituye una unidad constructiva autónoma. Eso sí, es preciso entonces observar el aumento de las sollicitaciones de muros y pilares a medida que descendemos hacia las plantas más bajas del edificio.



Un ejemplo de edificio formado por dos plantas de bóvedas es el almacén fortificado (*ksar*) para aprovisionamiento de víveres y mercado de Ferich, en Túnez, que se compone de una sucesión de espacios superpuestos o *ghorfas* (en árabe, espacio), cubiertos por bóvedas de cañón, cada uno de los cuales pertenece a una familia. Los suelos de la planta primera no son planos, puesto que la curvatura de la bóveda situada debajo no se ha allanado por completo.

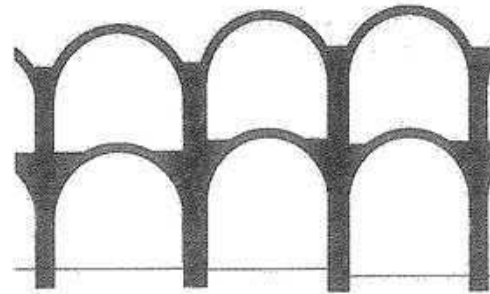


Fig. 22: Sección transversal. Ksar Ferich, almacén fortificado, Túnez.

A pesar de lo fascinante que puede resultar la adición de espacios abovedados para crear edificios de varias plantas, en cierto modo complejos —como muestra la torre Elphinstone, un torreón habitable escocés del siglo xv—, este concepto constructivo no resulta rentable para la mentalidad actual: los forjados intermedios precisan demasiado espacio y material. De este modo, en la torre para residencia y defensa real erigida en Vincennes (a partir de 1361), la bóveda ocupa la mitad de la altura de la planta. Por este motivo, los forjados fueron sustituidos en la medida de lo posible por techos planos de vigas de madera, de modo que la construcción maciza se benefició de los principios de la ligera, evolucionando hacia un procedimiento constructivo mixto más pragmático.

Estrategias de adición frente a estrategias de división

Puesto que este hecho no sólo tiene consecuencias constructivas, sino también conceptuales, tales soluciones pertenecen a un segundo subgrupo de edificios con idéntica estructura portante. Dentro del primer grupo, al menos de la observación del modelo más sencillo, se deduce que los elementos verticales y horizontales son equivalentes. Por el contrario, dentro del segundo grupo se introduce una jerarquía: los muros o pilares se convierten en elementos principales, los forjados en secundarios.

Esta nueva revalorización puede apreciarse tanto en las construcciones macizas como en las ligeras. Frente a los entramados de madera tradicionales, concebidos por plantas, el sistema de *balloon frame* norteamericano presenta por lo general pies derechos de dos plantas de altura, a los que se sujetan los forjados intermedios. Algo similar sucede en la construcción con acero, donde tam-

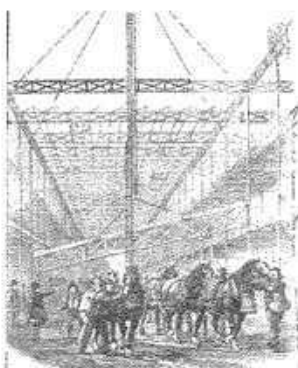
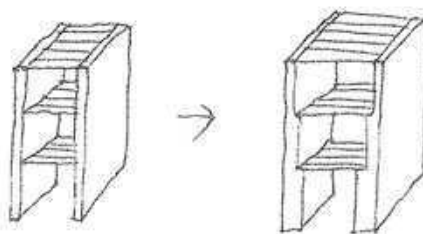


Fig. 23: Joseph Paxton: Crystal Palace, Londres, Reino Unido
Edificio para la Exposición Universal de 1851



bién podemos encontrar ambos procedimientos constructivos. El Crystal Palace erigido por Joseph Paxton en Londres para la Exposición Universal de 1851, una obra pionera y con gran repercusión en la construcción de vidrio y acero, fue levantada planta a planta. El principio del sistema constructivo empleado por Fritz Haller es básicamente el mismo, y su parecido formal con la obra de Paxton resulta sorprendente (incluso tanto en la configuración de los perfiles de los forjados como en las vigas del entramado). Hace tiempo que los forjados de las construcciones de acero no son de madera (como en el Crystal Palace), sino que el entramado de las vigas se sustituyen por planchas trapezoidales. Sobre éstas se vierte hormigón para conseguir la masa constructiva adecuada, tanto desde el punto de vista acústico como energético. La evolución de los forjados se aleja cada vez más del principio constructivo que emplea vigas y elementos de relleno, y se acerca óptimamente, también cada vez más, a los forjados planos de hormigón armado. El problema principal de todos los edificios ligeros reside en llevar a cabo una ejecución lo más sencilla posible de las superficies muy transitadas, por medio de elementos secundarios.

En un sistema constructivo macizo se ve claramente que los edificios del segundo subgrupo se han concebido, en contraposición a los del primero, no aditivamente sino por división: los forjados se tienden entre los muros que discurren a lo largo del edificio en toda su altura, proceso que puede percibirse también por el cambio del material (como en las torres medievales). A pesar del carácter propio de un sistema que se lleva a cabo por plantas independientes, el mismo proceso posibilita que las vigas den estabilidad al muro durante su construcción. Esta particularidad de las construcciones mixtas alcanza una belleza especialmente significativa en un proyecto que Adolf Loos patentó, la Casa con un muro (1921), y que necesita sólo un muro portante porque se concibe como una unidad de un conjunto de casa en hilera, de tal modo que el segundo muro, perteneciente a la casa colindante, pueda colaborar en la absorción de los esfuerzos estáticos. Los forjados, de vigas de madera, se apoyan en las paredes divisorias, y las fachadas, también de madera, se fijan asimismo lateralmente al frente de dichas vigas.

Este mismo principio complementario y extraordinariamente económico lo utilizó Loos, con modificaciones, en sus famosas casas. Especialmente, éstas se conciben como una estructura espacial compacta, formada por

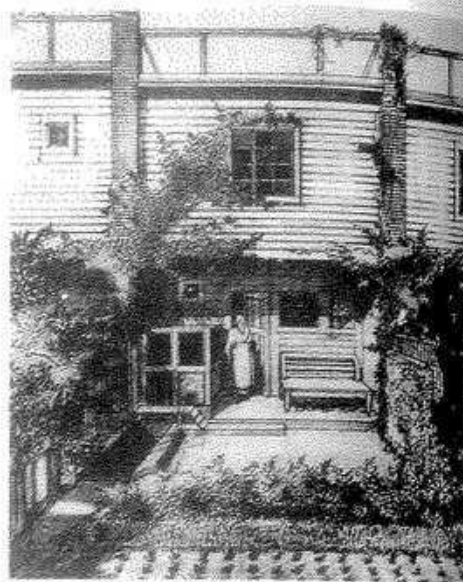


Fig. 25: Adolf Loos: casa con un muro, 1921

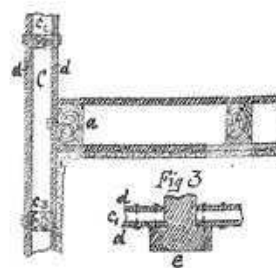
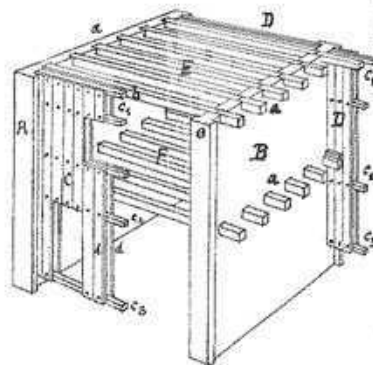
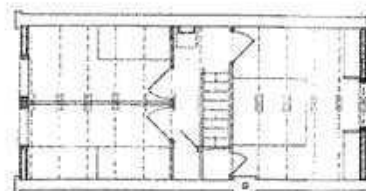


Fig. 26: Planta y detalles constructivos
Adolf Loos: casa con un muro, 1921

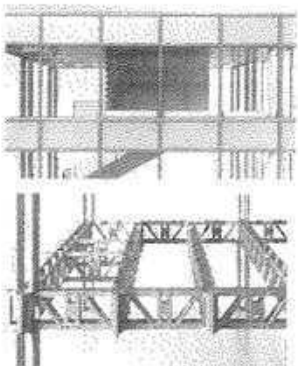
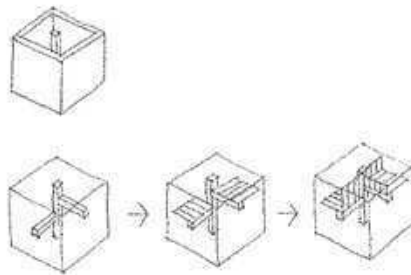


Fig. 24: Fritz Haller: sistema de cerchas Miti



Fig. 27: Vista desde la sala de estar hacia el comedor, situado a mayor altura. Adolf Loos: casa Müller, Praga, República Checa, 1930.

habitaciones de altura y dimensiones diferentes. En todo caso, el llamado *Raumplan* (organización del espacio) no está concebido constructivamente de forma aditiva, como podría desprenderse de la visión espacial, sino como división. Loos partía clara y preferentemente de un volumen sencillo, regular, próximo al cubo, y lo descomponía en partes individuales con el fin de conseguir un efecto espacial y la armonía del conjunto. Esta afirmación se sustenta en el análisis del armazón constructivo: los muros exteriores se configuran como elementos portantes y uno o varios pilares centrales reducen considerablemente las luces. La configuración espacial tiene lugar paso a paso.

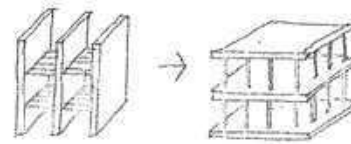


Posteriormente se complementa la estructura portante maciza con las vigas necesarias, la mayoría de las veces de madera. Sobre ellas descansan los forjados, también de madera. Los elementos horizontales de cierre del espacio no soportan paredes portantes de madera o yeso. Sorprende, sin embargo, la complejidad espacial alcanzada con un sistema constructivo tan sencillo. Loos logró este resultado de modo sorprendente en la casa Müller (1930) de Praga, donde modificó el sistema constructivo en función de las luces: la estructura portante principal está formada por cuatro pilares de hormigón armado con sus correspondientes vigas y los muros exteriores de ladrillo, mientras que los elementos de separación que se intercalan entre los distintos espacios son de madera o yeso.

Disposiciones verticales frente a disposiciones horizontales

Recordemos una vez más las características constructivas del denominado segundo subgrupo: la introducción de una jerarquía entre los elementos horizontales y verticales condujo a un sistema mixto de construcción que incorpora forjados de sistemas ligeros entre muros macizos. Esta modificación aumenta la variabilidad del sistema en sentido vertical —tal y como muestran los edificios de Loos— pero, por el contrario, el juego espacial se ve limitado en el horizontal por los muros de carga.

El descubrimiento de los sistemas de pilares y losas de hormigón armado a comienzos del siglo xx, supuso un cambio total de valores. Es lo que constituye el tercer subgrupo dentro de la superposición de espacios con



idéntica estructura portante: la disposición y la permeabilidad verticales se disuelven por medio de una superposición de plantas que funcionan casi de manera autónoma y cuya división es totalmente libre, pero que, en sentido vertical, por el contrario, se limita con claridad por la distancia entre los forjados. Le Corbusier visualizó este cambio total de concepciones con su sistema Dom-ino en 1914, y posteriormente, en 1927, lo desarrolló en un programa arquitectónico en sus famosos "cinco puntos para una nueva arquitectura". Claro está que este sistema permite también realizar penetraciones espaciales verticales, aunque su realización resulta costosa pues, como muestra la observación de los edificios de oficinas modernos, en las construcciones que racionalizan su presupuesto la estratificación horizontal es una característica constante.

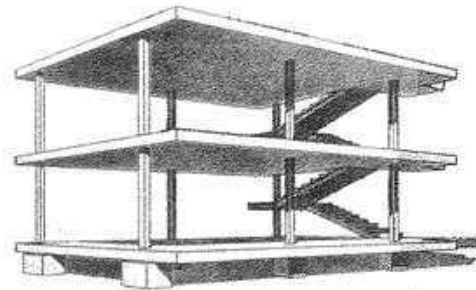


Fig. 29: Sistema elemental de pilares y losas. Le Corbusier: sistema Dom-ino, 1914.

Algunos proyectos de Rem Koolhaas y OMA constituyen intentos interesantes de ruptura de la horizontalidad del sistema de losas y pilares.

Así sucede en el proyecto para el intercambiador de Zeebrugge (1989), en el que Koolhaas pretende introducir un concepto dinámico integrando parcialmente, por medio de una compleja estratificación, losas estructurales en la retícula de pilares. O en su aportación al concurso para las bibliotecas Jussieu en París, 1993, donde la estratificación horizontal se convierte en una banda continua de planos inclinados.

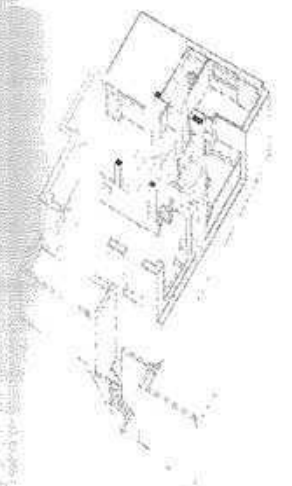
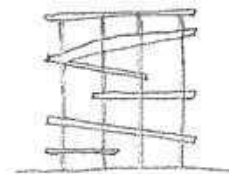


Fig. 28: Axonometría de los espacios principales con los pilares de hormigón armado. La sección se ha señalado en negro. Adolf Loos: casa Müller, Praga, República Checa, 1930.

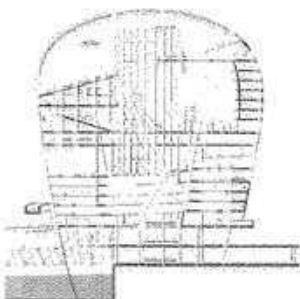


Fig. 30: Sección transversal del proyecto del concurso OMA/Riem Koolhaas: intercambiador de Zebrugga, Bélgica, 1999



Fig. 31: Maqueta para el concurso OMA, Rem Koolhaas: bibliotecas Jussieu, París, Francia, 1993



Fig. 32: Tapiz de Bayeux, hacia 1077

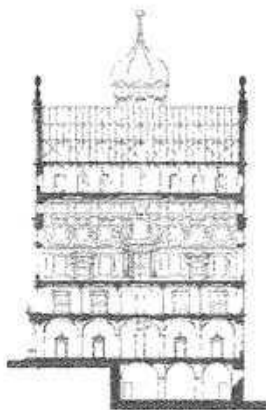
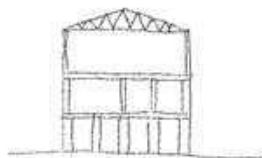


Fig. 33: Ayuntamiento de Ausburgo, Alemania. Sección

2. Estructuras portantes que cambian

El segundo modelo de procesos verticales de crecimiento abarca todas las posibilidades inherentes a una estructura que varía de planta a planta. También aquí pueden establecerse tres subgrupos. El primero de ellos es también, desde un punto de vista histórico, el más antiguo, puesto que constructivamente puede considerarse el más sencillo. Encierra conceptos que basan la estructura portante, de abajo hacia arriba, en un aligeramiento continuo de la misma.



El principio es evidente: allí donde se concentran las mayores cargas, la estructura portante se compone del mayor número posible de elementos. La distancia entre los elementos portantes puede aumentar entre una y otra planta, pues las cargas disminuyen en altura. Esto implica que los espacios más pequeños se encuentran en la planta baja y los mayores en las plantas superiores. El tipo probablemente más temprano es la sala medieval, de dos o más plantas, que comprende una planta baja frecuentemente abovedada, de reducida altura, así como una gran sala representativa en la planta primera y —bien junto a ella, bien por encima— una zona para la vivienda. Normalmente el acceso a la sala tiene lugar por medio de una escalera exterior. El tapiz de Bayeux (hacia 1077), ilustra con mucha claridad la diferenciación espacial entre las distintas plantas. La planta noble (*piano nobile*) indica el piso situado sobre la planta baja, y su denominación que ha llegado hasta nuestros días. No sólo existen ejemplos históricos de plantas bajas densas con espacios mayores y de más altura por encima de ellas. Staufner & Hasler reinterpretan este concepto en la escuela cantonal de Wil, traduciéndolo a una construcción contemporánea de madera. Su referencia es el ayuntamiento de Ausburgo, donde existen tres salas superpuestas, la mayor de las cuales, la Sala Dorada, se encuentra en el segundo piso. La escuela de Wil muestra una estratificación semejante, sobre todo en el ala de cuatro plantas donde se sitúa el acceso. Sobre la planta de entrada, con el salón de actos, y la segunda con la sala de música y la biblioteca, se sitúan espacios no sólo de una gran amplitud, sino también de una altura elevada. La planta tercera se compone no sólo del espacio libre correspondiente a la doble altura de las salas citadas, sino también de una galería perteneciente a la biblioteca.

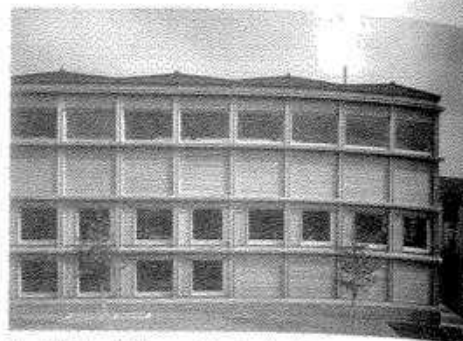
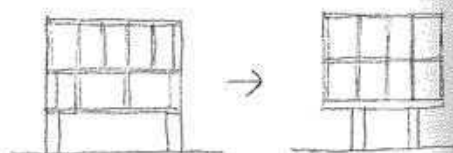


Fig. 34: Staufner & Hasler: escuela cantonal en Wil, Suiza, 2004

Planta baja libre

A pesar de que la colocación de los espacios más amplios en las plantas superiores resulta una solución obvia desde el punto de vista estructural, las condiciones de uso exigen con frecuencia una inversión de las relaciones. Ya se indicó la contradicción que supone la concentración de las mayores cargas en la planta baja y, a su vez, los deseos de lograr una gran permeabilidad en ella para acentuar su carácter público (en particular en un contexto urbano). Llegados a este punto, debe indagarse con qué estrategias resulta factible esa pretensión. Con ello llegamos a un segundo subgrupo, aquél que, por medio de un sistema constructivo capaz de absorber los esfuerzos ejercidos sobre la planta baja, hace posible una inversión de la jerarquía espacial.



Existen diferentes formas de sistemas constructivos que, en esquema, se asemejan al de una mesa. Sin embargo, estructuralmente todos ellos se enfrentan al mismo problema: las cargas de los pisos superiores tienen que ser absorbidas, en último término, en el forjado situado sobre la planta baja, para, a partir de allí, concentrarlas en unos pocos pilares o placas estructurales y conducir las hasta el terreno. En este tipo de soluciones no sólo debe prestarse atención a la solidez de la estructura, sino también a la búsqueda de una solución para los conductos verticales por donde discurren las instalaciones y para los núcleos de comunicación vertical. Por este motivo, en la Unité d'Habitation de Marsella de Le Corbusier, construida en 1952, el arquitecto concibe el forjado de la planta primera, situado sobre una planta de acceso libre, como "planta técnica" transitable o *terrain artificiel*.

La construcción de conjunto escolar Leutschenbach en Zúrich, de Christian Kerez, produce un efecto especial-

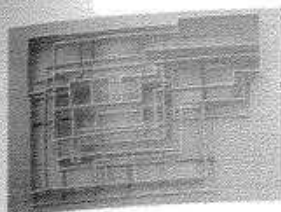


Fig. 35: Maqueta de cartón
Giuliano Hönger: facultad Sihhof, Zúrich, Suiza,
2003



Fig. 36: Christian Kerez: edificio de viviendas
en Zúrich, Suiza, 2003

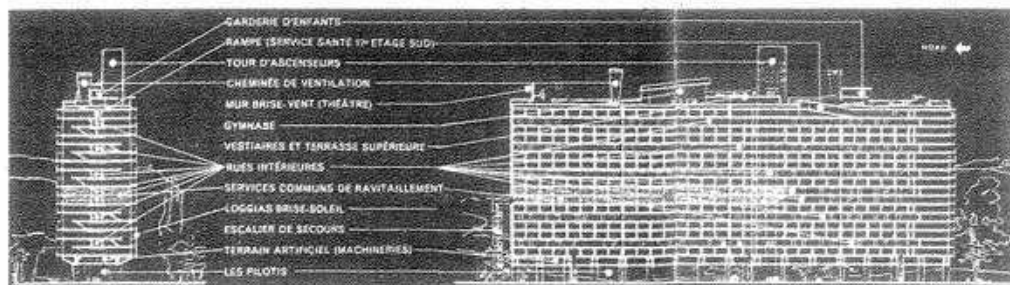


Fig. 37: Le Corbusier: Unité d'Habitation, Marsella, Francia, 1952

mente audaz: desde luego, el paisaje no fluye a través de la planta baja como exigía Le Corbusier, pues el edificio se sostiene tan sólo sobre seis pilares triples de acero. Los grandes volúmenes en voladizo no son posibles por la conformación en caja del forjado de la primera planta, sino gracias a las cerchas de acero de varias plantas que actúan estáticamente como placas estructurales (véase el capítulo "Construcciones").

Para explicar los principios de la tectónica de placas estructurales en construcciones macizas Jürg Konzett utiliza como ejemplo, entre otros edificios, la escuela Volta de Miller & Maranta en Basilea. El espacio de mayor altura de este edificio, el doble gimnasio, se eleva una planta por encima del terreno. Sobre el mismo se encuentran cuatro plantas con las aulas. La construcción de un espacio libre de pilares como el del gimnasio es factible gracias a un sistema de placas pretensadas de hormigón, cuya altura estática se extiende sobre las cuatro plantas.

Tectónica de placas estructurales

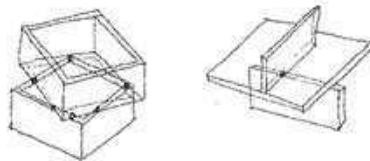
El relativamente joven procedimiento de la tectónica de placas estructurales nos conduce todavía al último grupo de posibilidades para resolver cambios estructurales en las plantas de los edificios. Los forjados y las placas trabajan conjuntamente desde el punto de vista estático y, en cuanto elemento "rígido", definen a su vez el espacio

placas y pilares), en cada caso los campos de fuerzas son específicos y diferentes de una planta a otra. Algo característico en este juego cambiante de los elementos portantes en el sentido vertical, son tanto la posibilidad del desplazamiento en planta de los mismos como su construcción sintética: todos los elementos se condicionan entre sí y se armonizan entre ellos de forma que, gráficamente hablando, no se alcanza el equilibrio de fuerzas necesario hasta concluir el último muro.

Es posible imaginar también aquí diferentes concepciones espaciales, desde las plantas que dividen el espacio en diferentes ámbitos hasta las que lo disuelven con placas estructurales. Un ejemplo de la primera concepción es la facultad Sihhof en Zúrich, de Giuliano Hönger, con sus dos patios interiores desplazados. En la maqueta de cartón, donde se han desplazado conscientemente los forjados, se observa la coincidencia sólo parcial de los muros portantes. El edificio de viviendas de Christian Kerez en Zúrich se disuelve por el contrario en placas estructurales perpendiculares entre sí, que solo coinciden, descansando unas sobre otras, en la caja de la escalera. Dado que la fachada está totalmente acristalada, resulta claramente visible el juego dinámico de los muros en los distintos pisos, incluso una vez concluida la obra.

Conclusión

Las numerosas indicaciones a propósito de los efectos que produce una determinada estructura, especialmente en el tercer apartado, no es casual: la fuerza de gravedad tiene consecuencias espaciales y estructurales mucho más decisivas para el desarrollo vertical del espacio que para el horizontal. Es preciso valorar siempre las consecuencias correctamente. También hay que valorar las consecuencias urbanas de determinadas decisiones constructivas que desafían de algún modo a la gravedad y que requieren actuaciones cuidadosas. Una vez más, la construcción no es una cuestión que pueda observarse de forma aislada, sino una componente integral del pensamiento arquitectónico. Los espacios de la arquitectura se construyen materialmente. Ello exige conceptos espaciales y constructivos ingeniosos; ambos se encuentran completamente imbricados.



de forma fija, o lo insinúan, como sucede en la ya citada casa de campo de ladrillo de Mies van der Rohe. La transmisión de esfuerzos de planta a planta no es por lo general homogénea a lo largo de toda la longitud de cada placa individual. Existen puntos donde las solicitaciones son más o menos intensas. Podría exagerarse diciendo que las cargas verticales se transmiten en puntos concretos configurándose una suerte de "pilares virtuales" de una altura equivalente a la de una planta.

Dado que los pilares virtuales no descansan unos sobre otros (como sucede en una estructura clásica de

NOTAS

- Resch, Rüdiger, "Baukunst: gestaltendes Begreifen. Ein Plädoyer für die Moderne", en *Deutsche*, 18, diciembre de 1985, pág. 102.
- Citado en Savilian, Howard, Filippo Brunelleschi: The cupola of Santa Maria del Fiore, Zwemmer, Londres, 1990.
- Citado en Novick, Peter, y Easton, Robert: Native American architecture, Oxford University Press, Nueva York, 1988, págs. 186-197.
- Frankl, Paul, Die Entwicklungsphasen der modernen Baukunst, Teubner, Leipzig/Berlin, 1914, págs. 23-36.
- Esto se desprende de la afirmación de Adolf Loos: "La construcción está sujeta a la idea espacial", Loos, Adolf, "Das Prinzip der Bekleidung", en *Neue Freie Presse*, Viena, 4 de septiembre de 1896 (versión castellana: "El principio de revestimiento", en Adolf Loos: Escritos 1897-1909, El Croquis Editorial, Madrid, 1993, págs. 151-157).
- Sobre la casa Müller y su construcción, véase: Kuhn, Christian, Das Schöne, das Wahre und das Richtige, Bauwelt Fundamente 86, Braunschweig/Wiesbaden, 1999; y Van Duzer, Lucio, y Kleinman, Kent, Villa Müller. A work of Adolf Loos, Princeton Architectural Press, Nueva York, 1994.
- Abrecht, Uwe, Der Adelssitz im Mittelalter: Studien zum Verhältnis von Architektur und Lebensform in Nord- und Westeuropa, Deutsche Kunstverlag, München, 1995, pág. 22.
- Konzett, Jürg, "Tragende Scheiben im Hochbau", en *Werk, bauen + wohnen*, 9, 1997, págs. 35-39.

Estructura espacial vertical en la construcción maciza

Conceptos relativos a la sección

El principio de la construcción maciza aprovecha el fenómeno físico de la gravitación:

- masa - carga propia;
- interrelación de los elementos murarios: principio "cierre de cremallera" (ladrillo, piedra, construcciones mixtas);
- mortero de juntas entre los elementos murarios: principio "adhesivo", incremento de la resistencia al rozamiento (adhesión) entre los elementos murarios;
- solidez (estabilidad) y capacidad de resistencia: principio "base amplia, coronación estrecha del muro", objetivo: utilización optimizada del material de construcción.

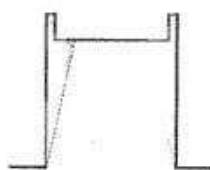


Fig. 38: Muro recto
Sección transversal
sobredimensionada

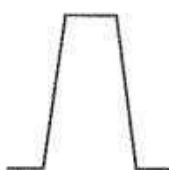


Fig. 39: Muro en talud
Sección optimizada

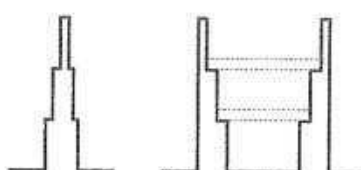


Fig. 40: Muro escalonado
Por ejemplo, con puntos de apoyo para las cabezas
de las vigas

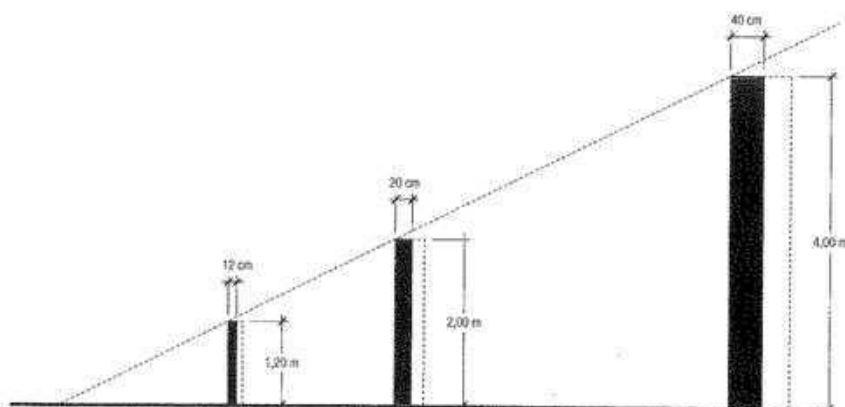


Fig. 41: Dimensionado según Jean Rondelet (*Traité théorique et pratique de l'art de bâtir*, 1835)

Ley fundamental: cuanto más alto sea el muro exento, tanto más ancha será su sección transversal. Regla empírica para los muros exentos sometidos únicamente a la acción del viento (estabilidad media): $b = 1/10 h$; en la realización de obras de mampostería irregular, coeficiente aproximado 1,75; en obras de sillería, coeficiente aproximado 0,75.

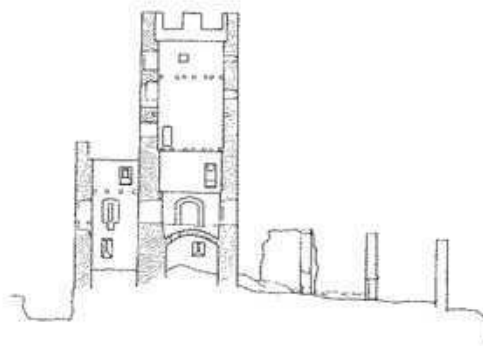


Fig. 42: Sección de la ruina. El grosor del muro decrece a medida que gana altura; rebajes en el muro como apoyos para las vigas de los techos.
Castillo Campelli/Campelli, Sile im Domleschg, Suiza

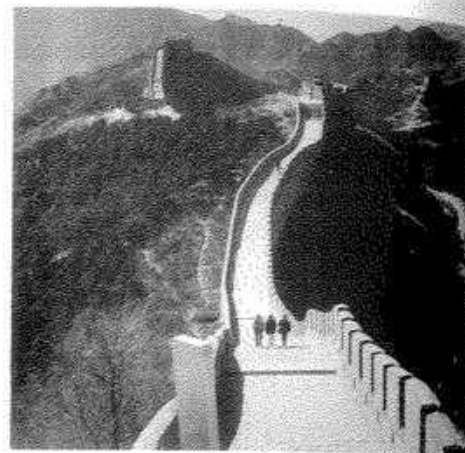


Fig. 43: Calzada de unos 6 a 7 m de anchura; en la coronación, de 4 a 6 metros. Muros exteriores construidos con material de relleno.
La Gran Muralla, China, hacia 700-100 a. C.

La forma de una sección transversal del muro depende de varios factores. En primer lugar, resulta determinante si el muro es independiente constructivamente o está reforzado por su relación de interdependencia con otros muros. En función de ello, su base se construye más o menos ancha. En cualquier caso, para optimizar el uso del material, su sección se reduce a medida que aumenta la altura del edificio, ya que con ésta, no sólo disminuye el peso propio de la construcción, sino también las cargas de uso.

Los cambios de la sección transversal pueden ser lineales y escalonados. La opción que cabe adoptar depende del carácter del sistema constructivo —homogéneo o heterogéneo, con mortero o sin él— y del proceso constructivo, aunque por regla general se determina por motivos de aprovechamiento. Por ello, en edificios de varios pisos, cobra total sentido un cambio de la sección transversal basado en el escalonamiento del muro, que se adelgaza a la altura del forjado de cada planta (puntos donde cumple el papel de apoyo de las cabezas de las vigas).

Dado que tanto el coste de la mano de obra como el de los materiales han aumentado mucho en las últimas décadas, raramente se construyen hoy edificios cuyos muros disminuyan su sección en sentido ascendente, a excepción de muros de contención o presas. En la construcción maciza, las mayores cargas se concentran en las plantas inferiores, determinando la dimensión de todas las secciones transversales de los muros situados por encima, sobre todo si se trata de una estratificación de plantas iguales.

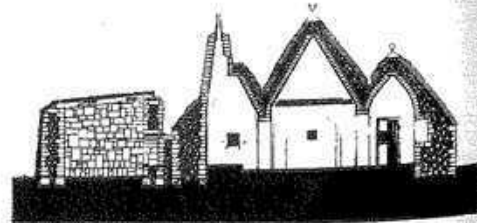


Fig. 44: Muro de varias capas con relleno de material no compactado e ínfima resistencia (sección transversal).
Trulli, edificios tradicionales macizos de piedra del sur de Italia, Sovero

Estructura espacial vertical en la construcción maciza

Conceptos relativos a la planta

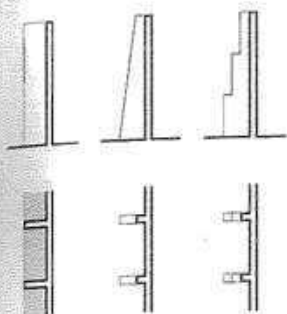


Fig. 45: Muros reforzados con nervaduras para incrementar la estabilidad propia. Sección (arriba) y planta (abajo).



Fig. 46: Construcción de barro con refuerzos de madera (entramado interior) que se recubre con barro para protegerla (nervios transversales). Construcción tradicional Dogón, Mali.

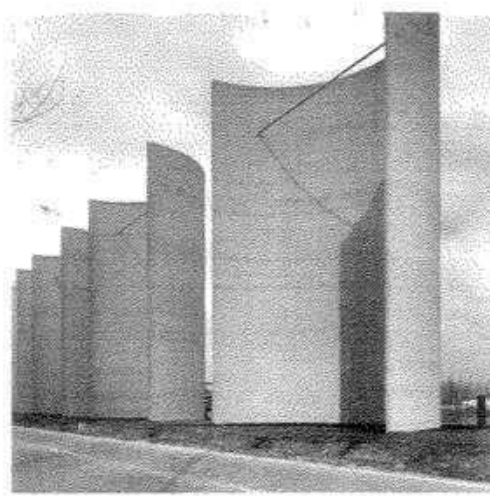


Fig. 50: Pantallas de hormigón de 25 m de altura (gresor: 25 cm); los tirantes garantizan la estabilidad formal de la construcción. Maarten Struijs: pantallas de protección contra el viento en el puerto de Róterdam, Países Bajos, 1985.



Fig. 51: Muros en ángulo, en curva, con codos (o quebrado) y ondulado.

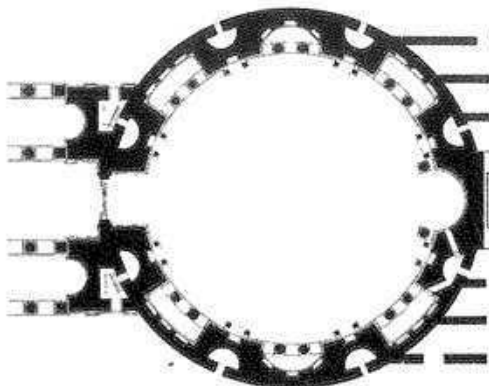


Fig. 47: Conformación de nichos en todo el muro por la eliminación de material innecesario; el efecto es semejante al que producen las nervaduras. Panteón, Roma, Italia, 118-125. A la izquierda, esquema del sistema constructivo utilizado.

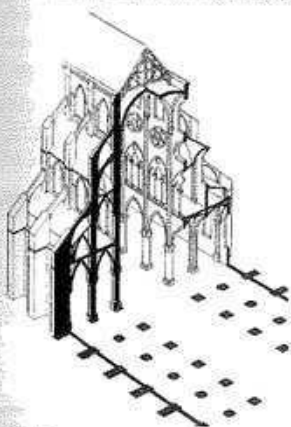


Fig. 48: Contrafuerzos para la absorción de los esfuerzos estáticos ocasionados, en este caso, por un abovedamiento. Sección axonométrica de una catedral gótica.

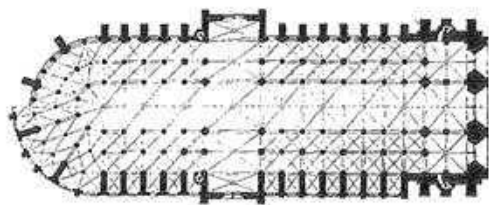


Fig. 49: La estructura portante que se muestra exteriormente (los llamados contrafuerzos) provoca la aparición de nichos que, más tarde, se completaron con capillas (en la parte inferior de la planta). Catedral de Notre-Dame, París, Francia, a partir de 1163.

Desde el punto de vista del ahorro de material, para la estabilización de los muros caben distintas concepciones en planta que aumenten la resistencia y la elasticidad de los mismos. Por ejemplo, mediante la incorporación de nervaduras transversales que se han añadido posteriormente —y pueden ser del mismo material o de otro— o bien han surgido por la división del muro debido a la eliminación de material innecesario (esta solución se da sobre todo en secciones transversales de mucha anchura, como puede observarse en la planta del Panteón de Roma).

Los cambios de alineación, como ángulos, acodamientos y curvaturas, producen en todo caso un efecto de estabilidad. En este caso, el número de cambios de alineación posibles viene determinado por la altura y la longitud del muro. La reducción del grosor con relación a la altura puede llegar a tal extremo que para proporcionar estabilidad a la obra sea inevitable de nuevo la utilización de medios auxiliares (véase, en la figura situada más arriba, las pantallas construidas en el puerto de Róterdam para la protección del viento).

Estructura espacial abovedada en la construcción maciza

Sistemas constructivos con empujes verticales: arcos y bóvedas de cañón



Fig. 52: Sucesión y superposición de un sistema constructivo de arcos: basado en la economía de medios elimina el material innecesario. La construcción con arcos alcanza aquí un sentido propio de la técnica ingenieril. Pont du Gard, acueducto romano en Nîmes, Francia, siglo I

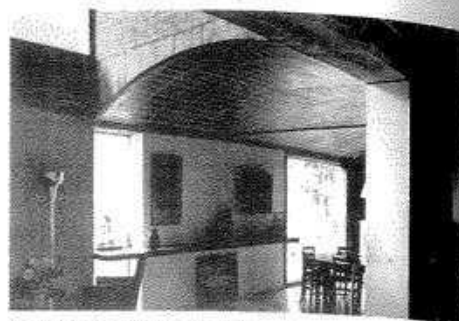


Fig. 55: Bóvedas de ladrillo a la catalana con barras de atado de hierro para la absorción de los empujes. La construcción abovedada cobra aquí sentido arquitectónico, tanto por lo que se refiere a la forma como al espacio. Le Corbusier: casas Jaoul, París, Francia, 1955

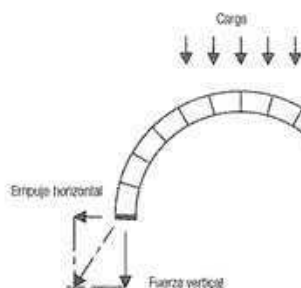


Fig. 53: Arco (esquema del dintel de una puerta o ventana con una luz de gran dimensión)

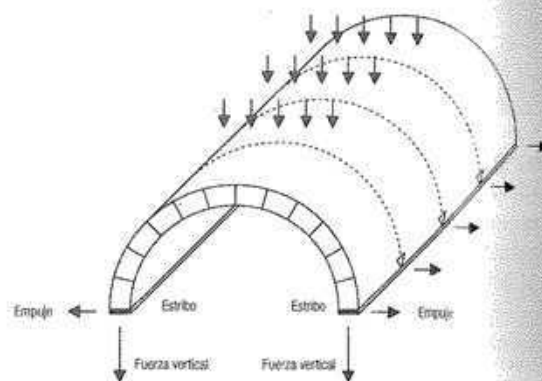


Fig. 56: Bóveda

En sistemas donde los empujes verticales suponen la característica esencial de su concepto constructivo, el inconveniente del peso propio se convierte en una ventaja immanente de su estructura.

La construcción abovedada o con arcos sigue criterios idénticos. En último término, una bóveda de cañón no es más que una superficie curva en forma de arco. La cues-

tién de la estabilidad lateral presenta mayor significación en los arcos, pues por regla general el arco forma parte de un muro sometido a las condiciones antes citadas (véase el apartado dedicado a las estructuras verticales).

En el caso del sistema constructivo empleado por Louis I. Kahn en el Instituto Administrativo de Ahmedabad, en India, los dobles arcos rebajados descargan los empujes del muro superior y los conducen, concentrándolos, a los soportes. Por tanto, el muro no necesita refuerzos, pues las abrazaderas de hormigón bajo los arcos son barras que trabajan a tracción, absorben los empujes y desvían toda la carga en el sentido vertical. El adelgazamiento del muro bajo los arcos, que adopta forma de embudo, resalta el hecho de que, en la práctica, dicha pared no recibe fuerza vertical alguna.

Cuanto más se rebaja un arco, tanto mayores son los empujes laterales. Los techos de bóvedas rebajadas de las casas Jaoul de Le Corbusier están reforzados con barras de atado de hierro. Por el contrario, en el Pont du Gard, el acueducto de Nîmes, no fue necesario adoptar esta solución, ya que la sucesión de arcos de dimensiones idénticas a lo largo de todo el puente indica que los grandes empujes horizontales se equilibran, y la descarga del peso es totalmente vertical. Aún así, en la zona de apoyo sobre el terreno los arcos se encuentran apuntalados por un elemento de refuerzo específico.

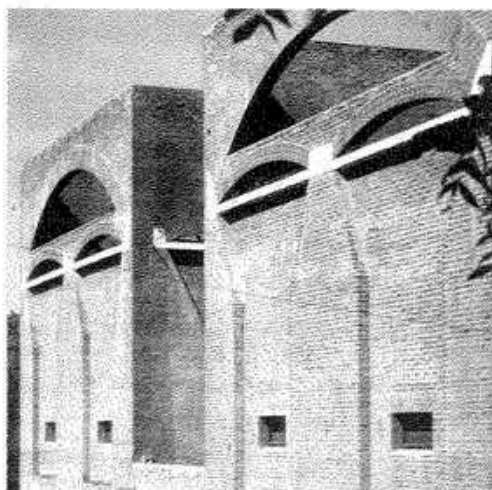


Fig. 54: Las abrazaderas de hormigón (como barras que trabajan a tracción) absorben los empujes y descargan los muros situados debajo. Louis I. Kahn: Instituto de Administración, Ahmedabad, India, 1962-1974

Estructura espacial abovedada en la construcción maciza

Sistemas constructivos con empujes verticales: cúpulas

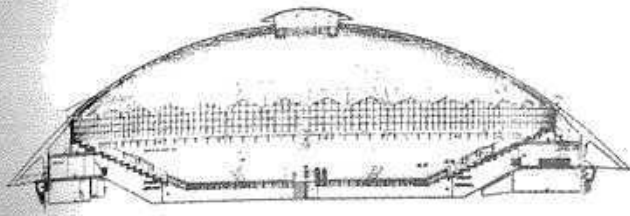


Fig. 57: El anillo de tracción se colocó bajo el nivel de cota cero, a la altura de la cimentación de los pilares (sentidos estructurales)
Pier Luigi Nervi: palacete de deportes, Roma, Italia, 1957

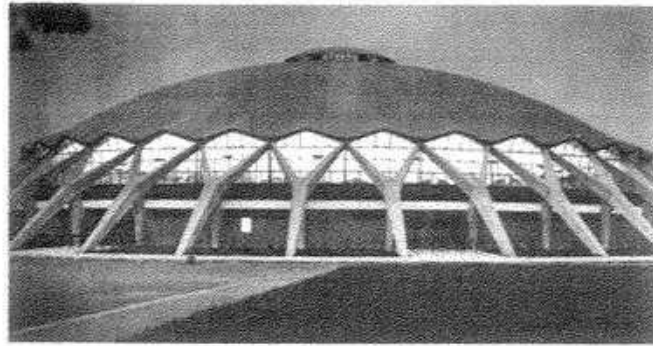


Fig. 60: La cúpula se disuelve en un anillo de pilares en horquilla (Y)
Pier Luigi Nervi: palacete de deportes, Roma, Italia, 1957

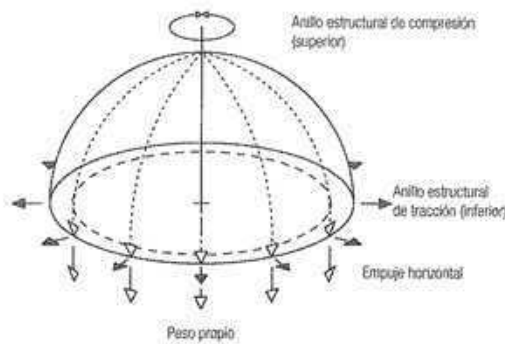


Fig. 58: Cúpula (volumen de rotación)

De manera semejante a los sistemas con arcos y bóvedas, en los sistemas constructivos cupulados se plantea la cuestión de cómo absorber los empujes, reducirlos y poder transmitirlos a la cimentación.

En el Panteón de Roma, este problema se solucionó de una forma compleja. El peso de la cúpula se va reduciendo a medida que se asciende, tanto por la reducción

de la sección transversal como por la inserción de mezclas de materiales ligeros. La cúpula está tan exactamente dimensionada que la trayectoria de las fuerzas que parten de la clave, o vértice, permanece en el interior de la sección transversal de la cúpula. El peralte exterior de los muros produce un incremento del peso y permite, gracias a la obra de fábrica, la admisión de los esfuerzos de tracción. También es imaginable que este trabajo de absorción de los esfuerzos de tracción pudiese hacerlo un anillo o banda de acero.

El palacete de deportes de Pier Luigi Nervi en Roma presenta una cúpula compleja: para conseguir un refuerzo complementario, la cáscara de hormigón está plegada y se resuelve con pilares en Y. Estos desvían verticalmente hasta el suelo las fuerzas concentradas en el vértice de la Y, y absorben los esfuerzos transmitidos en toda la superficie de la cubierta. A la altura del terreno, una banda de hormigón alrededor de todo el edificio funciona como un anillo de atado para la absorción de los esfuerzos a tracción. Así, Nervi puede crear un espacio interior totalmente libre de cualquier elemento portante vertical.

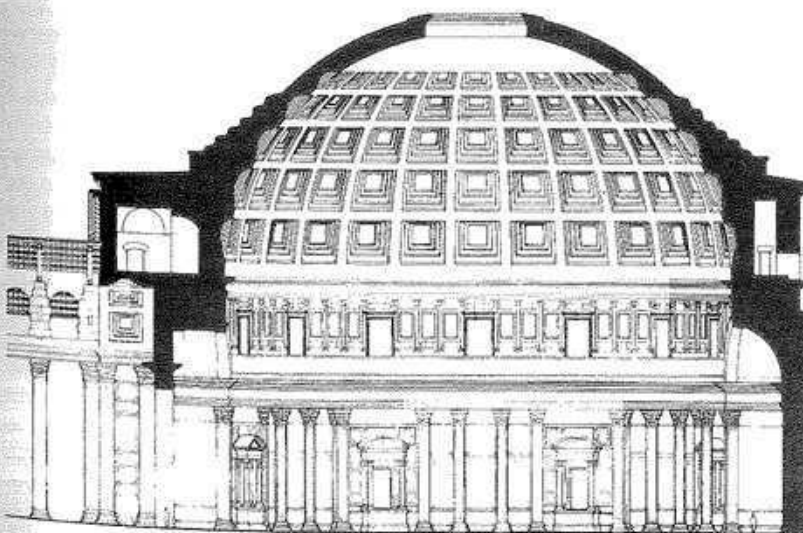


Fig. 59: Cúpula con casetones para ahorrar material y reducir peso (eliminación del material superfluo). Conforman una red de nervaduras estructurales de refuerzo. A su vez, en dirección al vértice se construye con un material cada vez más ligero
Panteón de Agripa, Roma, Italia, 118-125

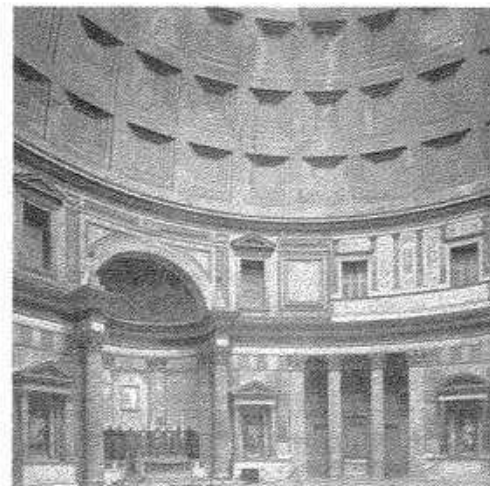


Fig. 61: Una construcción temprana realizada con hormigón romano (opus caementitium)
Panteón de Agripa, Roma, Italia, 118-125

Sobre la masa pesada y la apariencia de pesadez

Martin Tschanz



Fig. 62: Viaducto de Wipkingen, Zürich, Suiza
Pilar situado al este

Resistencia

La masa es una cualidad intrínseca de la materia que se manifiesta en la fuerza de atracción entre los cuerpos y en su inercia. Por un lado, el peso es el problema primario de la arquitectura, por otro, la masa ofrece resistencia. Ambos aspectos se ponen de manifiesto en los apoyos del viaducto Wipkingen, en Zürich, que con su solidez pétreo se alzan seguros al borde del río, capaces de soportar las mayores riadas. Quienes lo construyeron no se contentaron con su masa efectiva, sino que acentuaron tal aspecto con el empleo de elementos compositivos adicionales: una estereotomía basta y un tanto irregular, pero cuidada; una ampliación óptica del volumen que, en especial cuando es contemplado desde lejos, parece extenderse mucho más allá de los apoyos del puente; por medio de lados ligeramente ataludados, un zócalo escalonado y sobre todo un sillar tosco, casi rústico en sus caras laterales, por encima del agua. Complementariamente, una bóveda rebajada monumental y fabricada con esmero, hacía referencia a la enorme carga soportada, pero también insinuaba, con pequeñas aberturas laterales, que la masa presente quizá no fuese tan maciza como parece a primera vista. Esta bóveda se reforzó y posteriormente se convirtió en un búnker que, además, volvió a hormigonarse. El peso de la masa de un refuerzo del hormigón debía ofrecer resistencia a los impactos de armas de fuego. Las formas redondeadas sólo tienen el sentido de ostentación militar. Las granadas se desvían al chocar contra la masa de hormigón, que sirve aquí de protección. Peso e inercia de la masa son, en esta modesta construcción con estribos, una exigencia del propio carácter de la obra y, a la vez, los temas de su configuración formal. Su apariencia sugiere estabilidad e, incluso, una obstinada fuerza de resistencia.

El hecho de que funciones primarias exijan grandes masas es más bien excepcional en arquitectura. Al pensar en grandes masas nos remitimos a muros de contención y presas, a búnkeres, a construcciones alpinas en forma de cuña para contener aludes y otras semejantes; es decir, a construcciones de protección que, por lo ge-

neral, son tarea específica de los ingenieros, que son los que pueden garantizar el resultado requiendo. Los arquitectos, por su parte, pueden interpretar el problema de la seguridad de ejemplos como los mencionados y ponerlos de manifiesto.

Masividad

Más que las propiedades puramente físicas de la masa, lo que reviste mayor interés son sus propiedades formales o las connotaciones a ellas asociadas. Los materiales en masa pueden configurarse plásticamente. Su homogeneidad relativa y su resistencia permiten vaciar la masa o, en cierto modo, modelarla. Un muro macizo invita en cierto modo a adelgazarlo en parte con nichos o a articularlo mediante perfiles. En la iglesia de Mogno, Mario Botta hace uso de ambas posibilidades de manera ejemplar. Dentro del volumen cilíndrico de planta elíptica, inscribe un espacio que aúna las formas geométricas básicas no ordenadas del cuadrado y del círculo con las ordenadas del doble cuadrado y la elipse. El recurso arquitectónico empleado para tal fin es la masa muraria conformada plásticamente. Los nichos hacen legible el cuadrado, que se acentúa aún más por la relación diagonal que establece el pilar cilíndrico en el eje de entrada. Una deformación y disminución paulatina de la sección del muro permite, sin solución de continuidad, la conversión de la planta rectangular en una elipse, hasta el comienzo de la cubierta de vidrio, que se remata con el faldón en curva del tejado.

Por supuesto, el tema de la configuración espacial a través de una modulación plástica de la masa de los muros no es nuevo. Con frecuencia, la volumetría exterior de un edificio no responde a las mismas leyes que lo configuran interiormente. Las exigencias urbanísticas se contraponen a los condicionantes de uso del edificio. Esto crea por fuerza un conflicto cuando la concepción de la arquitectura es más funcional, o escénica, que tectónica y, consecuentemente, quieren expresarse esas condiciones. La masa de los muros suele ser un lugar idóneo donde dirimir ese conflicto. La arquitectura barroca muestra magníficos ejemplos de ello, si bien, al contrario de lo que sucede en la iglesia de Mogno, el hecho de que la materia masiva constituya objetivamente la zona gris entre los límites espaciales, no reviste gran significación. Ese es, más que ningún otro, el lugar donde junto a la estructura portante se incluyen también funciones de segundo orden y se satisfacen todas las posibles necesidades técnicas. La "masa", en este sentido, presenta límites precisos, pero su estructura y composición permanece indefinida y difusa. Independientemente de que ésta se componga de espacios vacíos, o de materia, lo importante es su apariencia como volumen que, por lo que respecta a su construcción interior, al menos habitualmente, apenas alcanza relevancia.

Por el concepto de masividad entendemos una (relativa) homogeneidad de la materia de un cuerpo, lo que le

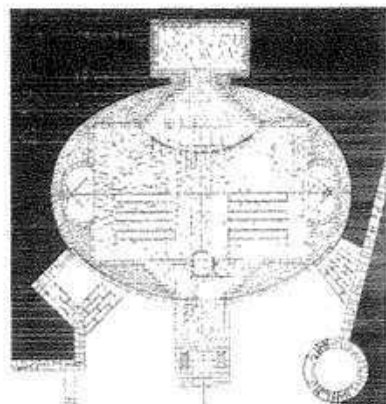


Fig. 63: Planta (arriba), sección (derecha)
Mario Botta: Iglesia en Mogno, Suiza, 1986-1995



Fig. 64: Cassina da Camadra, valle del Bienio, Suiza



Fig. 65: Rudolf Fontana y Christian Kerez: capilla en Oberrealta, Suiza, 1994-1995

confiere cualidades interesantes. Sin que necesariamente tengamos que pensar en el "valor de la ruina", el carácter masivo permite que los objetos envejezcan con dignidad, otorgándoles carta de naturaleza por lo que respecta a su durabilidad y estabilidad. Además, la masa permite una construcción sencilla y directa. A este respecto, impresionan las construcciones alpinas realizadas enteramente en piedra, que pueden encontrarse en el sur de Suiza. Paredes y tejados se componen del mismo material, propio del lugar o de sus proximidades, que se coloca, con un gesto también idéntico, en capas superpuestas. Christian Kerez y Rudolf Fontana pensaron posiblemente en estas casas al proyectar la capilla en Oberrealta, donde la forma se reduce a lo esencial: la ya consabida superficie de revestimiento como protección, una puerta con umbral y una ventana configuran la construcción, que se erige en símbolo por antonomasia de lo que es una casa y, a la vez, en un símbolo de albergue y protección. Tanto su expresión abstracta como su íntima familiaridad, su forma sencilla y exactamente proporcionada, así como su sólido carácter masivo, confieren a la casa una dignidad sacra, acorde con la tarea y el lugar. Esta reducción a lo esencial sería inimaginable si no estuviera realizada con un material "de una pieza" que hace posible una construcción sin detalles.

Monolitos y "monolitos"

"Una de las características más destacadas del búnker consiste en que se trata de una de las pocas arquitecturas monolíticas modernas.

Mientras que la mayoría de las obras se encuentran unidas al suelo por la cimentación, el búnker no la necesita; su centro de gravedad la sustituye. Este hecho explica su capacidad para una cierta movilidad".¹

Así comienza Paul Virilio el capítulo "El monolito" en su *Búnker archéologie*, aportando una definición convincente de los monolitos arquitectónicos, muy cercana al propio concepto: un edificio que se comporta como una piedra. Sin embargo, apenas existen arquitecturas que puedan interpretarse a partir de este concepto. Claro está que el término también se emplea en edificios que, pese

a su apariencia monolítica, muestran un comportamiento estructural convencional. Rodolfo Machado y Rodolphe el-Khoury se refieren a ello en su catálogo *Monolithic Architecture*:² "Entendemos que monolítico significa similar a monolito"; por un lado, lo hacen exagerando su sentido —categoría que denominan metafórica— para edificios desde luego no monolíticos en sentido estricto, pero extremadamente homogéneos y sólidos. Por otro, haciendo uso en un sentido "alegórico" del concepto, "para edificios que no tienen las propiedades físicas y materiales del monolito pero que parecen, 'aparentan' o 'actúan' como si lo fueran. De esta forma alegórica, el término 'monolítico' tiene más que ver con las estrategias de representación que con las cualidades formales".³

En este sentido, son monolitos los objetos arquitectónicos compactos que parecen herméticos y no revelan nada acerca de su contenido; se encierran en sí mismos y, en consecuencia, se desvinculan del lugar, aunque pretendan erigirse como puntos de referencia. Son objetos sin escala que presentan una forma pregnante, característica e individual y, por ello, con frecuencia se personifican y denominan con un nombre. Su materialidad se reduce por lo general a una envolvente delgada, dotada en todo caso, de una cierta homogeneidad en su apariencia. La configuración del volumen ha de sugerir masa, lo que suele suceder mediante una deformación plástica, surgida por lo común bajo la influencia aparente de la fuerza de gravedad o de alguna otra fuerza.

La relación entre el interior y el exterior de estos objetos es siempre problemática. La semejanza con un cuerpo macizo conlleva que la estructura del interior, como "masa" difusa que es, no sea interesante. Por su apariencia exterior, la masa, que es sólo relevante en este sentido, no juega papel alguno. Con todo, puede que éste sea el aspecto que ha contribuido al éxito de tales arquitecturas herméticas. Para no reducir totalmente el proyecto al diseño del volumen y de las superficies, debería contraponerse la forma exterior, en el sentido antes descrito, a un interior igualmente pregnante. De este modo, desde un punto de vista estructural, el objeto arquitectónico podría comenzar a compararse objetivamente con el



Fig. 66: Jean Nouvel: proyecto para el Teatro Nacional, Tokio, Japón, 1986. Vista de la maqueta (arriba) y sección longitudinal (derecha)

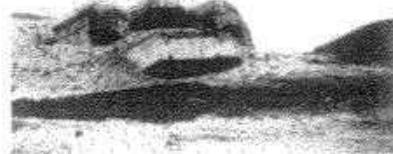
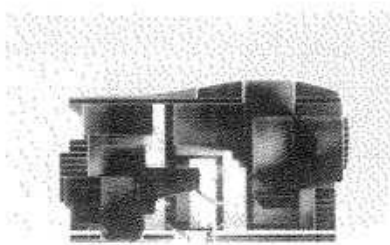
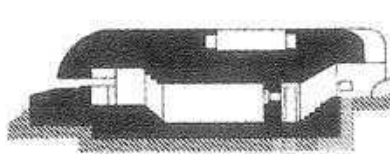


Fig. 67: Búnker "hundido" en la arena en la *Atlanticwall* francesa. Sección longitudinal (derecha)



búnker descrito por Paul Virilio. Quizá así suceda, lo más pronto posible, con los proyectos de OMA para la Biblioteca Nacional de Francia o con el proyecto de Jean Nouvel para la ópera de Tokio. Y sin embargo, el término 'monolito' no nos parece felizmente empleado en su sentido figurado, pues sugiere cualidades completas de la materia masiva que apenas pueden ser imitadas ni reducidas a un efecto óptico lejano. Tendría más sentido hablar de objetos aislados conformados hermética o plásticamente.

Un kilo...

No todo es lo que parece. También la masa contiene muchas sorpresas en sí misma. La artista Katharina Bürgin nos muestra un objeto que, aún sin título, enseguida identificamos, por su forma pregnante y sencilla, con una casa. Las superficies gredosas, blancas, ligeramente veteadas; las aristas blandas que no son totalmente rectas, sino ligeramente abombadas; las caras algo abovedadas hacia el exterior, que elevan los bordes del objeto del suelo y casi lo hacen flotar. La obra nos da la impresión de ser maciza, moldeada al mismo tiempo, y nos recuerda a las maquetas de yeso. El 'grande' del título *Casa grande* bien pudiera referirse a una escala, pues con sus 48 cm de longitud el objeto no es precisamente gigante. A quien se atreva a tocarla, le sorprenderá en primer lugar la suavidad sedosa y la calidez de sus superficies, después le asustará su casi falta de peso. El objeto es masivo e increíblemente ligero, moldeado con pasta de papel. ¿Qué quiere decir entonces un kilo?

NOTAS

- ¹ Virilio, Paul, *Architecture principe*, 7 (número especial: *Bunker archéologique*), septiembre/octubre de 1966. Recogido también en Virilio, Paul y Parat, Claude, *Architecture principe 1966 et 1996*, Les Éditions de l'imprimerie, Besançon, 1996.
- ² Machado, Rodolfo, y El-Khoury, Rodolphe, *Monolithic architecture* (catálogo de la exposición homónima celebrada en el Heinz Architectural Center de Pittsburgh), Prestel, Munich, 1995.
- ³ *Ibid.*, págs. 15-16.
- ⁴ Así termina el texto de Gertrud Othling en el catálogo del Manor Kunstpreis 1994. Katharina Bürgin, *Objekte 1992 bis 1994*, Museum zu Allerheiligen, Schaffhausen, 1995.

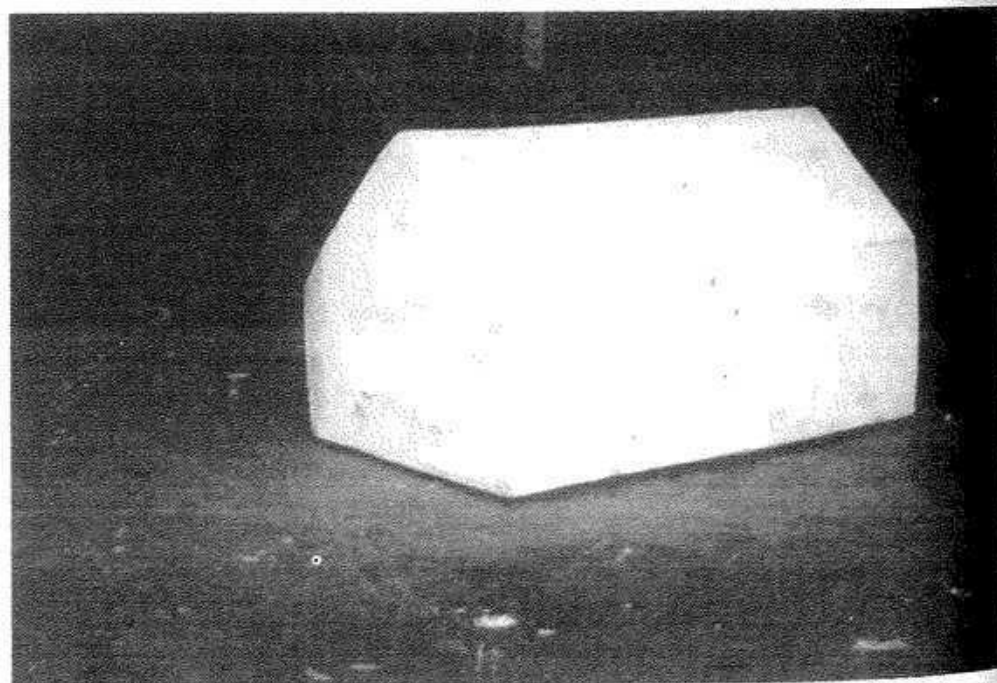


Fig. 68: Katharina Bürgin: *Casa grande*, 1993. Papel, 28 x 48 x 20 cm

Ksar Ferich

Un conjunto de almacenes fortificados en el sur de Túnez

Fig. 69: Ksar Ferich
Frente del primer recinto

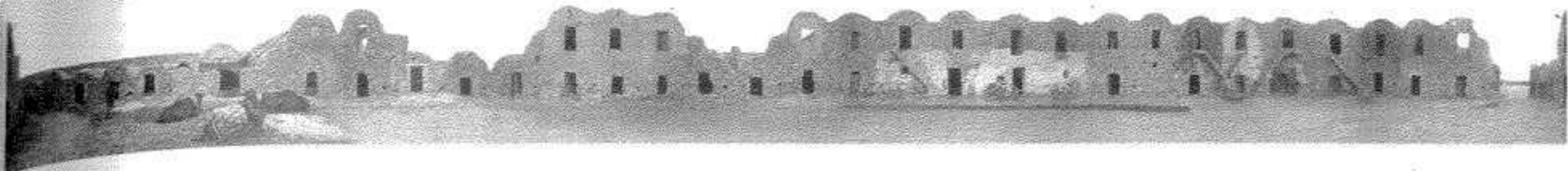


Fig. 71: Ksar Ferich
Perímetro totalmente cerrado del conjunto.

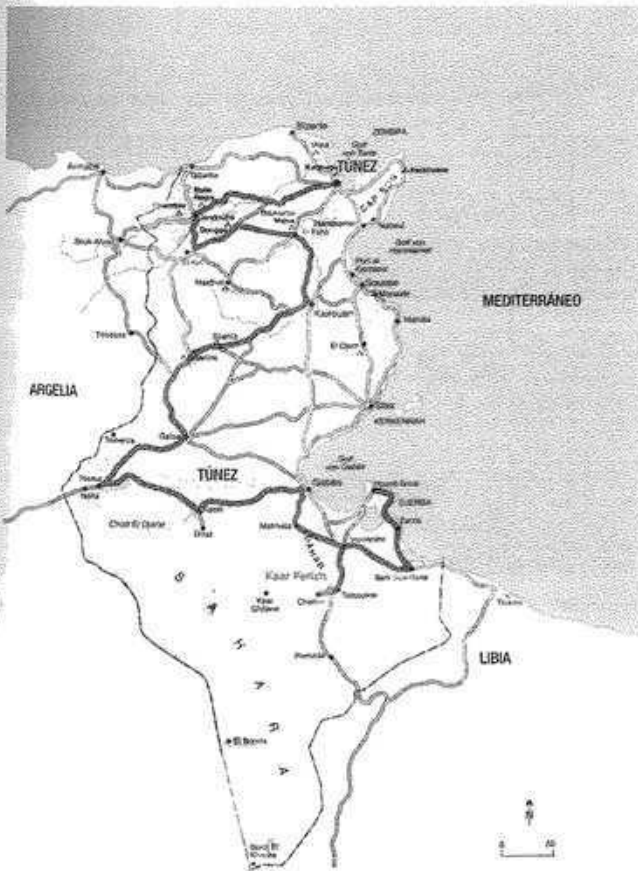


Fig. 70: Ksar Ferich
El ksar en el paso desde la región poblada del Sahara



Fig. 72: Patio interior
Vista en dirección a la entrada



Fig. 73: Patio interior
Complejo en el centro del ksar

Ksour y ghorfas

Los *ksour* (plural de *ksar*) tunecinos son asentamientos residenciales y de almacenaje con carácter de fortaleza que, por lo general, se levantaron sobre mesetas montañosas o en laderas pronunciadas. Su centro forma con frecuencia una *kalaa* (fortificación o construcción defensiva). Las viviendas o, en su caso, las cuevas se agrupan en las rocas inferiores. Una parte integrante de estos complejos suelen ser las *ghorfas* (en árabe *ghorfa*: espacio), células abovedadas y normalmente superpuestas en varias alturas, cuya función habitual era la de almacenaje.

También reciben el nombre de *ksar* los meros conjuntos de *ghorfas* aislados en el paisaje. Estos complejos, por lo común de planta cuadrada, están rodeados por un muro de una altura, interrumpido tan sólo por el hueco de la entrada, y dan la impresión de tener un carácter muy defensivo. Los *ksour* solían usarse como almacenes de provisiones colectivos por parte de un clan, mientras que el resto nómada de la tribu pastoreaba sus rebaños. En el *ksar* habitaban enfermos y ancianos que no podían participar en la cría del ganado junto con vigilantes oficiales

que cuidaban de él. El *ksar* se compone hasta de cientos de cámaras de almacenamiento, agrupadas en torno a uno o varios patios que se agrupan como celdillas de un panal, llegando a alcanzar hasta seis pisos de altura.

Cada familia poseía un número apropiado de esos espacios abovedados para su aprovisionamiento privado. Las células presentan una profundidad de hasta diez metros, una anchura de unos tres y una altura de cerca de dos, y se cierran con pequeñas puertas de madera de palmera. Estrechas escaleras sin barandilla, que se destacan con atrevimiento del muro y están construidas con piedras o vigas de madera, conducen a las entradas de los pisos superiores. En el enlucido interior se encuentran a veces motivos decorativos en relieve, que reproducen la forma de un pie, una mano, ornamentos o signos ortográficos. Durante los periodos de paz, los *ksour* se convertían en centros comerciales y sociales; durante las guerras en refugios. Gracias a las provisiones almacenadas y al pozo, situado en uno de los patios interiores, era posible soportar largos asedios en caso de que fuera necesario.

A medida que los nómadas fueron volviéndose sedentarios, los grandes conjuntos de *ghorfas* perdieron importancia: o se derrumbaron, o sucumbieron ante las nuevas construcciones (en Medenine, por ejemplo, fueron demolidos más de treinta *ksour* por este motivo). Muchos de estos asentamientos fortificados, residenciales y de almacenaje presentan un estado tan ruinoso que para visitarlos es necesaria una enorme precaución. Algunos de ellos siguen usándose como graneros o establos, otros han sido transformados en sencillos alojamientos turísticos. Entre tanto, es incluso posible encontrar conjuntos perfectamente mantenidos o restaurados que, al recuperar hoy día su uso original por la población que los habita, están llenos de vida.

De: Stannard, Dorothy, Túnezien, Berlín, 1992.

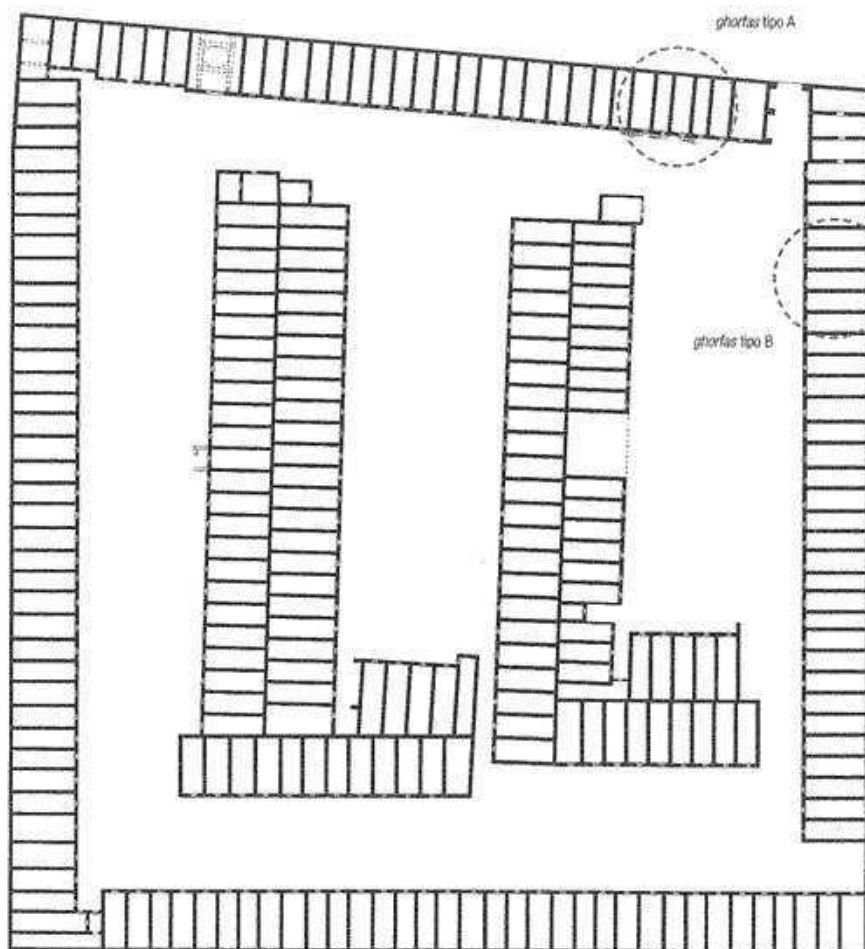


Fig. 74: Ksar Ferich
Planta baja 1:1000

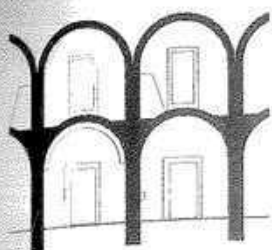


Fig. 75: Ghorfas tipo A
Sección transversal 1:200

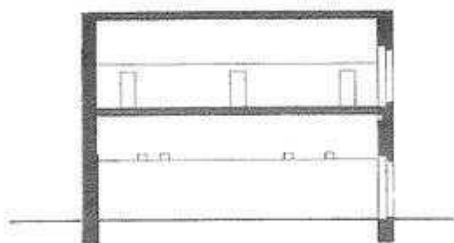


Fig. 77: Ghorfas tipo A
Sección longitudinal 1:200



Fig. 76: Ghorfas tipo A
Planta 1:200



Fig. 78: Ghorfas tipo A
Vista frontal

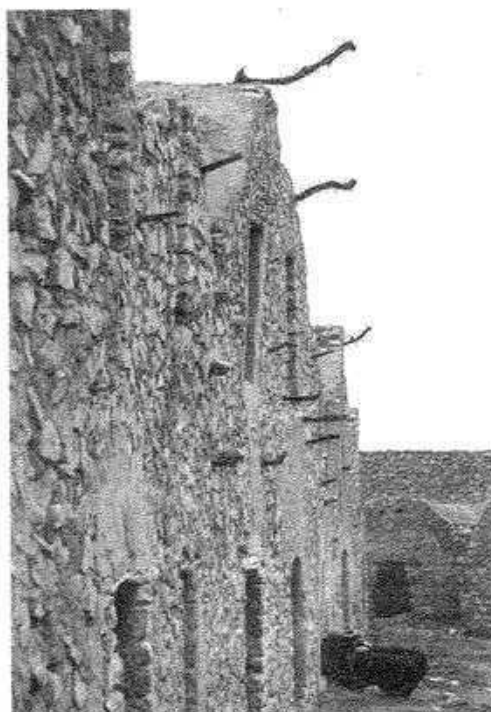


Fig. 79: Ghorfas tipo A
Vista lateral



Fig. 80: Ghorfas tipo A
Detalle de la fachada parcialmente entoscada



Fig. 81: Ghorfas tipo B
Vista frontal

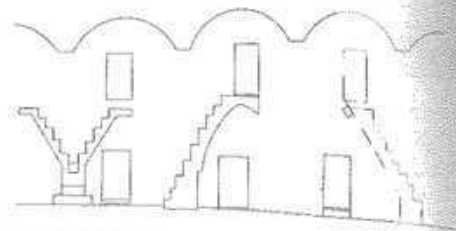


Fig. 84: Ghorfas tipo B
Alzado 1:200

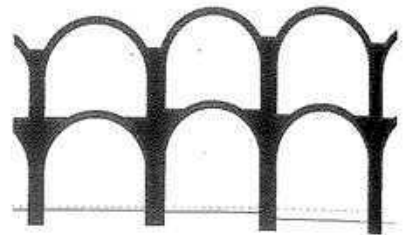


Fig. 85: Ghorfas tipo B
Sección transversal 1:200

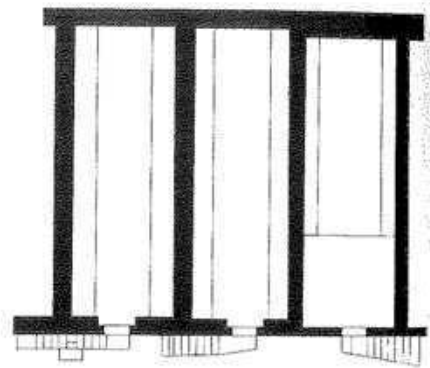


Fig. 86: Ghorfas tipo B
Planta 1:200

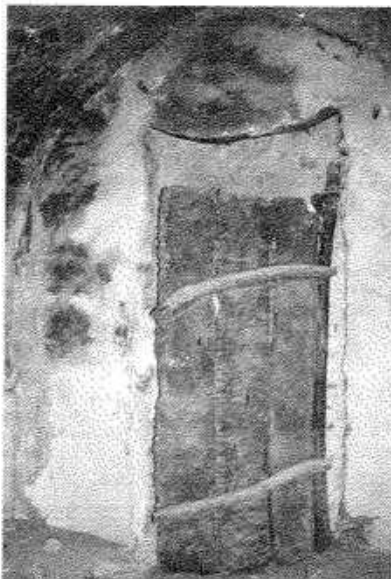


Fig. 82: Ghorfa
Interior planta baja

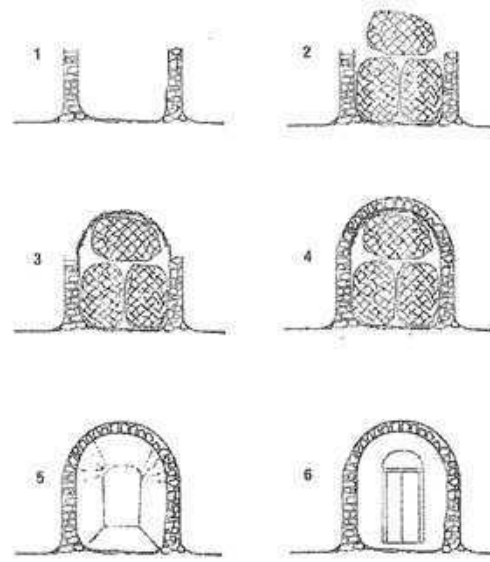


Fig. 83: Ghorfa
Interior de la planta primera con suelo abovedado

Cómo se construye una ghorfa:

En el sur de Túnez se almacenaba el grano en la así llamada *ghorfa*, una construcción de pequeñas cámaras de piedra de unos 2 m de altura y de 6 a 10 m de longitud. Según las necesidades, se añadían más unidades a ambos lados y por encima: eran ampliaciones de la *ghorfa* que podían alcanzar hasta ocho unidades en altura. El conjunto conformaba finalmente un recinto cuyos muros exteriores, lisos y cerrados, mantenían alejados a los ladrones. En algún caso, podría resultarles útil esta guía completa para la construcción de una *ghorfa*:

1. Se levantan dos muros de piedra natural y arcilla, de 1,5 m de altura, separados entre sí aproximadamente 2 m.
2. Entre los muros se colocan verticalmente, uno junto a otro, dos cestos de paja para grano rellenos totalmente de tierra. Deben ajustarse exactamente entre los muros, para que hagan la función de elementos portantes. Un tercer cesto de paja con tierra se coloca luego transversalmente sobre los dos primeros.
3. Por encima se asienta una esterilla de caña convenientemente trenzada y consistente para que se forme un arco.
4. Ahora, ésta se refuerza, colocando piedra natural por encima de su superficie y de los cestos para grano, fijada por medio de un mortero fino de barro y yeso para fabricar así, poco a poco, una cubierta abovedada.
5. Si se considera necesario, se construye una pared trasera. Se desprenden los cestos que servían de sujeción y se revocan las paredes interiores con cal y limo. Si se desea que la construcción no presente una apariencia fea, se aplican a las paredes motivos decorativos compuestos de figuras y estampados a mano, o de peces.
6. Se construye la pared frontal con una puerta de entrada de madera de palma.

Fig. 87: Proceso constructivo de una *ghorfa*

De: McLachlan, Anne y Keith. *Tunisia handbook*. Footprint, Bath, 1997.

Bibliografía sobre Túnez:

- Abdelkafi, Jellal. *Tunisien: Geographie, Geschichte, Kultur*. Pöhl, Bielefeld, Stuttgart, 1994.
- Goldfinger, Myron. *Villages in the sun*. Rizzoli, Nueva York, 1969.
- Hill, Derek. *Islamic architecture in North Africa*. Faber & Faber, Londres, 1976.
- Krohnert, Peter Andreas, y Schramm, Josef. *Tunisien, Land zwischen Sand und Meer*. Pannonia-Verl. Freilassing, 1969.
- Roth, Hans-Georg, y Brakemeier, Anne. *Tunisien*. Umschau Verlag, Breidenstein, 1995.
- Schliephake, Konrad (ed.). *Tunisien: Geographie, Geschichte, Kultur, Religion*. Stast, K. Thieme's Verlag, Stuttgart, 1964.

Arquitectura plástica

La torre escocesa habitable

Nik Biedermann, Andrea Deplazes



Fig. 88: Castillo Neidpath, Peebles (Escocia), Reino Unido, siglo xv

Defender y vivir

La torre medieval habitable, una forma mixta destinada a la defensa y a la vivienda, configurada como un espacio angosto organizado verticalmente, es típica de Escocia. Esta tipología, en sus comienzos austera y desprovista de toda decoración, constituye el símbolo de una tierra pobre, expuesta constantemente a convulsiones interiores y a guerras regionales protagonizadas por clanes rivales, e impelida continuamente a su reconstrucción. Con la sucesiva pacificación territorial, los torreones, decorados exteriormente, fueron transformándose en residencias pintorescas y románticas que reflejaban las crecientes necesidades de representación de la época. Por el contrario, el cometido defensivo fue perdiendo cada vez más importancia. La vigencia de estas torres habitables durante tres siglos (del XIII al XVI), favoreció la aparición de modelos mixtos regionales. Así surgió una panoplia de variantes, entre las cuales el tipo original puede reconocerse siempre.

El presente trabajo se centra en la investigación arquitectónica de las torres defensivas habitables escocesas, aunque no en la exposición cronológica de todas las facetas que discurren en paralelo. Sin pretender ser totalmente exhaustivo, esta selección permite echar un vistazo a la multiplicidad de tipos y a la riqueza espacial de las torres residenciales, así como a sus características específicas.

Donjon frente a fortificación

La torre defensiva habitable escocesa (*donjon*) sorprende por el hecho de haber sido concebida como un elemento libre e independiente. El sistema defensivo en su conjunto se corresponde con el "principio de la castaña": construcciones no defensivas de madera, destinadas a la intendencia, se agrupan en un patio como la cáscara blanda pero espinosa de una castaña de Indias. En medio se alza la torre, el núcleo duro que sirve como lugar fortificado de trabajo y vivienda del señor y es al mismo tiempo la última y única posibilidad de repliegue defensivo. Dependiendo de las relaciones topográficas, los edificios se protegieron de los enemigos mediante sencillas empalizadas, murallas o fosos. En situaciones especiales, montículos rocosos estratégicos —como en el caso de la torre Smailholm— o

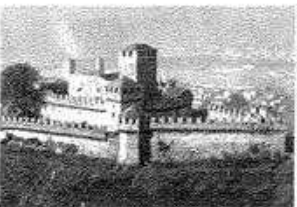
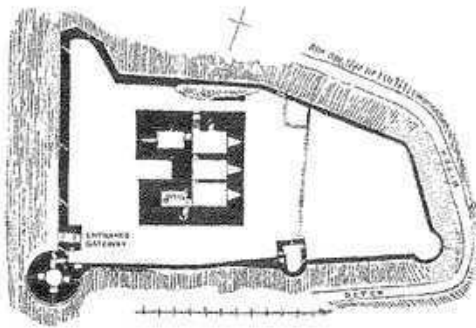
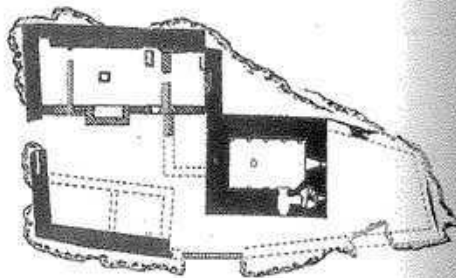


Fig. 89: Castillo de Montebello, Bellinzona, Suiza, siglo xv

Fig. 90: Planta de conjunto
Castillo Borthwick, Midlothian (Escocia), Reino Unido, siglo xv

riscos —como en el del castillo Neidpath— sustituyeron parcialmente a las necesarias construcciones defensivas. La estrategia defensiva preveía el repliegue rápido desde los edificios destinados al mantenimiento del conjunto, débilmente protegidos, hasta la torre fortificada habitable preparada para resistir largos asedios.

Fig. 91: Planta de conjunto
Torre Smailholm, Roxburgh (Escocia), Reino Unido, siglo xv

A diferencia de los torreones escoceses, las fortalezas que surgen en la misma época en el continente europeo se construyen según el "principio de la cebolla": es decir, la torre del homenaje es el corazón del conjunto y queda protegida por varios anillos defensivos concéntricos articulados a su alrededor. Cada anillo se defiende en caso de necesidad, ya que tanto los edificios residenciales como los destinados a la intendencia y administración se extienden sobre varios anillos. La torre del homenaje, que tiene un uso exclusivamente defensivo, no residencial, constituye el último reducto defensivo y presenta una extensión menor en planta que la del *donjon* escocés. Con ello queda claro que el *donjon* debe organizarse verticalmente y, en consecuencia, desarrollarse en altura. El principio defensivo se basa en la dificultad de poder conquistar las diferentes plantas, o bien en el hecho de percibir claramente la defensa de las estrechas escaleras de caracol a medida que se pretende ascender por ellas.

Observación arquitectónica

Masa y vacío

El *donjon* escocés, al menos los primeros ejemplos, se levantan hoy sobre el terreno como bloques rocosos erosionados. Su apariencia es sencilla, maciza y elemental. Tan sólo las pocas aberturas dispuestas de forma irregular, que aparentemente no siguen regla alguna, permiten intuir vida interior tras su masa pétreo. Efectivamente, estos pedruscos inamovibles están huecos en su interior, y los muros perimetrales están parcialmente vaciados o generalmente se han reducido. Esta espaciosidad escondida ofrecía a los moradores cobijo y seguridad frente al entorno hostil. Hacia fuera, el edificio ostenta un carácter recalcamente defensivo, mientras que, en el interior, sorprende la habitabilidad lograda gracias a un complejo desarrollo espacial. El carácter específico del *donjon* escocés descansa sobre esta combinación aparente y paradójica, una forma espacial compacta y eficiente de vivir y defenderse.

Fig. 92: Eduardo Chillida: *Lurra G-306*, 1994

Eduardo Chillida

Del mismo modo que la sensación de calor puede experimentarse sólo superando la del frío, la percepción del espacio arquitectónico únicamente tiene lugar mediante la de sus límites físicos. Sorprendentemente, la masa construida se torna más compacta cuando a su lado se coloca algo ligero o se ve perforada profundamente por vacíos y cápsulas espaciales.

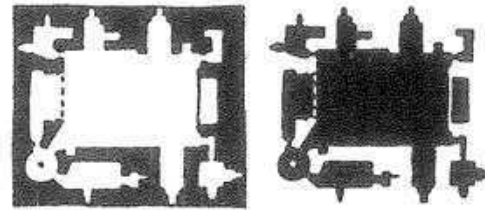
Este principio marca también la obra de Eduardo Chillida, quien se definía a sí mismo como "arquitecto del vacío". Especialmente en sus esculturas delicadamente granuladas de arcilla, las *lurras*, la pesadez y masividad se acentúan por medio de inclusiones espaciales reales o insinuadas, mediante cortes que sugieren un interior vacío. De este modo surge un rico diálogo entre masa y espacio, entre pesadez y ligereza. Como ya se ha avanzado, los *donjons* pueden interpretarse de modo semejante, y constituyen una referencia ejemplar de cómo la singularidad de los componentes específicos se muestra de manera más destacada mediante la conjunción de elementos opuestos o contradictorios.

Interior y exterior

La forma exterior de los *donjons* se corresponde por lo general con la forma de los principales espacios interiores: las salas. Tal correlación entre contenido y expresión arquitectónica no es forzada, como muestran ejemplos de las iglesias barrocas. La forma exterior de los edificios y el espacio interior plantean con frecuencia exigencias de índole distinta. En el contexto urbano es lógico que se abra la posibilidad de poder reaccionar a condicionantes locales propios del contexto. Resulta interesante el hecho de que en los *donjons* escoceses exista un misterioso "ámbito intermedio", un estrato "masivo" donde pueden encontrarse las inclusiones espaciales más variadas, los así denominados "espacios *poché*": conectores verticales, pequeñas cámaras (en ocasiones interconectadas) o también meros apéndices del espacio principal en forma de nichos de ventana.

Sobre los primeros tipos de *donjons*, con muros de hasta cuatro metros de grosor pero aún con pocas inclusiones espaciales, debe hablarse más que de un muro exterior convencional, de un "muro acorazado". Su des acostumbrada e incluso increíble dimensión es una consecuencia directa de la protección de los espacios habitables. A primera vista, la introducción gradual de cápsulas espaciales en un muro tan grueso parece contradecir esa finalidad, pero, sin que el "muro acorazado" se debilite lo más mínimo, configura ese estrato espacial intermedio, una capa de espacios específicos añadidos a la sala central. Debido a la escasez y diversificación de los huecos practicados en los muros, no es posible determinar desde fuera la dimensión de esos vaciados o adelgazamientos. De este modo, los espacios añadidos hacen posible el desplazamiento de determinadas funciones secundarias al muro mismo. El espacio principal se descarga, sus di-

mensiones pueden en consecuencia aumentar, sin que por ello deba ampliarse el volumen total de la torre. Con ello también surge una clara separación entre espacios principales y secundarios, o, según la terminología utilizada por Louis I. Kahn, entre espacios servidores y espacios servidos. Esta diferenciación puede verse claramente si se observa la imagen espacial que surge al aislar el volumen de los muros de cerramiento (imagen en positivo y en negativo) de todo el conjunto. Partiendo del espacio central principal como si fueran tentáculos vectoriales, dichos espacios parecen extenderse o ramificarse siguiendo un código inmanente.

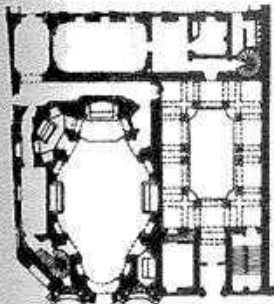
Fig. 95: Positivo y negativo
Castillo Comlongan, Dumfries (Escocia), Reino Unido, siglo xv

Inclusiones espaciales

Estos espacios secundarios son en realidad "taladramientos" del espacio interior en el muro, y pueden diferenciarse respecto a su función específica. Al tratar la cuestión de los nichos del espacio principal, surge la siguiente pregunta: ¿cuándo pueden éstos entenderse como parte del espacio principal y cuándo como espacios autónomos? Claro está que la mayoría de los nichos (para ventanas, con asientos o aspilleras transitables), a excepción de los lugares para el fuego, se vuelven hacia el exterior, hacia la luz. Los nichos que están al mismo nivel que el espacio principal se entienden como ampliaciones que lo reafirman. Contrariamente, los nichos separados de la sala principal por escalones, provistos en ocasiones de muebles fijos, se entienden más bien como compartimentos espaciales independientes. Mayor es la diferenciación de aquellos espacios alojados completamente en el interior del muro y accesibles desde el espacio principal sólo mediante pequeños huecos o exclusivamente a través de nichos. Estos espacios están sometidos al principio de la compartimentación, puesto que su transición directa al espacio principal se ve interrumpida claramente por la profundidad del muro que los separa.

Huecos

La iluminación del espacio central, cerrado por todos sus lados, plantea condicionantes específicos en la configuración y forma de los nichos utilizados para iluminar. A este respecto, pueden diferenciarse básicamente dos tipos de huecos distintos.

Fig. 93: Planta
Francesco Borromini: iglesia de San Carlo alle
Quattro Fontane, Roma, Italia, 1634-1667Fig. 94: Nicho independiente con asientos
Castillo Comlongan, Dumfries (Escocia), Reino Unido,
siglo xv

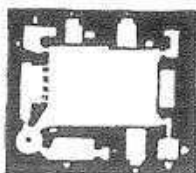


Fig. 96: Castillo Comlongan

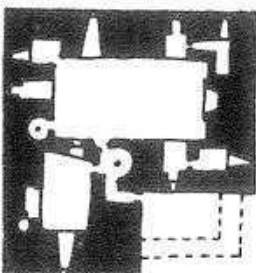


Fig. 97: Castillo Cessford

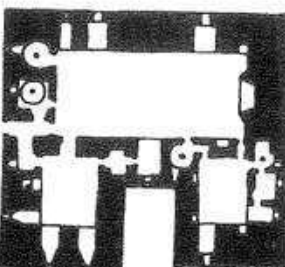


Fig. 98: Castillo Borthwick

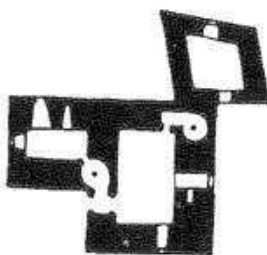


Fig. 99: Castillo Dundas

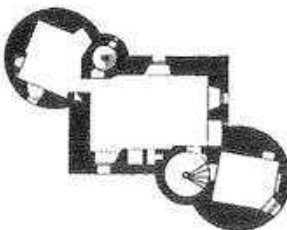


Fig. 100: Castillo Claypott

Embudos de luz

Las aberturas estrechas y profundas en forma de embudo hacen posible repartir la luz por reflexión de forma difusa y regular dentro del espacio. Estos huecos no están asociados a un determinado horizonte, por lo que pueden reaccionar mejor a los condicionantes funcionales. Gracias a la elegante colocación de estas aberturas en los rincones de la pared frontal de la sala, una luz fuertemente concentrada puede incidir sobre la pared en toda su longitud, convirtiéndola en un "lienzo que irradia luz", como sucede en el castillo Borthwick. Con ello, la correcta adecuación de la sala no solo se apoya en su geometría, sino también en el juego entre superficies murarias oscuras y claras: el ámbito inferior del espacio principal se ilumina intensamente, de improviso, a través de unos pocos huecos colocados con ajustada precisión, mientras que el superior configura un espacio oscuro en forma de campana.

Nichos

La incidencia de la luz en los nichos profundos con asientos que siguen principalmente la geometría en ángulo recto de la organización en planta, es muy distinta, pues impiden el reparto óptimo de la luz y originan fachadas interiores de la sala llenas de encanto y ricas en contrastes de luz y sombra. Pero, ante todo, a pesar de la sombría impresión exterior que producen y merced a las relaciones visuales que mantienen con el espacio que existe en su entorno, hacen posible que las salas sean extraordinariamente amplias, claras y habitables. Esto constituye una sorpresa que realmente nunca podría extraerse del simple estudio de la planta.

Taladramientos verticales y organización

Es digno de mención que la planta de los distintos pisos se organice, salvo contadas excepciones, sin pasillo de distribución. Las numerosas escaleras de caracol pueden entenderse como un corredor vertical —tal y como lo describe Hermann Muthesius en su libro *Das englische Haus*— y, por lo general, se sitúan en las esquinas del volumen que conforman los muros o en las alas de las ampliaciones añadidas a la construcción original. Lo peculiar de este "sistema de corredor" es que ninguna escalera conecta en su desarrollo con todas las plantas. Las escaleras de caracol sólo suelen comunicar unidades espaciales de distintas plantas si así lo requiere una relación funcional que obligue a ello. El resultado es un laberinto espacial vasto y complejo. La confusión y la desorientación son principios defensivos de vital importancia una vez que el enemigo ha entrado en la torre. Gracias al cambio de desarrollo de las mismas y de sus distintas direcciones de giro, por medio de esas estrechas escaleras de caracol pueden defenderse del enemigo, de la manera más sencilla, tanto las entradas como las salidas. Conexiones diferenciadas entre distintos niveles y situadas en lugares distintos sólo contribuirían a la pérdida de

orientación. No hace falta adoptar medidas adicionales de confusión, ya que la confusión forma parte de la propia idea de la torre y de su desarrollo constructivo. Tampoco deben infravalorarse las vías secretas de evacuación que permiten la retirada inmediata y sorpresiva del atacado de muy diversas maneras.

Organización

A diferencia de los ejemplos más tardíos, en los más tempranos la entrada no se encuentra al nivel del terreno, sino en la primera planta, conectada directamente por una escalera lateral exterior de madera (o puente). La disposición típica vertical presenta una sala principal por planta y contempla la ubicación en planta baja del almacén de provisiones y del sótano (en inglés *dungeon*, más tarde *donjon*). En la primera planta se sitúa una sala grande y representativa para las ocupaciones cotidianas; en la segunda, los espacios privados del señor o *lord*; en la tercera los de la familia y la servidumbre y, en las construcciones que rematan la torre, la azotea con almenas.

Configuración de la planta

Las formas peculiares de las plantas (bien rectangulares o en forma de L, C, H o Z) tienen su origen esencialmente en el progreso de las técnicas defensivas y en la necesidad creciente de lograr una mayor superficie habitable en cada una de las plantas. Partiendo del tipo básico, un sencillo rectángulo, las ampliaciones del *donjon* producen siempre el mismo modelo: el volumen murario ya existente se completa con un nuevo espacio principal, de menor tamaño que el primero, que encierra características similares. En este nuevo ámbito ampliado se integran primordialmente los espacios secundarios más importantes (de administración e intendencia), alojados hasta entonces en el interior del muro. Sin embargo, la mayoría de los *donjons* no adquirió su configuración definitiva en planta mediante transformaciones de la torre existente, sino por reconstrucciones realizadas a partir de las partes que habían quedado en pie tras los asaltos, incorporando una aceptación renovada de las técnicas de defensa contemporáneas y, correspondientemente, de las nuevas necesidades de vivienda y representación.

Metamorfosis

Con la disminución del carácter defensivo de las torres y el aumento de sus exigencias de representación fue reduciéndose el volumen del muro exterior, y los hasta entonces cámaras y nichos espaciales ocultos comenzaron a mostrarse hacia el exterior como abolladuras que engordaban la fachada (es decir, como si se hubieran convertido en un cuerpo sólido que presionase la capa más exterior del muro, abombándolo). El aspecto macizo y estático de las primeras torres se convierte en un volumen plásticamente articulado con salientes. Las fachadas y las secciones muestran que esos cuerpos que sobresalen comienzan preferentemente a erigirse sobre la última

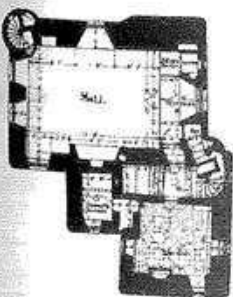
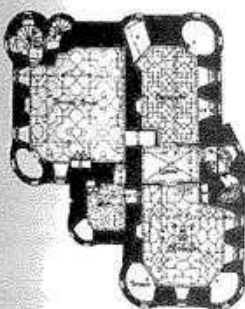
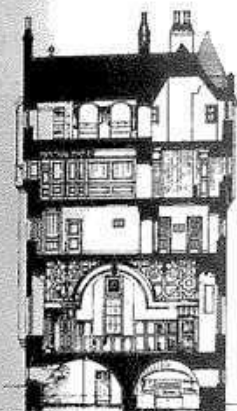


Fig. 101: De arriba hacia abajo: fachada, sección transversal, plantas cuarta y primera. Castillo Craigievar, Aberdeen (Escocia), Reino Unido, siglo XIX.

planta, al igual que la cubierta de los espacios principales. Un conjunto de miradores (torrecillas) y elementos contruados en la cubierta caracterizan la silueta del edificio, convertida en una corona espacial. La, de aquí en adelante, arquitectura romántico pintoresca de las torres más tempranas sigue fundamentalmente las diferentes corrientes en boga de cada época, y renuncia a cualquier medida defensiva superflua.

La organización espacial también se transforma en un conglomerado, como sucede en el castillo Craigievar. Las salas principales ya no se superponen exactamente una encima de otra, sino que cambian su orientación en los pisos superiores y, dependiendo de la función, se compartimentan y desajustan. Las estancias secundarias más importantes se muestran en fachada como una articulación adicional del volumen en L de la torre. Cuando se desea, estas estancias superpuestas pueden alcanzarse desde el espacio principal o conectarse directamente con él. Este principio de comunicación y unión a través de varias capas, organizado siempre siguiendo un orden espacial establecido a partir de la organización en planta, se continúa en el edificio mediante diferentes tipos de escaleras y de su extensión vertical y horizontal. La clara jerarquía inicial de espacios principales y secundarios se ha densificado hasta constituir un complejo "conglomerado espacial".

Derivación morfológica

Gruesos muros circundan una sala rectangular orientada longitudinalmente. No obstante, el grosor del muro y su geometría no se perciben con claridad ni exterior ni interiormente. El espacio interior es geométricamente preciso y se define por sus cuatro ángulos o esquinas.

El vínculo con el exterior tan sólo se produce a través de los huecos practicados en el muro. Al mismo tiempo, el muro de cerramiento se articula mediante fragmentos de esquina individuales. Su grosor se hace legible por la profundidad del intradós de los huecos. La geometría espacial original permanece claramente legible sólo cuando los huecos estén situados en la superficie que delimita el espacio.

Si los huecos se encuentran directamente en los ángulos interiores y tienen casi la altura de la planta, de modo que las superficies que delimitan en el espacio se prolonguen por medio del intradós, el espacio comienza a "diluirse" y pierde su clara geometría. Los fragmentos de muro pasan a ser ahora volúmenes macizos lineales y pierden su capacidad de "hacer comprensible dentro de sí" el espacio.

Por su parte, el hecho de que se perforen cámaras interiores en los fragmentos de muro, ejerce una influencia mínima sobre las cualidades espaciales de la sala principal. Sin embargo, desde el punto de vista de la economía espacial, se consigue un aprovechamiento de la superficie útil que depende de la máxima reducción de la masa muraria y, por tanto, de la estructura. El espacio

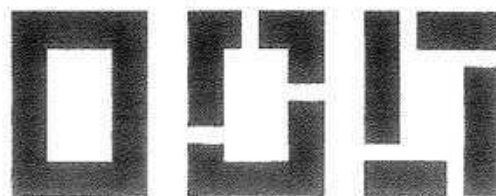


Fig. 102: Esquemas en planta. Espacio cerrado con huecos/huecos en los ángulos.

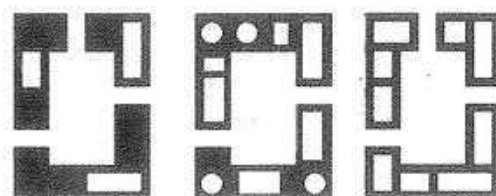


Fig. 103: Esquemas en planta. Cámaras aisladas/diversas inclusiones espaciales/máximo adelgazamiento del muro.

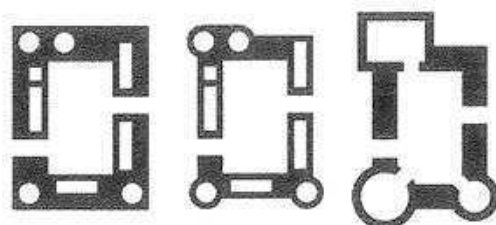


Fig. 104: Esquemas en planta. Figura básica "pura" figura básica expandida/superficie articulada plásticamente.

real contenido en estos muros de apariencia maciza puede reconocerse sólo con la visión directa de las cámaras interiores. Aunque la configuración de las cámaras varíe, ya sea en su geometría o en su dimensión por motivos funcionales, por ejemplo, su influencia tanto sobre el espacio interior como sobre el exterior sigue siendo mínima. Únicamente cuando los sólidos muros espaciales se adelgazan claramente y se ven "presionados" hacia fuera, se dibujan en el exterior los compartimentos horadados en los mismos. Con ello surge una superficie articulada plásticamente, donde todavía es posible reconocer la angulosa figura básica original.

No obstante, si las cámaras amplían sus dimensiones en los ángulos, y se destacan aún más rotundamente del muro, se alcanza el punto en el que la figura básica original ya no puede reconocerse. Surge una nueva composición, determinada en este caso por las grandes cámaras, que apenas permite pensar en la figura que sirvió de partida. El espacio interior, la gran sala central, permanece sin embargo raramente inalterado, su forma geométrica no se modifica, lo que respalda la solidez de la hipótesis del crecimiento espacial de los *donjons* escoceses.

Concepto de ampliación seriada

Contrariamente a lo que sucedió en Inglaterra y en el resto de Europa, en Escocia es inusual que la organización vertical de los torreones se retome para la construcción de



Fig. 105. Planta primera del conjunto
Castillo Glamis, Tayside (Escocia), Reino Unido,
siglos XV-XVI



Fig. 106. Planta baja del conjunto
Castillo Craigmillar, Edimburgo (Escocia), Reino
Unido, siglos XV-XVI

"conjuntos palaciegos" posteriores. La ampliación de la planta resulta de la construcción de alas horizontales y no tiene lugar únicamente mediante la adición de espacios complementarios, sino también mediante el ensamblaje de un sistema de torres (esta es la impresión que se produce visto el conjunto desde el exterior, pues la concepción espacial de las alas surge en realidad de un sencillo proceso de subdivisión). Entre estos ejemplos se encuentra el castillo Glamis, cuya torre, situada en el centro del conjunto y construida originariamente con planta en L en el siglo XVII, se eleva por encima de las alas laterales articuladas simétricamente.

Construcciones según el modelo de los conjuntos palaciegos franceses

De la mano del castillo Craigmillar puede estudiarse otro fenómeno no del todo inusual en la historia del *donjon* y de sus construcciones anexas. La torre original se integra con naturalidad dentro de la secuencia espacial del nuevo complejo. A diferencia del castillo Glamis, este *donjon* "queda perfectamente camuflado". Sólo la sección horizontal delata el grosor de sus muros, que quedan intrincados estrechamente dentro de todo el conjunto.

¿Adolf Loos y las torres escocesas?

Por su carácter esencial y sus volumetrías cúbicas, sencillas y de marcada verticalidad, las villas urbanas construidas para la burguesía por Adolf Loos a finales de la década de 1920, despiertan fuertes asociaciones con los *donjons* escoceses. De estas villas impresiona, por una parte, sus unidades espaciales desprovistas de toda decoración, diferenciadas además entre sí en función de sus diferentes usos; por otra, destaca de ellas la riqueza de sus complejas interrelaciones espaciales, que nos remiten a las representaciones clásicas de la jerarquía entre espacios distintos.

Al igual que en los *donjons*, en un principio, austeros y desprovistos de decoración, estos interiores evolucionan originariamente desde los planteamientos espaciales más imprescindibles hasta composiciones espaciales ramificadas, jerárquicamente muy articuladas. Desde este punto de vista y en relación con la obra de Loos, tienen especial interés las primeras torres defensivas, como, por ejemplo, el castillo Craigmillar; su complejidad espacial y el cuidadoso tratamiento de las superficies, en especial los estucos de los techos de las salas principales, y los revestimientos de madera de los cuerpos que sobresalen de los muros exteriores, son comparables a los materiales variados y ricos empleados en el revestimiento de los espacios de las mencionadas villas urbanas.

El Raumplan o plan espacial

Como *Raumplan*, o plan espacial, denominamos un concepto central en la obra de Adolf Loos: una concepción referida a espacios distintos que se encajan y relacionan directamente entre sí, tanto horizontal como vertical-

mente. Objetivamente, la idea del "plan espacial" en los *donjons* se limita a la sala principal dispuesta en cada planta y a sus nichos espaciales configurados diferencialmente, así como a las correspondientes galerías situadas sin interrupción entre las distintas plantas.

Loos establece una relación entre ámbitos de diferentes tamaños y alturas basándose en la economía espacial. De esa manera, crea una sucesión espacial continua y compacta a pequeña escala, con huecos colocados en el lugar preciso que conectan entre sí esos distintos espacios, definiendo la coherencia espacial y jerárquica de todo el conjunto por medio de sus dimensiones.

A pesar de su diferente organización, puede reconocerse un parentesco espacial entre las torres defensivas y las villas de Loos: ambas se articulan a través de espacios principales desprovistos de corredores y cuentan con diversos tramos de escaleras que conectan las distintas plantas. En los torreones se persigue claramente una estrategia defensiva basada en la confusión, mientras que Loos pretende escenificar la superación de los límites espaciales. Y al igual que sucede en las torres defensivas con el espacio central, en las villas de Loos es legible la idea de expansión de la planta principal.

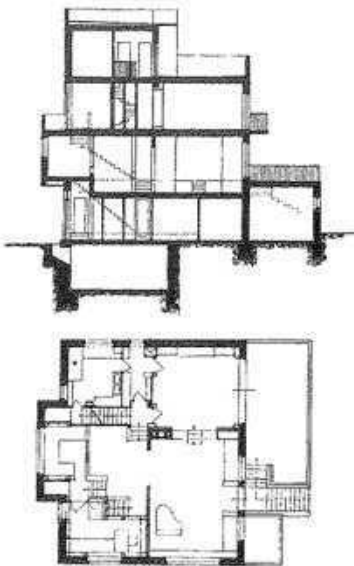


Fig. 107. Sección y planta primera
Adolf Loos: casa Möller, Viena, Austria, 1928

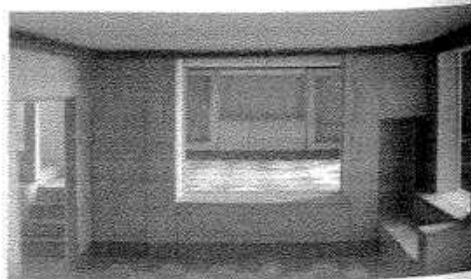


Fig. 108. Maqueta seccionada de la planta superior, trabajo de estudiante.
ETH, 2002
Adolf Loos: casa Möller, Viena, Austria, 1928

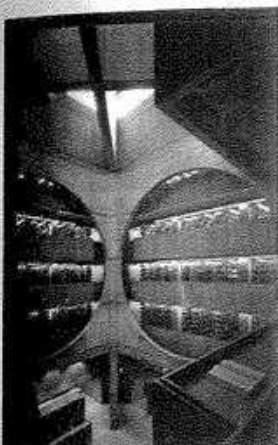


Fig. 109: De arriba hacia abajo: fachada, vestíbulo central y nichos periféricos de trabajo Louis I. Kahn: biblioteca Phillips Exeter (New Hampshire), Estados Unidos, 1968-1972

¿Louis I. Kahn y los *donjons* escoceses?

The castellated and domestic architecture of Scotland, un trabajo en cinco tomos de David MacGibbon y Thomas Ross, está considerado como la obra fundamental de la investigación acerca de las construcciones defensivas escocesas. Es de suponer que Kahn conocía bien esta publicación, al menos el primer tomo, pues a menudo se refiere al castillo Comlogan, muy documentado en dicho texto.

En la arquitectura de Louis I. Kahn puede reconocerse su manifiesta fascinación por la tipología clara, sencilla y arcaica de un espacio circundado por un muro como una coraza consistente, al igual que sucede en los *donjons* escoceses más tempranos. Lo que despertó el interés de Kahn no fue la masa misma, sino las inclusiones espaciales practicadas en los muros que rodean un espacio principal y que crean una sucesión de espacios diferenciados. La sencilla pero clara jerarquía establecida consecuentemente entre un espacio principal y otros varios secundarios, que se articulan periféricamente siguiendo un orden evidente, constituye un aspecto muy característico de la obra de este arquitecto.

Biblioteca Phillips Exeter

La planta cuadrada de la biblioteca Phillips Exeter (1968-1972), de simetría axial, rodea un amplio vestíbulo central de varios pisos de altura por medio de dos anillos espaciales. El anillo interior se extiende entre cuatro núcleos de comunicación vertical y de instalaciones que ocupan los ángulos del edificio. El anillo exterior rodea al interior con aparente independencia de la rígida regularidad del orden de la fachada, compuesto de pequeñas subdivisiones. Ambos anillos se anclan recíprocamente tan sólo en las esquinas.

La concentración espacial que se produce a partir del vestíbulo (de una altura de varias plantas), más allá de la zona de depósito de libros (de varios pisos superpuestos), y hasta las zonas periféricas de trabajo y lectura (cada una de una altura de dos plantas), supone una respuesta precisa a las exigencias específicas del programa. Los nichos de trabajo, insertos entre las mochetas de las ventanas y concebidos como contenedores espaciales con carácter de muebles, refuerzan el contorno del edificio con su plasticidad.

La tipología de espacios principales y secundarios, surgidos de forma aparentemente casual en el consistente caparazón del volumen, entendido como una torre, es interpretada por Kahn con un estricto orden jerárquico concéntrico y capas espaciales densas y diferenciadas.

Exteriormente, el edificio configura un volumen de gruesos muros de ladrillo, como placas reforzadas en algunos puntos, o pilares que se adelgazan a medida que ascienden en altura. Los huecos resultantes articulan la fachada por medio de diferentes alturas y según las reglas de la arquitectura clásica, es decir, con una división tripartita de la misma, compuesta de zócalo, cuerpo central

y coronamiento. Las esquinas del edificio están cortadas en chafán y dejan libres los pequeños espacios, como cámaras y en parte abiertos, que se encuentran detrás. Esta medida impide, por un lado, la percepción de continuidad a lo largo de todo el edificio, pero, por otro, hace legible la profundidad del anillo espacial exterior en los ángulos achaflanados. La masa compacta en apariencia del volumen edificado se ve diluida mediante las placas

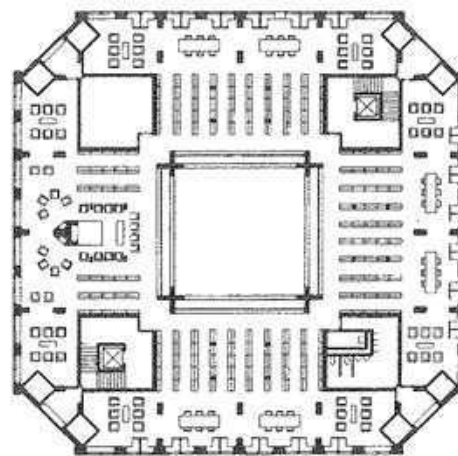
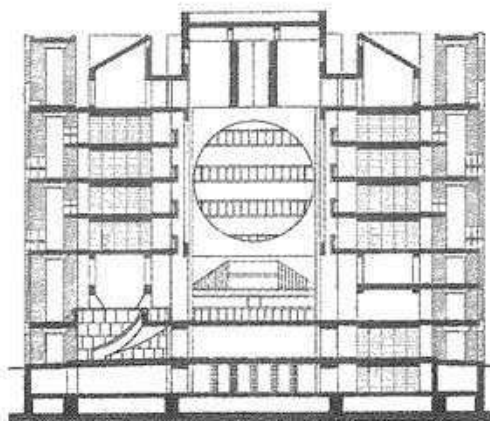


Fig. 110: Sección y planta tercera Louis I. Kahn: biblioteca Phillips Exeter (New Hampshire), Estados Unidos, 1968-1972

espaciales de ladrillo parcialmente interrumpidas en las esquinas. Con ello se pone de manifiesto, ya en las superficies que envuelven el edificio, su riqueza espacial interior.



Fig. 111: Volumen herméticamente cerrado con los huecos encajados sólo aparentemente en la masa
Jun Tamaki: casa Hakama, Kioto, Japón, 1998

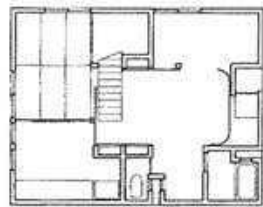
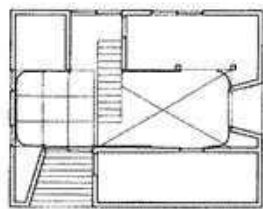
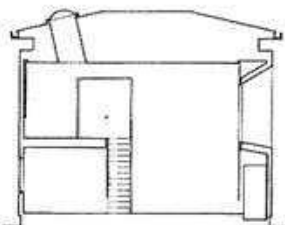


Fig. 112: Sección, planta baja y primera
Jun Tamaki: casa Hakama, Kioto, Japón, 1998

Comparaciones con la vivienda actual: Japón

Viviendas mínimas japonesas

En las áreas más pobladas de las grandes ciudades japonesas surgen asentamientos de muy poca altura que se extienden como alfombras en torno a sus centros debido al riesgo de terremotos. En ellas, peculiares unidades residenciales mínimas aprovechan cualquier espacio residual o intermedio. La enorme presión económica y, como consecuencia de ella, el aprovechamiento máximo del suelo, genera edificios cuya superficie coincide prácticamente con la de la pequeña parcela. Por una parte, existe la necesidad de construir económicamente, por otra, se plantea la cuestión central de encontrar una tipología que pueda reaccionar a las estrictas condiciones de espacio. Una particularidad común a casi todas estas "viviendas mínimas" es su carácter introvertido, puesto que apenas pueden desarrollar espacio alguno para sus fachadas (del italiano *faccia* = cara). Su causa radica en la densa estructura urbanística en la que se insertan, con distancias mínimas entre los edificios o, sencillamente, en la colmatación de los vacíos existentes que, en todos los casos, permiten sólo la existencia de muy poca superficie de fachada.

Casa Hakama

La casa Hakama, obra de Jun Tamaki y construida en Uji-shi (Kioto, 1998), se encuentra en un barrio japonés típico, entre una casa antigua y una entrada a una parcela situada más profundamente con relación a la calle. Por su aspecto exterior, el edificio reacciona de modo autista respecto del entorno más próximo. Una marcada junta separa su volumen monolítico de la cubierta plana situada por encima. La curiosa configuración monolítica del volumen se refuerza por medio de unos pocos huecos abocinados, profundos y encajados en la masa aparente del edificio.

Los huecos están cuidadosamente dimensionados para que no amenacen con debilitar visualmente el volumen del edificio. Si bien éste tiene algunos otros huecos enrasados con las superficies exteriores, se supeditan por su tamaño y posición a las grandes aberturas en forma de embudo que lo caracterizan, por lo que no perturban su apariencia monolítica.

Dado el escaso interés del entorno en que se ubica este edificio, la idea del vestíbulo de doble altura rodeado de dos capas de espacios secundarios y repartidos entre dos plantas resulta convincente. Lo más interesante de esta obra reside en el "apresamiento" de este espacio central, su iluminación y su relación con los espacios secundarios.

¿Vivienda de un solo espacio?

El vestíbulo central posibilita una organización en planta sin corredor de distribución. Es, simultáneamente, una superficie de circulación y un espacio de estancia, desde el que se accede por medio de la única escalera a la

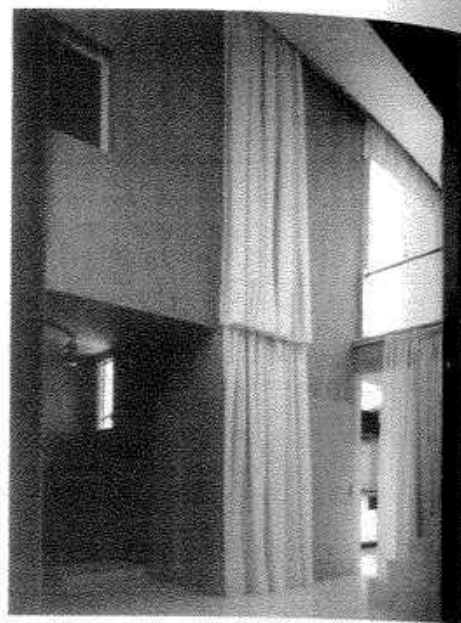


Fig. 113: Ensanchamiento del espacio central con las cortinas descorridas
Jun Tamaki: casa Hakama, Kioto, Japón, 1998



Fig. 114: Espacio central delimitado por las cortinas echadas
Jun Tamaki: casa Hakama, Kioto, Japón, 1998

planta superior. Este conflicto se contrarresta por medio de una cortina que puede cerrar el espacio central o bien abrirlo a los nichos espaciales que se encuentran detrás. Esta solución permite elegir pues, entre obtener un espacio único, de carácter casi extrañamente sacro, o una configuración espacial interior completa, con los espacios añadidos que discurren a lo largo de todo el contorno de la casa, y que la hacen parecer mucho mayor de lo que en realidad es.

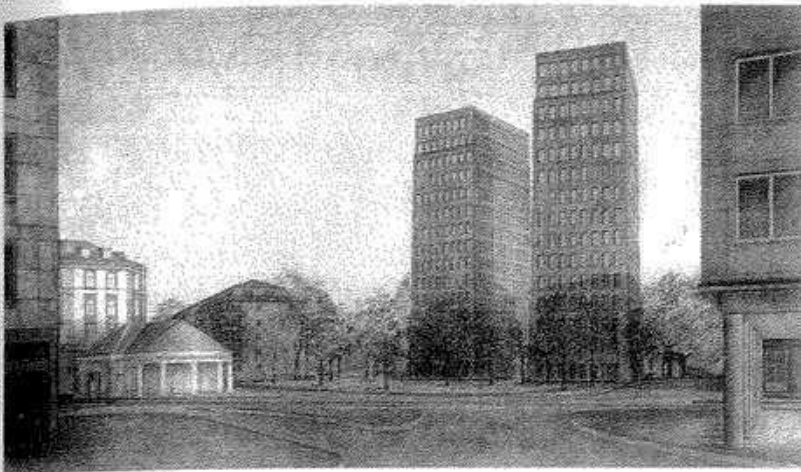


Fig. 115: Catherine Gay: torres en Kreuzplatz, Zürich, Suiza
Proyecto fin de carrera, ETH, Zürich, 1999

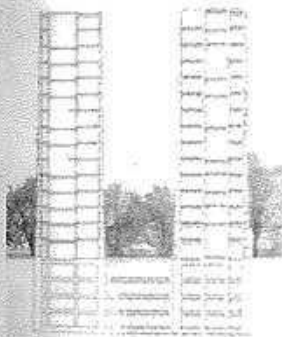


Fig. 116: Sección
Catherine Gay: torres en Kreuzplatz, Zürich, Suiza
Proyecto fin de carrera, ETH, Zürich, 1999



Fig. 117: Interior del vestíbulo iluminado por tres de sus lados
Catherine Gay: torres en Kreuzplatz, Zürich, Suiza
Proyecto fin de carrera, ETH, Zürich, 1999

Dos torres residenciales

En su proyecto fin de carrera de 1999, Catherine Gay plantea el tema de la construcción puntualmente densificada, con dos torres elevadas situadas en Kreuzplatz, Zürich. Los dos edificios en torre, de configuración maciza, se levantan entre el espeso arbolado del parque Arter, que se extiende hasta el espacio urbano de Kreuzplatz. Los volúmenes están dispuestos de forma que articulan esta área verde y nos introducen desde la plaza en el propio parque. La solidez óptica de las torres se debe a la elección de la obra de fábrica vista de piedra arenisca para los muros, que conforman una envoltura regularmente perforada y adelgazan su grosor a medida que se asciende en el edificio, acentuando de esa manera su perspectiva en altura. La riqueza espacial interior permanece oculta tras la rígida retícula de la fachada, que sólo se abre cuando se entra en las torres.

Estructura portante versus estructura espacial

La estructura portante se configura mediante dos grandes cajas en forma de torre ("torre dentro de una torre") que generan en torno a ellas salas y anillos espaciales de distinta profundidad. Los diferentes anillos se separan en altura por forjados macizos de hormigón, mientras que el espacio de la sala encerrada dentro del núcleo portante de la torre, en consonancia con el concepto contrario al de macizo, puede separarse estructuralmente con forjados de vigas en distintas alturas. La estructura espacial en planta coincide prácticamente con la portante, y puede modificarse en los espacios pertenecientes al anillo gracias a su división y a la diferenciación de alturas de la sala central.

Disposiciones de uso

En cada planta se disponen dos viviendas en torno al espacio central; es decir, habitaciones, galerías, cocinas y baños, así como los conductos de instalaciones y elementos de comunicación vertical que discurren a lo largo de todo el edificio. Debido a su tamaño, los espacios cen-

trales creados son fundamentalmente lugares de estancia, lo que se pone de manifiesto por los pilares de fábrica macizos que los rodean y por el pavimento rehundido conseguido mediante determinados escalonamientos. Al contrario de lo que sucede con las cortinas de la casa Hakama de Jun Tamaki, los límites espaciales de los espacios centrales están aquí definidos por límites macizos manifiestamente inamovibles. La jerarquía se establece no sólo por la posición y las dimensiones, sino también por las propiedades de los límites espaciales.

El principio de estratificación vertical según anillos entre dos muros y dispuestos en torno a un espacio central y paredes divisorias no portantes, permite una libertad de usos casi total. De este modo, las torres también pueden contener oficinas, restaurantes o guarderías a la misma altura que las viviendas, sin que por ello sea necesario modificar la estructura portante propuesta. Las unidades de uso individuales pueden extenderse en planta y también verticalmente en torno a cada espacio central, reforzándose además así la unidad de conjunto y la continuidad espacial entre las diferentes plantas.

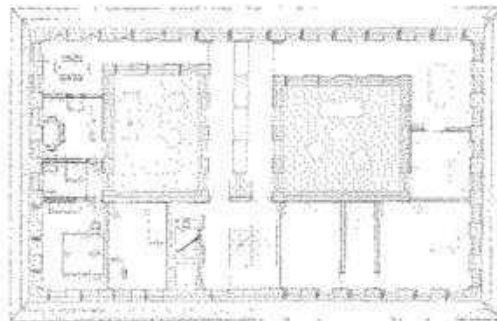


Fig. 118: Planta tipo
Catherine Gay: torres en Kreuzplatz, Zürich, Suiza
Proyecto fin de carrera, ETH, Zürich, 1999

Fases del proceso de planeamiento

Fases del proyecto	Tareas	Destinatarios de planos	Planos	Escala	Exactitud del presupuesto	Método de cálculo	Plazos, datos orientativos
Planeamiento estratégico	Planeamiento de las necesidades Estratégicas						
Estudios previos	Definición del proyecto	Promotor	Plano general	1:10 000			
	Estudio de viabilidad		Plano de área	1:5 000			
Anteproyecto	Estudio de soluciones posibles y cálculo aproximado del coste de la obra	Promotor Funcionarios Técnicos implicados	Plano de situación Plano catastral Plantas Secciones Alzados	1:1 000 1:500 1:200	Cálculo aproximado $\pm 25\%$	Volumen edificado (m ³), elementos constructivos	Consultas preliminares Trámites preliminares
	Anteproyecto y presupuesto estimado				Presupuesto estimado $\pm 20\%$	Volumen edificado (m ³), elementos constructivos	
Cometido de la obra	Cometido de la obra	Promotor Funcionarios Técnicos implicados Especialistas	Plano de situación Plano catastral Plantas Secciones Alzados	1:1 000 1:500 1:100			
	Estudios de detalle		Secciones de detalle Detalles en planta Detalles en alzado	1:20 1:5 1:1			
	Estimación de costes				Presupuesto $\pm 10\%$	Elementos constructivos, oferta de empresas	
Concesión de licencias	Concesión de licencias	Promotor Funcionarios	Plano de situación Plano catastral Plantas Secciones Alzados	1:1 000 1:500 1:100			Presentación anteproyecto
Memoria	Planos de memoria (planos de ejecución provisionales)	Promotor Técnicos implicados Empresas	Plantas Secciones Alzados Movimiento de tierras Canalización	1:50			Concesión de licencias
	Memoria, comparación de ofertas y adjudicación				Mediciones y presupuesto		
Planos de ejecución	Planos de ejecución	Promotor Empresas	Planos de ejecución Planos de detalle Plantas Secciones Alzados Movimiento de tierras Canalización Planos de cocinas Planos de cuartos húmedos	1:50 1:20 1:5 1:1			
	Contratación de partidas				Elaborar bases del contrato		Adjudicación de obra
Ejecución	Dirección del proyecto						Comienzo de edificación
	Dirección de obras y control de costes				Control de costes en función del presupuesto		
Conclusión	Inauguración						
	Documentación relativa al edificio	Promotor Funcionarios	Planos de revisión Planos para publicaciones	1:500, 1:200, 1:100 Según sea preciso			
	Dirección de los trabajos de garantía						
	Liquidación final				Liquidación final		
Administración	Funcionamiento, mantenimiento						

Nota

Las fases del proyecto enunciadas en este artículo proceden de la norma suiza SIA Norm 102, edición de 2003.

El proceso constructivo

Trabajos preliminares

- Estudio geotécnico
- Demoliciones, preparación de terreno
- Instalación de canteras comunes
- Zanjas de cimentación, desmonte de tierras

Fase de construcción de la obra en bruto (1)

- Tareas del maestro de obras
- Andamios
- Canalizaciones
- Trabajos de hormigón y hormigón armado
- Trabajos de albañilería
- Tareas de montaje en hormigón/acero/madera

Fase de construcción de la obra en bruto (2)

- Ventanas, puertas exteriores, portones
- Trabajos de chapa
- Cubrición
- Juntas especiales y aislamiento
- Enfoscado
- Tratamiento de superficies exteriores
- Protección solar, remates exteriores

Instalaciones/Infraestructura

- Electrotecnia
- Calefacción, ventilación y aire acondicionado
- Instalaciones sanitarias
- Instalaciones de transporte (montacargas y ascensores)

Obras de acabado (1)

- Trabajos de yesería
- Trabajos de metal
- Trabajos de carpintería

Obras de acabado (2)

- Pavimentos
- Revestimiento de paredes
- Revestimiento de techos
- Tratamiento de superficies interiores
- Secado de la obra
- Limpieza final

Entorno

- Configuración del terreno
- Obras
- Canalizaciones del entorno
- Muros de contención
- Pavimentación
- Instalaciones ajardinadas
- Trabajos de jardinería
- Cercado
- Dotaciones, aparatos

Advertencia

En este extracto, las diversas tareas se muestran aproximadamente en relación con el proceso constructivo de la obra. Está claro que muchos de los trabajos específicos discurren de forma paralela y no según una separación cronológica estricta. Con frecuencia, para concluir puntualmente una obra es necesario el establecimiento de varios turnos de trabajo en diferentes tiempos. El listado se corresponde con la clasificación según distintos tipos de trabajo en el plan de costes de la construcción de la central suiza para la racionalización de la construcción (CRB).

Sistemas constructivos de células espaciales

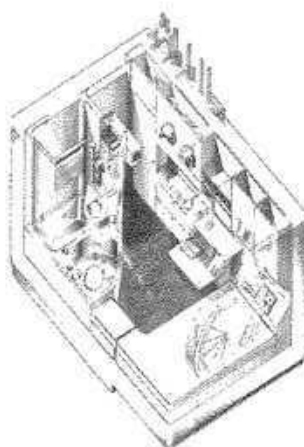


Fig. 119: Representación axonométrica de la célula espacial
Kisho Kurokawa: torre cápsula Nakagin, Tokio, Japón, 1972

Kisho Kurokawa: torre cápsula Nakagin

En esta torre cápsula creada por Kisho Kurokawa, 144 células idénticas se apilan en altura en torno a dos núcleos de escaleras. Estas cámaras prefabricadas, de dimensiones que se corresponden con las de los habituales contenedores para el transporte naval, tienen cuarto de baño, cocina americana y un espacio para la cama.

La configuración del edificio es consecuencia de fundamentos muy congruentes en el desarrollo de su proyecto y de su construcción. La forma exterior no es el punto de partida, sino el resultado (como variante de la superposición de las células aparece una orientación diferenciada de las mismas).

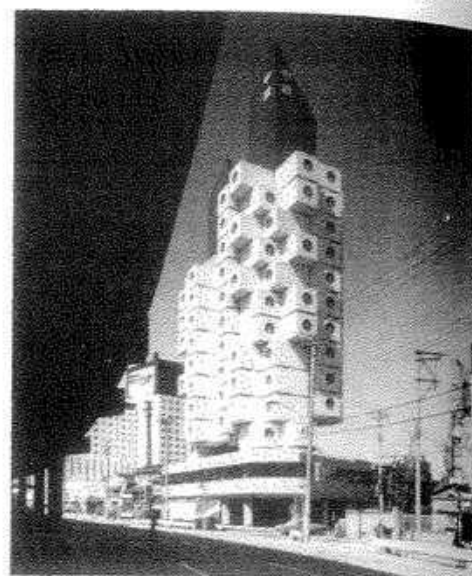


Fig. 122: Vista exterior con la torre de escaleras que sobresale por encima de las células espaciales
Kisho Kurokawa: torre cápsula Nakagin, Tokio, Japón, 1972

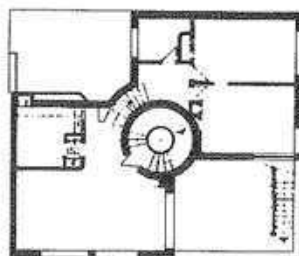


Fig. 120: Planta primera, a la derecha terraza sobre el estudio
Rob Mallet-Stevens: villa Martel, París, Francia, 1929-1927



Fig. 121: Vista exterior con el estudio en primer plano y la caja de escaleras parcialmente exenta
Rob Mallet-Stevens: villa Martel, París, Francia, 1929-1927

Rob Mallet-Stevens: villa Martel

En esta villa puede reconocerse tanto el principio de adición como el de división espacial. La planta se basa en un rectángulo en cuyo centro se sitúa un núcleo circular de escaleras que se prolonga sobre todas las plantas. A esta columna vertebral se anexionan los diferentes espacios configurados como células, cuyo número va reduciéndose a medida que se asciende en altura por la formación de terrazas.

El enfoscado aplicado a todo el edificio (bajo el que se ocultan intencionadamente las juntas constructivas) y la posición de las ventanas, dan fe de una concepción escultural del volumen. La forma en su conjunto no es tan sólo el resultado de la composición espacial, sino un objetivo en sí misma.

Sistemas constructivos de placas

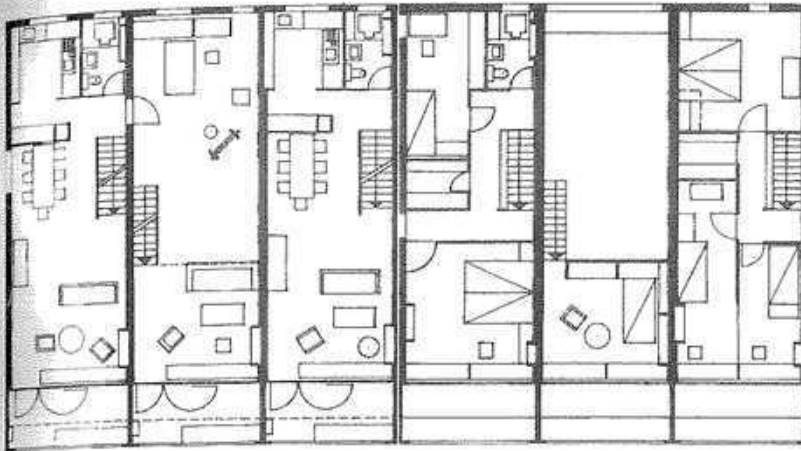


Fig. 123: División de las diferentes unidades residenciales por medio de placas (a la izquierda, planta principal, a la derecha, planta superior).
Atelier 5: Siedlung Flamatt 1, Berna, Suiza, 1957-1958

Atelier 5: Siedlung Flamatt 1

La vivienda concebida por el Atelier 5 lleva a cabo un uso ejemplar de la disposición en serie de placas estructurales. Estas separan las viviendas individuales y determinan las dimensiones de la zona de estar en la planta principal. La fachada sur refleja esta estructura portante, que delimita a su vez los huecos ("apertura estructural"). Con la introducción de las galerías a lo largo de todo el edificio, se hace aún más evidente el principio de los sistemas constructivos de placas estructurales.

Placas y forjados han sido construidos con hormigón armado vertido in situ como estructura fundamental, mientras que las paredes de las habitaciones en el interior de cada vivienda se componen de elementos prefabricados de hormigón de la altura de un piso.

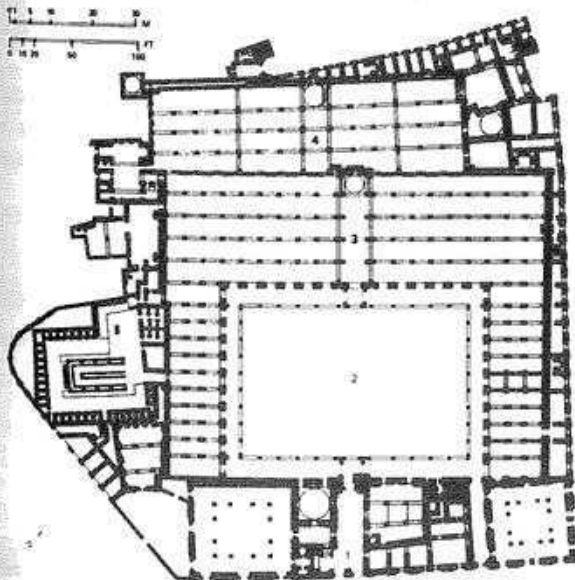


Fig. 124: En planta, el signo distintivo son los muros y las pantallas que se disuelven en arcos...
Mezquita de El-Azhar, El Cairo, Egipto, hacia 970

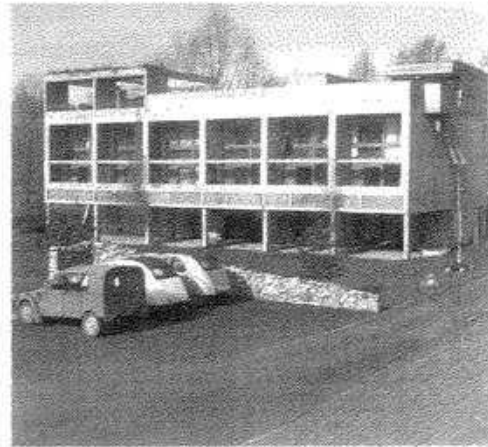


Fig. 125: La estructura de placas se trasluce en la fachada sur.
Atelier 5: Siedlung Flamatt 1, Berna, Suiza, 1957-1958

Mezquita de El-Azhar, El Cairo

Los espacios de oración del mundo islámico son obras pioneras en la construcción de naves amplias y de gran superficie. Se basan en una retícula ortogonal de columnas, que es cuadrada en el caso de la mezquita de El-Azhar.

A pesar de que los arcos alineados marcan una dirección espacial, ésta se atenúa por la existencia de vigas transversales que los apuntalan, y que introducen ópticamente un plano espacial intermedio. Desde el punto de vista constructivo, la estructura portante está resuelta siguiendo un sistema constructivo clásico de placas, con muros paralelos longitudinales y forjados que se tienden entre ellos. Sin embargo, el hecho de que tanto muros como placas se disuelvan en arcos y columnas produce la impresión de que se trata de una nave de columnas de gran superficie.

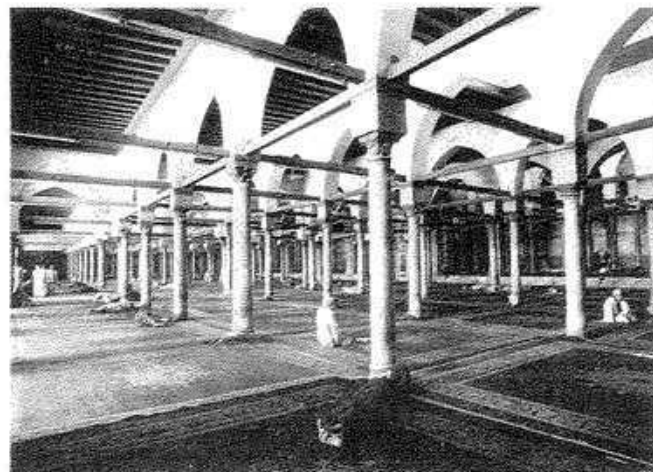


Fig. 126: ... mientras que en la sala de oraciones, debido a las vigas transversales que apuntalan los arcos, el sentido espacial marcado por la alineación de éstos se atenúa.
Mezquita de El-Azhar, El Cairo, Egipto, hacia 970

Sistemas constructivos de armazón o esqueleto

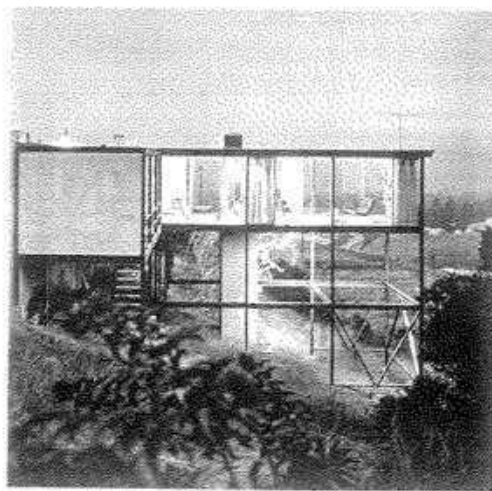


Fig. 127: El esqueleto de acero (entramado) constituye un criterio formal evidente
Craig Ellwood: casa Smith, Los Angeles (California), Estados Unidos, 1967-1968

Craig Ellwood: casa Smith

Esta casa se basa en un esqueleto de acero desprovisto de jerarquía constructiva. Aunque pilares y vigas están dimensionados de modo diferente, presentan una apariencia equivalente. Sólo las riostras diagonales y los estribos de apuntalamiento son más delgados.

El armazón de acero nivela las irregularidades topográficas y, con ello, evita los habituales trabajos de excavación y cimentación por su carácter de sistema constructivo comparativamente ligero. Los espacios se configuran en el interior de la estructura modular portante, con superficies de relleno entre los elementos constructivos.

Fritz Haller: escuela cantonal de Baden

Una retícula cuadrada de pilares constituye el punto de partida del esqueleto de acero proyectado por Fritz Haller, desarrollado de forma semejante en las dos direcciones de la planta. Como muestra la imagen, los pilares no se levantan en cada planta, sino que se prolongan como "postes" a lo largo de varios pisos. Las vigas horizontales se apoyan y se atornillan en ménsulas previamente montadas en dichos "postes".

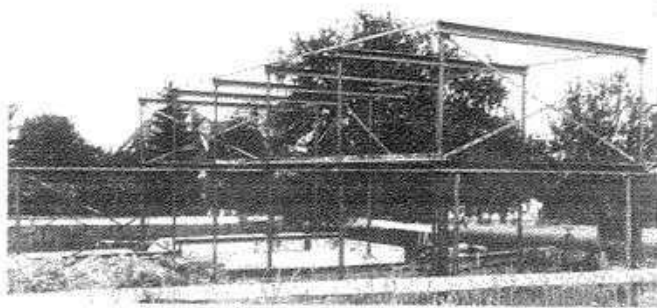


Fig. 129: Esqueleto de acero con vigas colocadas en el mismo plano, superficies de forjado como sistema secundario
Fritz Haller: escuela cantonal de Baden, Suiza, 1962-1964

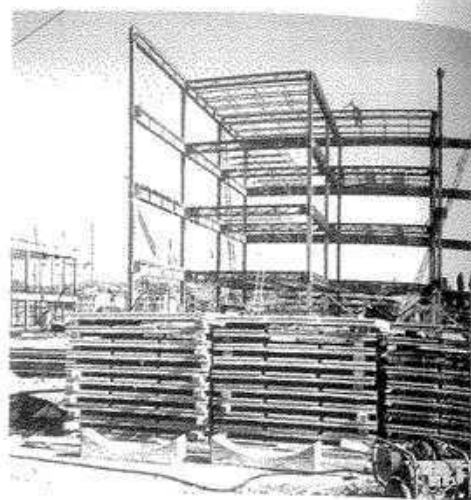


Fig. 128: La estructura portante primaria como alineación y superposición de tramos individuales
Artaria & Schmidt: casa Schaeffer, Riehen, Suiza, 1927-1928

Las diferentes zonas de forjado se tienden entre estas vigas como un subsistema situado en el mismo plano. Su configuración a partir de cerchas, además de aminorar el peso propio, permite también la conducción horizontal de instalaciones sanitarias y de calefacción.

Artaria & Schmidt: casa Schaeffer

En la imagen de esta casa en construcción, el esqueleto de acero empleado muestra una clara diferencia entre la estructura portante primaria y la secundaria. Al igual que si se tratara de pórticos, los bastidores, compuestos por dos pilares de sección circular y una viga en doble T, se repiten en sentido longitudinal. Los angulares de acero son elementos auxiliares que conectan unos bastidores con otros, dentro de lo que constituye un sistema secundario.

La construcción se completa con un revestimiento de obra de fábrica enfoscada, que no permite deducir el sistema constructivo empleado. La construcción con perfiles de acero es simplemente un medio para alcanzar un fin, y el motivo de su utilización ha sido su rápida puesta en obra.



Fig. 130: Las huellas constructivas desaparecen por el relleno de obra de fábrica y el enfoscado
Artaria & Schmidt: casa Schaeffer, Riehen, Suiza, 1927-1928

Sistemas constructivos de losas y pilares

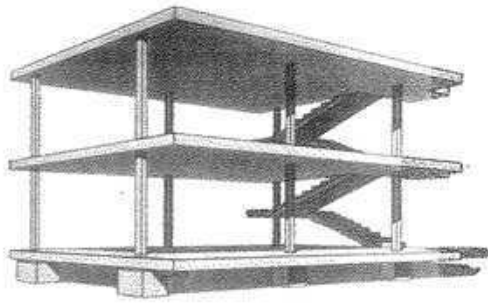


Fig. 131: Estructura portante de hormigón con forjados en voladizo y escaleras que refuerzan la estructura
Le Corbusier: sistema Dom-ino, 1914

Le Corbusier: sistema Dom-ino

En sistema Dom-ino, surgido a partir del sistema Hennebique, donde los pilares de hormigón in situ descansan en el borde más exterior del forjado, también de hormigón, es significativo el retranqueo de los mismos por Le Corbusier, lo que implica, por un lado, una reducción de la luz, con el consiguiente menor grosor del forjado y, por otro, la colocación de huecos independientes de la estructura portante. La ventana corrida, propagada posteriormente por Le Corbusier, o, sobre todo, la fachada libre está estrechamente vinculada a este sistema constructivo.

Una vez desprovista la fachada de su función estructural, es posible emplear materiales de peor calidad y menor resistencia para su puesta en obra, por ejemplo, en edificios destruidos, como propuso Le Corbusier para la reconstrucción de Flandes tras la guerra.

Lina Bo Bardi: casa de vidrio

En su propia casa, situada en un lugar de suave pendiente, Lina Bo Bardi combina tanto el sistema de losas y pilares como el de células espaciales. Apoyada en pilares de sección circular, la expresiva zona de estar en voladizo se configura mediante dos losas. Entre ambas se extiende (como si fuera una piel) el acristalamiento de la fachada, transmitiendo una imagen de máxima ligereza.

La solidez de la construcción se refuerza gracias a los dormitorios situados en la parte posterior, que colocados en dos hileras y con un jardín intermedio, responden al principio del sistema de células espaciales. La planta baja diáfana constituye la antesala del garaje y del acceso a la sala de estar.

Ludwig Mies van der Rohe: casa J. Caine (proyecto)

La definición espacial en este proyecto para una casa de una sola planta deriva de la existencia de paredes placa no portantes y dispuestas libremente en el interior de la retícula de pilares o ajustados a ella. Las relaciones entre las paredes configuran células claramente definidas, pero también espacios fluidos y continuos. Según la posición que ocupe el habitante de la casa, puede encontrarse a la vez en dos espacios o incluso en tres.

El proyecto muestra una densificación de los espacios en la parte derecha, donde están las habitaciones para el servicio y para los niños que, en parte, se encuentran inmediatamente junto a la fachada; las superficies restantes permiten un recorrido libre a lo largo de ésta. El sistema de losas y pilares con una fachada acristalada en toda su superficie, se plantea aquí como objetivo lograr una óptima fusión, lo más amplia posible, entre los espacios interiores y exteriores.

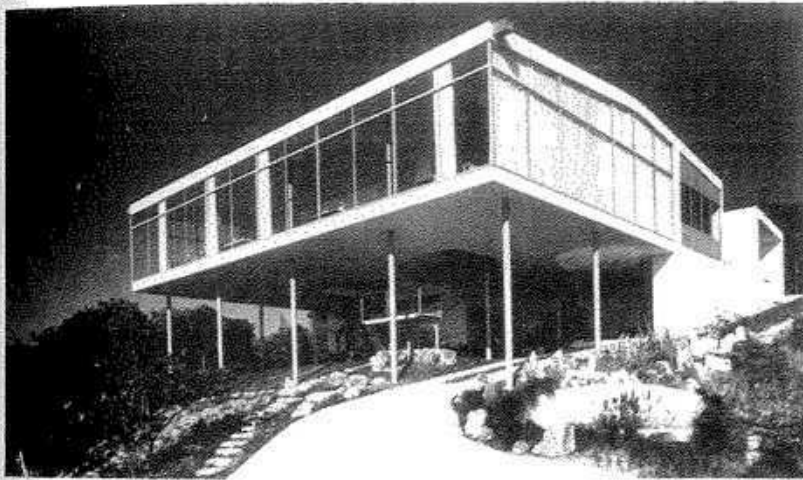


Fig. 132: Salón de estar transparente y en voladizo, cuya estructura liviana está reforzada por los volúmenes posteriores que contienen los dormitorios
Lina Bo Bardi: casa de vidrio, São Paulo, Brasil, 1951

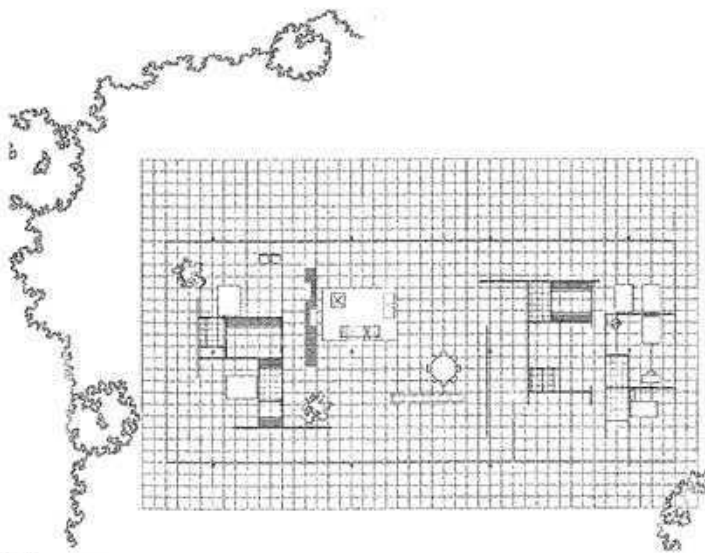


Fig. 133: Espacio continuo y fluido, fusión entre el interior y el exterior
Ludwig Mies van der Rohe: casa J. Caine (proyecto), Winnetka (Illinois), Estados Unidos, 1950

Sistemas constructivos de naves

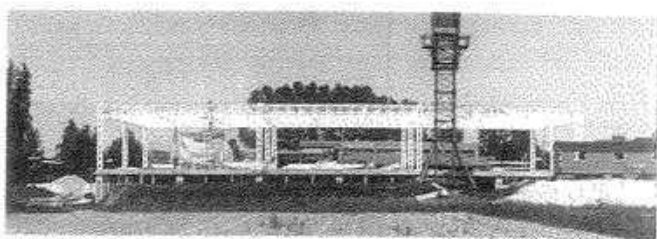


Fig. 134: Sistema constructivo de acero Maxi, arriba sin revestir, a la derecha con el sistema de fachada correspondiente
Fritz Haller: complejo administrativo USM, Bühl, Alemania, 1963-1967

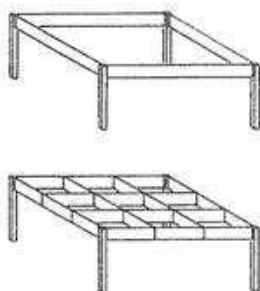


Fig. 135: Sistema constructivo modular

Fritz Haller: complejo administrativo USM en Bühl

El sistema Maxi, desarrollado por Fritz Haller para las oficinas de USM, es un sistema constructivo por módulos similares a cajas que, además de la estructura portante, incluye elementos de fachada y de cubierta.

La dimensión máxima de la retícula de pilares es de 14,4 m en la disposición alineada no regularmente, y entre 9,6 y 19,2 m en la alineada regularmente. Al igual que en el Palacio de Exposiciones de Jean Prouvé, los forjados se componen de cerchas estructurales, aunque en este caso no constituyen un sistema autónomo. El forjado está formado por vigas principales tendidas de pilar a pilar, y de vigas intermedias en cruz que descansan en el mismo plano (nudos axiales).

La fachada no portante está fijada a una estructura secundaria, cuyo módulo reticular mide 2,4 m, y que no permite reconocer la estructura portante antepuesta. Fritz Haller ha concebido también los sistemas modulares Midí y Mini, dimensionados para salvar grandes luces.

Almacén para sales industriales

La nave representada muestra tanto el empleo de elementos portantes formados por planchas de madera (con fajas, también de madera, encoladas entre ellas) como el aspecto de un sistema parcial de prefabricación.

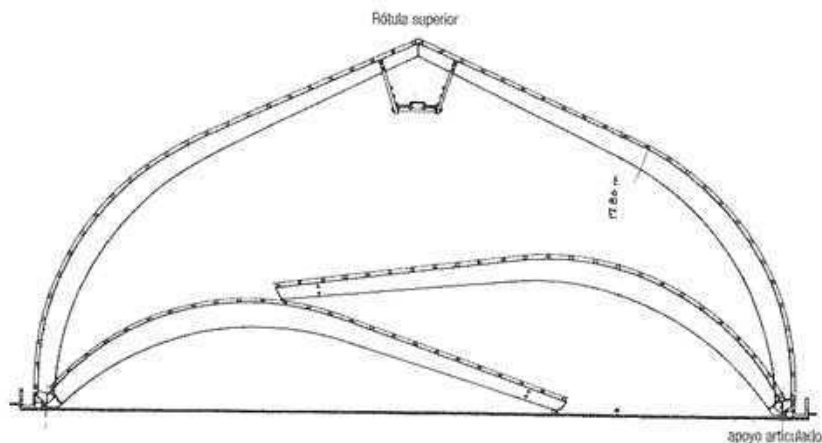


Fig. 136: Sistema constructivo con una viga principal como estructura portante primaria y superficies laminares espaciales (medias cáscaras) como estructura portante secundaria
Almacén para sales industriales

En esencia, el encolado que une las tablas de madera a las vigas compensa las irregularidades naturales propias de este material, su falta de homogeneidad; por otra parte, las dimensiones longitudinales hacen posible superar el límite impuesto por la altura de crecimiento de los árboles. Cada faja de atado de las vigas, que en el caso de este almacén para sal industrial está formada por un arco con tres articulaciones, sigue el diagrama de fuerzas.

Cada dos vigas se conforman, junto con las riostras contra el viento y de refuerzo, superficies laminares (medias cáscaras) que, como elementos prefabricados, se elevan una contra la otra y se soportan por sí mismas. Los cabios y uniones que consecuentemente faltan entre las cáscaras se completan in situ, y se ocultan de la vista en la fase final del proceso de montaje.

Jean Prouvé, palacio de exposiciones

El palacio de exposiciones se extiende sobre una superficie de 23.800 m², a partir de una retícula de pilares de 36 m. La estructura primaria puede entenderse como una mesa formada por la unión curvada y rígida de pilares y vigas de acero de 1,5 m de altura.

Cada pilar se compone de cinco tubos de acero con una base común que se abren hacia arriba separándose para conseguir el efecto de rigidez exigido. El "marco espacial" construido con cerchas en cruz, descansa como estructura secundaria sobre las jácenas. La estructura espacial se montó en el suelo. Una vez ensambladas las diferentes superficies parciales, se izaron y montaron conjuntamente.



Fig. 137: Proceso de montaje con superficies laminares (medias cáscaras) prefabricadas
Almacén para sales industriales

Prefabricación

Construir sistemáticamente, sistemas constructivos

Alois Dietelm

Cada modo de construir se basa en reglas constructivas que, a su vez, derivan de las cualidades y condiciones de los materiales empleados y de las exigencias que plantean. Las particularidades específicas de un elemento constructivo es finalmente el resultado de un proceso de conocimiento tanto empírico como analítico, extraído de las experiencias aplicadas y a partir del cual se generan reglas de uso y de elaboración ("Reglas del arte de construir"). Toda construcción lo es en tanto que está construida conforme a un sistema.

Directrices. Normas

Los fundamentos para una construcción sistematizada (que todavía no está definida como concepto) son variados. Sin embargo, va siempre acompañada del deseo de un desarrollo óptimo del trabajo; ya sea en el planeamiento, la producción o la puesta en obra. Como ejemplo de ello se alude a las medidas del ladrillo como módulo (véase también el texto "Acerca de la artesanía de la construcción con ladrillo"), que sirven al arquitecto de fundamento para dimensionar, permiten la producción en fábrica de grandes series y garantizan la elaboración de aparejos factibles a los operarios. La economía de la construcción se asienta hoy sobre el fundamento de un consenso mínimo, pero ampliamente consolidado, acerca de las dimensiones de los elementos constructivos. Por tanto, puede hablarse de una sistematización que, mediante normas técnicas (SIA, DIN, etc.), define la calidad y las dimensiones de elementos específicos (en su mayoría productos parcialmente prefabricados como, por ejemplo, paneles de madera, perfiles metálicos y similares).

Modos de prefabricación

La diferencia entre construir sistemáticamente y los sistemas constructivos tiene que ver en último término con el diferente grado de prefabricación. En esta matizada gradación se encuentran también los motivos para la elección del procedimiento constructivo correspondiente. Por lo general, la prefabricación se asocia a un ahorro de costes, a una mejor ejecución y a una ganancia de tiempo. Sin embargo, la producción de la aplicación proyectada del sistema óptimo sólo es posible gracias a la observación de criterios adicionales.

Los proyectos de construcción de tamaño pequeño y medio se rigen actualmente por dos principios básicos y muy distintos de prefabricación: a) sistemas con dimensiones fijas, basados en una organización modular semejante a la construcción con cajas, y b) sistemas individuales de prefabricación, basados en principios de ensamblaje determinados (como en la construcción de entramados de madera).

Un rasgo común a ambos es el elevado grado de madurez técnica (condicionado por la producción en serie). Por lo demás, son muy distintos. Los sistemas modulares semejantes a la construcción con cajas admiten la sustitución de elementos individuales (una sencilla adaptación

en lo que se cambia o a nuevas necesidades) y generar, por tanto, una expresión arquitectónica específica. El orden modular evita que los arquitectos adopten decisiones arbitrarias de índole estético sobre, por ejemplo, el tamaño y la posición de las ventanas, pero, en contrapartida, puede apreciarse como una limitación de la libertad creativa. En el mejor de los casos, permite elegir el carácter de las superficies de revestimiento de los elementos.

A continuación es necesario establecer una distinción entre sistemas autoportantes y los vinculados a un armazón estructural, e incluir dentro de esta diferenciación la forma de los elementos (bi/tridimensionales). Con pocas excepciones, aquí se trata sólo de observar aquellos sistemas que satisfacen todas las exigencias de índole térmica, acústica y climática, en aquellos elementos constructivos que son semejantes y están acabados para su uso; ya se trate de un sistema sándwich, con una construcción de varias capas, o monolítico (es decir, un sistema constructivo sintético).

Elementos no portantes. Fachadas

Normalmente, los sistemas que presuponen una estructura portante autónoma, comprenden elementos para la construcción de fachadas (bidimensionales). Suelen elegirse porque admiten espacios interiores y estructuras de lo más variado. Según el tamaño de los elementos y la posición de los pilares será necesaria una estructura secundaria para la fijación de aquéllos. El sistema Durisol que, con paneles idénticos, permitía la realización de dos sistemas constructivos distintos, fue ejemplar en muchos aspectos. Consistía en un sistema con elementos horizontales, y en el que los pilares se colocaban entre ellos

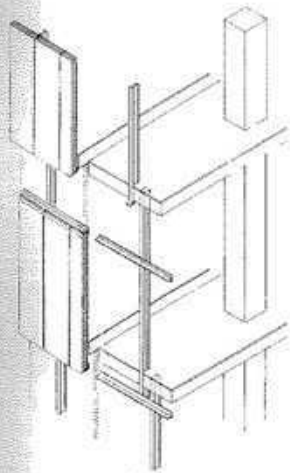


Fig. 138: Axonometría, almacén FCW
Paneles Durisol aplicados a una estructura secundaria

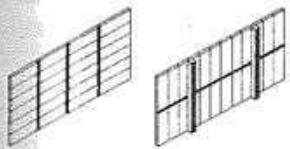


Fig. 139: Sistema constructivo Durisol
Paneles horizontales entre pilares portantes y paneles verticales como fachada cortina



Fig. 140: Fachada con paneles Durisol
Rudolf Kuhn y Heinz Ranner: almacén FCW, Zúrich, Suiza, 1954-1955

o antepuestos a los mismos, separados por una distancia de 1,5 m, y en otro con elementos verticales que, al igual que un muro cortina, se colgaban de una estructura secundaria. El éxito del sistema Durisol puede explicarse por su sencillez (el núcleo de un elemento Durisol consiste en paneles de fibra de madera impregnados y revestidos de cemento trabajado por sus dos caras, exteriormente revocado con un revoco estanco al agua e interiormente con un enlucido compacto). Debe aclararse que representa un

sistema rudimentario y fácilmente comprensible que no mostraba sobre los paneles ningún otro producto o exigencia constructiva. En este sentido, un elemento del sistema Durisol es perfectamente comparable a un ladrillo. A diferencia de los paneles de chapa, ampliamente difundidos en la construcción de naves y donde el carácter arquitectónico se debe principalmente al revestimiento exterior, las fachadas Durisol reflejan de modo inmediato su naturaleza tectónica. El potencial formal que proporciona el sistema Durisol (véanse los casos de Max Bill y Rudolf Kuhn con Heinz Ronner, entre otros), tiene que ver tanto con el hecho de tratarse de un "sistema blando" (de pocos parámetros) como, en relación directa, con el pequeño formato de unos paneles alineados regularmente. El procedimiento pone aquí de manifiesto la existencia de productos habituales aplicados inusualmente.

Elementos autoportantes. Células espaciales

El comportamiento de los sistemas tridimensionales es totalmente contrario. En ellos, células espaciales enteras se suspenden de un armazón estructural o se colocan sobre él. La adaptación a necesidades cambiantes o la renovación obligada por la edad de un edificio (a causa de su deterioro o por su obsolescencia, debido a nuevas modas), parte de la sustitución de toda la célula. En la década de 1960 fueron sobre todo utopías sociales las que se tradujeron en el intercambio de células (como en el caso de los metabolistas japoneses), que conducen hoy a reflexiones principalmente de índole técnica. Por lo general, la producción en serie se limita a repeticiones en el interior de la misma obra, sin que sean aplicables prácticamente nunca de manera universal. El comportamiento de las células espaciales que no forman parte de una estructura superpuesta, sino que funcionan de modo autónomo, es muy distinto. Los ejemplos más conocidos a este respecto son los garajes prefabricados y los contenedores (de obra).

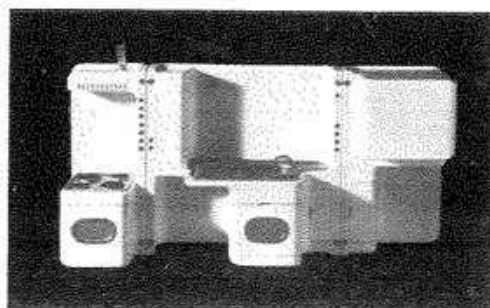
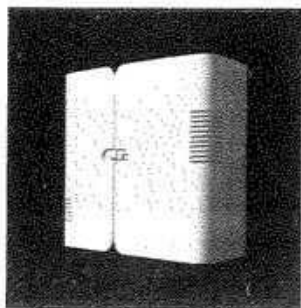


Fig. 141: Célula espacial de plástico entendida como una pieza de mobiliario; a la izquierda, cerrada
Massonari Umeda: cocina portátil, 1968

La célula espacial supone además la mayor parte de la prefabricación. Como sucede con las caravanas, la célula se construye por completo en fábrica y se lleva a la obra casi lista para su uso. Como la forma más comprimida de habitación mínima, en el siglo xx surgieron

caravanas, pero también vagones de tren, aviones y barcos, que han servido una y otra vez de referencia para los diferentes intentos de crear células compactas con distintas funciones. Motivado por una euforia hacia los materiales plásticos, a finales de la década de 1960 surgieron diversos modelos de baños y cocinas, que se insertaron como muebles en el interior de los edificios. El plástico hacía posible, por ejemplo, una instalación sin

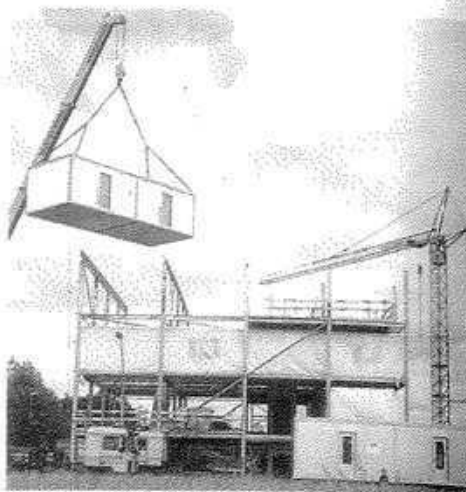


Fig. 142: Contenedor (por ejemplo, sala de reuniones) que puede montarse sobre un esqueleto de acero
Dollmann + Partner: edificio de oficinas, Fellbach, Alemania, 1999

juntas o uniones de platos de duchas en el hueco de una pared y suponia, además, una reducción de peso. El escaso radio de acción de células húmedas móviles (técnica doméstica!) y el hecho de que el plástico sólo pueda renovarse mediante su sustitución explica la escasa difusión de estas células. Desde hace ya tiempo se instalan células sanitarias que, acopladas al progreso de la construcción, se colocan perfectamente acabadas (por ejemplo, en la construcción de hoteles). Se basan en contenedores de hormigón revestidos convencionalmente con placas cerámicas según el deseo del cliente. Aquí se trata claramente de optimizar la relación entre la calidad de ejecución y los costes. Por tanto, en la prefabricación no se considera relevante la posibilidad de sustitución de determinados elementos ni su expresión estética.

Elementos portantes. Suelo, pared y techo

Si al hablar de prefabricación individual hacemos referencia a un modo de construcción en el que un edificio se divide en partes de una dimensión transportable, y a continuación éstas se ensamblan "sin dejar huella", pensamos enseguida en una construcción de entramado de madera. Sin embargo, en Alemania, encontramos también este procedimiento en construcciones macizas, donde los muros de ladrillo se colocan como elementos con la altura de una planta. Ya que aquí las condiciones constructivas no cambian esencialmente por la prefabricación, este procedimiento genera por sí mismo una arquitectura espe-

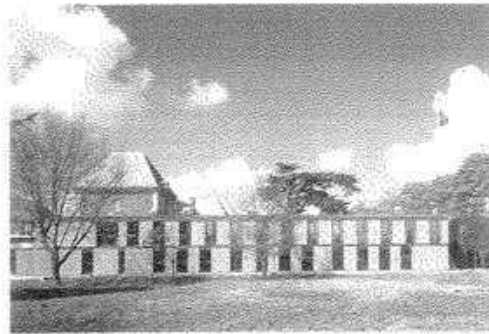


Fig. 143: Elementos de arcilla con la altura de una planta y función portante y aislante; a la izquierda, montaje de la estructura portante en planta baja; arriba, el edificio concluido
Tectône, escuela de hostelería, Nivilliers, Francia, 1959

cífica. Algo distinto sucede con la construcción pesada con placas, que encontró una gran difusión sobre todo en el Este de Europa con regímenes comunistas: los elementos se entregan y colocan con su superficie completamente acabada (pintura sin cubrir, revoco o azulejos). La estructura espacial interior se refleja en las juntas vistas (con elementos de planta a planta y de pared a pared), de modo que, desde el punto de vista constructivo, pueden presentar problemas de estanquidad. Los huecos se disponen como si fueran aberturas en el interior de las placas. La eliminación de una placa completa y su sustitución por el vidrio constituye una excepción; por ejemplo, para la entrada del edificio o en la caja de escaleras.

Encontramos estos espacios vacíos y la introducción de distancias entre las placas en la propia vivienda de Rudolf M. Schindler en Los Ángeles (1922). Unos acristalamientos en esquina de gran superficie se alternan con

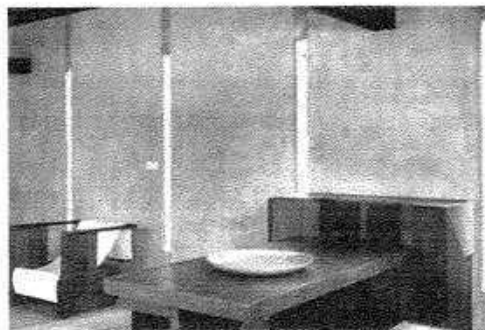


Fig. 144: Las placas de hormigón se ubicaron en su lugar sobre el suelo (arriba) y luego se enderezaron (abajo)
Rudolf M. Schindler: casa Schindler, Los Ángeles (California), Estados Unidos, 1921-1922

ventanas alargadas, colocadas entre los elementos de hormigón sin aislamiento. Elementos como el producto de arcilla proporcionado por los hermanos Guiraud (Frères Guiraud, Toulouse) son una respuesta a las actuales exigencias fisicoconstructivas. Los elementos, con una altura de suelo a techo y que se adaptan tanto a paredes como a techos, pueden llevar incorporado el aislamiento de su núcleo. Pueden colocarse sin revoco, como, por ejemplo, en la escuela de hostelería de Nivilliers, reflejando la naturaleza tectónica del material.

Elementos portantes. Segmentos espaciales

A medio camino entre los elementos constructivos bidimensionales y las células espaciales se encuentran elementos de tres dimensiones que sólo generan un espacio completo mediante la adición de dichos elementos. Se trata: a) de la repetición del mismo segmento espacial, o b) de una combinación de elementos tanto idénticos como

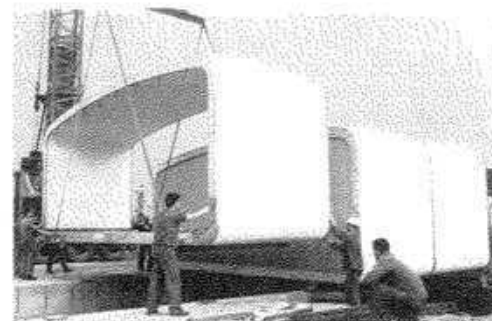


Fig. 145: Volúmenes de poliuretano con forma de cáscara
Adición de segmentos espaciales autoportantes

diferentes. Los elementos en esquina son una combinación en la que se funden montantes como la pared y el techo: en tanto que elementos individuales pertenecen a la categoría b), pero, combinados de dos en dos, generan secuencias espaciales análogas a las de la categoría a).

La ventaja de los mismos radica en un manejo más fácil, derivado de las menores dimensiones y —como consecuencia directa— de la disminución del peso. Los principios de configuración espacial varían desde los elementos específicos plegados y anclados al terreno (paradas de tranvía, por ejemplo) hasta los elementos de apoyo en un solo lado, que descansan, por ejemplo, sobre una estructura de pilares fabricada in situ (muro o vigas), pasando por aquellos que se apoyan entre sí mutuamente. Los elementos plegados son interesantes allí donde los montantes del techo se convierten en la cubierta, es decir, en edificios de una planta o en la última planta. En este caso las exigencias estructurales y de aislamiento térmico en los montantes son casi idénticas, por lo que las superficies también pueden ser idénticas. Incluso tiene sentido que sean iguales, porque entonces se da una continuidad de la transición entre la pared y la cubierta, lo que, en esencia, evita que surjan problemas constructivos (por un cambio de material).

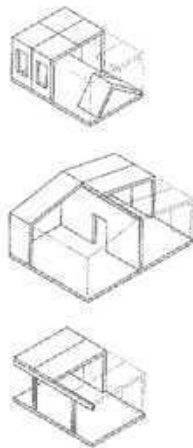


Fig. 146: Segmentos espaciales: elementos plegados.
Configuración espacial mediante la yuxtaposición de elementos o con una estructura de pilares

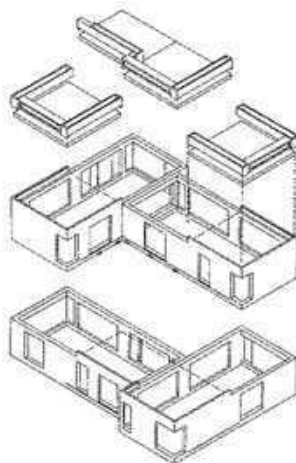


Fig. 148: Los techos se colocan sólo allí donde la célula que se apoya encima no cierra el espacio interior.
Moshe Safdie: Habitat'67, Montreal, Canadá, 1966-1967

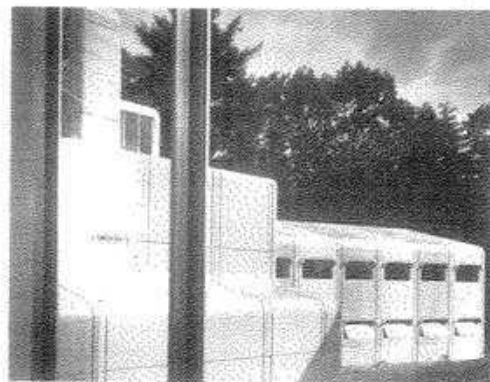


Fig. 147: Cubierta y paredes de plástico.
James Stirling: centro de formación Olivetti, Haslemere, Reino Unido, 1969

Elementos portantes. Células espaciales

En este caso es condición indispensable que cada célula espacial sea autoportante. Cuando hablamos ahora de células espaciales "portantes" nos referimos a la posibilidad de su apilamiento autónomo. La ausencia de una estructura portante autónoma secundaria hace imposible la sustitución de las células, pero, por el contrario, convierte su utilización temporal en tema el central: pueden ensamblarse, ser desmontadas "sin sufrir daños" y volver a montarse de nuevo como si fueran piezas de piedra. Son ejemplos de ello los contenedores de obra y los pabellones para escuelas provisionales.



Fig. 149: Apilamiento de células espaciales de hormigón ("prefabricación pesada").
Moshe Safdie: Habitat'67, Montreal, Canadá, 1966-1967

Por otro lado, la construcción con células espaciales también se adopta allí donde no es aplicable ni su sustitución ni un uso temporal limitado de las mismas. Los factores decisivos que determinan su empleo son entonces la reducción de costes y la elevada calidad de la ejecución. Más aún que en otros procedimientos, donde la combinación de paredes, techos y suelos individuales permite la creación casi a discreción de grandes espacios, las dimensiones de las células están vinculadas directamente a sus posibilidades de transporte. En Habitat'67, la totalidad de cada célula prefabricada ($19,75 \times 5,35 \times 3,65$ m; 85 t) se instaló directamente in situ. Apiladas con orientaciones distintas se pueden crear terrazas abiertas y espacios exteriores cubiertos. La colocación de células

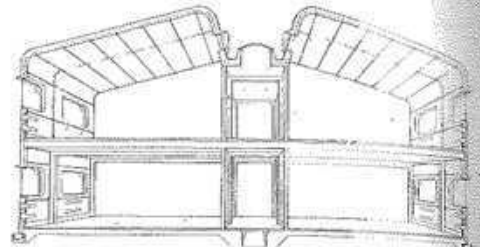


Fig. 150: Techo intermedio con barras delgadas como estructura portante; elementos de pared y cubierta portantes.
James Stirling: centro de formación Olivetti, Haslemere, Reino Unido, 1969

apiladas unas sobre otras no se reduce a la apariencia exterior, sino que se retoma también en la mayoría de las viviendas de dos plantas.

Expectativas en un futuro próximo

Por lo que respecta a su organización constructiva, dentro de la prefabricación pueden establecerse dos categorías: sistemas complementarios y sistemas sintéticos. Con ello se hace referencia, por un lado, a los compuestos por un gran número de capas en parte autónomas, que se complementan mutuamente, o bien a aquellos cuyas componentes están unidas inseparablemente y llegan a constituir



Fig. 151: Las células se colocan como elementos de obra en bruto, desprovistas de techo.
Moshe Safdie: Habitat'67, Montreal, Canadá, 1966-1967

incluso un material que permite satisfacer a la vez las exigencias de soportar, aislar y proteger. Si bien los sistemas complementarios pueden entenderse como una construcción mecánica, los sintéticos pueden considerarse algo así como un "agregado contaminado", lo que suscita inmediatamente la cuestión acerca su posibilidad de reciclaje. La mayoría de las veces se trata de desechos especiales.

Por ello, las investigaciones actuales sobre tecnología de los materiales persiguen asegurar su "reutilización" o su reciclaje. Los primeros pasos van dirigidos a sustituir los plásticos por "materiales biológicos" análogos refinados. En este sentido, la prefabricación aspira a resolver un problema ecológico: una tendencia que cada vez cobrará un mayor significado en la construcción de sistemas.

Perdurabilidad Principios básicos de la arquitectura

Andrea Delizias



Fig. 1: Hans Kollhoff: rascacielos en Potsdamer Platz, Berlín, Alemania, 1999



Fig. 2: Jean Nouvel: palacio de congresos, Lucerna, Suiza, 1999



Fig. 3: Construcción maciza, estereotomía



Fig. 4: Construcción ligera, tectónica

Con ocasión del III Simposio Internacional de Arquitectura celebrado en Pontresina (Suiza), se confrontaron, aunque no en un debate directo, dos posturas arquitectónicas de alto nivel pero, sin embargo, situadas en las antipodas. Las posiciones de ambas ante el tema "Perdurabilidad y autoconciencia de la arquitectura" no pudieron ser más dispares: Hans Kollhoff, de Berlín, que ya había suscitado una gran atención con su torre de oficinas con piezas de clinker en Potsdamer Platz, y Jean Nouvel, de París, que, junto a otros proyectos, expuso el sistema concebido para el palacio de congresos de Lucerna, con imágenes y prolijidad de detalles. Ambos antagonistas responden a creídos muy diferenciados tanto por lo que se refiere a la relevancia de la arquitectura como a su consistencia actual y de futuro. Hans Kollhoff no se cansa de remitirse a los fundamentos de la arquitectura, a la construcción maciza (estereotomía) y a la ligera (tectónica), de recordar el sentido de una buena artesanía, así como de exigir una arquitectura perdurable, afirmando que: "La cuestión es saber qué edificios se mantendrán en pie pasados setenta y cinco años. Observen los de Jean Nouvel, que tras cinco años ya están listos para ser convertidos en chatarra". Según Jean Nouvel, tales criterios forman parte de un pensamiento decimonónico y argumenta en contra, sosteniendo que el proceso constructivo ha cambiado esencialmente y que las modernas tecnologías de la arquitectura exigen una concepción y un pensamiento totalmente nuevos (por ejemplo, en la producción industrial y en el montaje): "Quien construye con ladrillo y emplea ventanas pequeñas, debe ser también muy limitado de mente". Hasta aquí, pues los planteamientos de partida.

Sabemos que Hans Kollhoff se inclina hacia una arquitectura maciza y ve con malos ojos la construcción ligera de Jean Nouvel. Los conceptos de construcción maciza y construcción ligera (o sus equivalentes tectónicos, estereotomía y tectónica) designan dos categorías de la arquitectura, que fenomenológica y morfológicamente, constituyen su fundamento. Si en lugar de establecer una comparación crítica entre la arquitectura contemporánea e histórica, o entre la de diferentes estilos, observamos, por ejemplo, las características estructurales de diferentes culturas, enseguida descubrimos que se establecen coincidencias sorprendentes.

El sistema de construcción con barro apisonado en China y el moderno sistema de construcción con hormigón armado en Europa son idénticos por lo que respecta al proceso de producción (encofrado y vertido) y a la expresión formal del volumen del muro (figura de encofrado). Se diferencian solamente por el material y la tecnología del encofrado. Dentro de este planteamiento, el hormigón no es más que una pasta más desarrollada, más refinada y, por tanto, más duradera que el barro. Ambas construcciones contienen materiales sólidos como grava o arena de diferente tamaño y una porción de polvo conglomerante, sílice o cemento que, al añadir agua, forma un "limo" mineral. La diferencia entre traba-

jar con sencillas tablas de madera o con modernos encofrados de acero de gran tamaño tan sólo se pone de manifiesto en la superficie de revestimiento del muro.

Del mismo modo, podemos establecer una comparación entre el armazón de una yurta caucásica, una construcción tradicional de madera de Suiza o la retícula espacial de un rascacielos americano compuesto de perfiles industriales de acero. Descubrimos que los principios tectónicos para ensamblar partes constructivas en un sistema de entramado de dos o tres dimensiones son casi idénticos. Las diferencias residen sólo en el ancho de la luz y en la estabilidad de las barras o elementos, en la configuración constructiva de las uniones entre ellos, que son axiales o excéntricas, que resisten a tracción o a compresión, o a ambos esfuerzos a la vez, y en los procedimientos de los ensamblajes necesarios para ello, porque comparamos barras de madera en bruto, maderos aserrados o perfiles de acero laminado. Habría que aportar más ejemplos y debería profundizarse y completarse esta diferenciación, pero ello constituiría argumento para otra ocasión.

De lo expuesto hasta ahora pueden extraerse dos conclusiones: ambas categorías, estereotomía y tectónica, son aptas para comprender esencialmente las características estructurales y los que atañen a los procedimientos constructivos de la arquitectura y, dependiendo del lugar, la época y la cultura, para mostrar los fundamentos generadores y evolutivos de la forma arquitectónica. No se trata pues, como cree abiertamente Jean Nouvel, de dogmas históricos obsoletos de la historia de la arquitectura. Además, estas comparaciones muestran que las diversas culturas, con mayor o menor independencia unas de otras, han desarrollado sorprendentemente sistemas constructivos similares bajo la condición de la existencia de recursos de materiales utilizables para la construcción y su máximo aprovechamiento.

Por supuesto, el desarrollo de la técnica de la construcción y el nexo existente entre ciencia e investigación tecnológica ejercen una gran influencia en el proceso constructivo y, con ello, también en el resultado arquitectónico visible. Este hecho afecta fundamentalmente a la optimización y sofisticación de la producción y a su elaboración, es decir, al trabajo artesanal o al proceso de producción industrial y, con ello, naturalmente, al producto, es decir, al material. Los materiales han experimentado continuas mejoras para aumentar su durabilidad y resistencia, lo que no necesariamente conduce a los mismos resultados. Si se trataba de mejorar la resistencia a los factores ambientales y climáticos, se cambiaba la madera por la piedra, el material orgánico por el mineral, lo que se resuelve con un proceso constructivo totalmente distinto (compárese la denominada "teoría del cambio de material" de Gottfried Semper, que se ocupa menos de la técnica constructiva misma que de sus consecuencias sobre la expresión de las formas arquitectónicas, en el



Fig. 5: Proceso industrial de retorno de la construcción maciza a la ligera, aproximadamente a partir de 1800



Fig. 6: Chicago
Retícula de acero de un rascacielos de construcción maciza

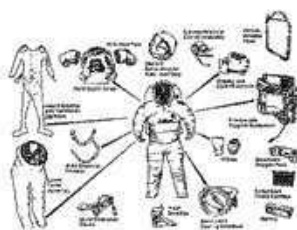


Fig. 7: Traje lunar
Construcción y elementos que lo componen

momento del cambio de la tectónica a la estereotomía; una especie de transferencia de la construcción con madera a la construcción masiva. Denomino a este conflicto inmanencia tecnológica versus permanencia cultural).

Como tendencia, la construcción maciza siempre fue generalmente valorada, lo que revirtió en un aumento del valor de la arquitectura pública (en la construcción monumental), pero también, en el sentido de constituir un procedimiento pragmático, la construcción tradicional con madera, donde los espacios entre los diversos elementos estructurales se rellenaban con obra de fábrica y se revestían parcialmente, como si se tratase de una piel, con un revoco de cal mineral. Con ello, el material ganó en resistencia y mejoró la relación entre la capacidad portante y la cantidad de material empleado. En consecuencia, los elementos constructivos se hicieron cada vez más sofisticados y esbeltos, como sucedió con la introducción por vez primera de los perfiles de acero en la arquitectura hacia 1800. No resulta difícil imaginar la conmoción que causó en los fundamentos mismos de la arquitectura, la sustitución repentina de los edificios macizos, puros (!), realizados con muros de piedra y de ladrillo, por los ligeros entramados espaciales de perfiles de acero, entre los que se insertaban paños más o menos duraderos de obra de fábrica, como sucedió en Chicago con la ideación y construcción de los primeros rascacielos. Ello supuso que el proceso industrial de construcción maciza se volviera hacia la construcción ligera.

Además, los técnicos e ingenieros de la construcción con acero tenían que luchar con un nuevo problema que hasta entonces no se había resuelto: la corrosión. Las aplicaciones para la protección de perfiles y paneles ante esta lesión son inmensas y revierten en los costes de mantenimiento de un edificio de acero. Tampoco el edificio KKL de Jean Nouvel se ve libre de este inconveniente: sólo la renovación y un mantenimiento continuo consiguen evitar la corrosión.

De ello surge un dilema, pues si bien la tecnología de materiales procura desarrollar materiales constructivos duraderos y resistentes, aún no se ha descubierto el material sintético universal. Problemas parecidos de corrosión pueden observarse en la armadura del hormigón armado. También la indestructible piedra, incunable de la estereotomía y de la perdurabilidad de los edificios históricos, muestra las huellas de la erosión sufrida por la lluvia ácida y la contaminación urbana, en especial si es blanda, como en el caso de las areniscas o de las piedras calizas. Aunque más duradera que el acero, la piedra tampoco es un material que dure para siempre.

Por ello, la afirmación de Jean Nouvel, de considerar la tecnología moderna generadora de la arquitectura contemporánea y una respuesta a las acuciantes exigencias de durabilidad (naturalmente, no como criterio exclusivo) resulta de corto alcance, pues no se trata de una tercera categoría, sino de un ingrediente que tanto la estereotomía como la tectónica contienen en común.

Si, en todo caso, observamos la pretensión de Jean Nouvel situados ante el trasfondo de que la tecnología siempre ha tendido a desarrollar elementos constructivos cada vez más resistentes y sutiles, lo que conduce consecuentemente en etapas a la construcción ligera con vidrio (del muro macizo a las ligeras estructuras laminadas de ladrillo u hormigón, de las ventanas de varias capas a la delgada membrana de vidrio aislante), podríamos atrevernos a formular una aventurada hipótesis:

En el caso de que la tecnología actual del vidrio y de los sistemas de muro cortina sigan evolucionando al ritmo que lo han hecho en la última década, en los próximos diez años deberíamos llegar a un punto donde no podríamos sublimar ya más la sustancia. Esto significaría que tendríamos láminas de fachada nanomoleculares —por ejemplo, dos hojas delgadísimas soldadas con aerogel— que se extenderían de modo ultraligero sobre estructuras de fibra de carbono.

Quien no lo crea puede comprobarlo rápidamente en la tecnología aplicada a los viajes espaciales, desencadenante del citado desarrollo de la del vidrio: los trajes de los astronautas que viajaron a la Luna eran de varias capas. Cada una de ellas tenía que asegurar una función de protección diferenciada. El traje lunar era, por tanto, un sistema complementario formado por componentes de una sola función, con el efecto no deseado de que era pesado y limitaba enormemente la libertad de movimiento de los astronautas. El traje de Marte, por el contrario, será un sistema sintético compuesto de pocas capas de tejido *high tech* (quizás por una sola y compleja) que desempeñarán múltiples funciones. ¿Cómo no habrá de tener esto repercusiones sobre el revestimiento de las fachadas?

¿Pero cómo afecta esto a la arquitectura?

De algún modo, durante la conferencia de Jean Nouvel en Pontresina me sentí como ante un filme *déjà vu*: se mostraron torres de vidrio luminosas, acompañadas una tras otra de textos escritos e imágenes, el juego de las múltiples transparencias y de los cambios de eje resplandecientes, celebrándose en la aurora de luz artificial de la gran ciudad iluminada. Nota: ¡Todos ellos eran proyectos brillantes, presentados con virtuosismo!

Y entonces: ¿qué es lo que queda fuera de la imagen plana de la arquitectura? ¿De qué forma, si no como epigono, nos vuelve a estimular esta extremada reducción a la proyección? ¿Qué se inventará aún, que todavía no se haya ensayado?, ¿resta realmente sólo el salto al mundo virtual de las ilusiones animadas por la fantasía? (Esta tendencia de las sublimaciones tecnológicas y arquitectónicas dejará en todo caso únicamente espacio para variaciones recurrentes! ¡Una idea terrorífica para los arquitectos actuales, situados ante la cuestión de lo que será relevante para nuestra disciplina en los próximos tres o cinco años!

Si la construcción ligera parece abocada a un callejón sin salida, en correspondencia con un cierto programa ge-

nético de compensación, la construcción maciza debería entonces llegar a alcanzar una estima nueva e insospechada, sencillamente porque promete tener dispuesto un amplio terreno baldío para la exploración arquitectónica.

Admitamos como ejemplo el hecho de que hoy hayamos superado ya los estándares físicoconstructivos de la década de 1970: de las construcciones de fachada de varias capas a las monolíticas y sintéticas. No porque yo quiera alabar la tecnología (aunque sea propio de los arquitectos un mínimo y adecuado conocimiento de la misma), sino porque están listas posibilidades insospechadas de modulación plástica de la masa constructiva y de las esclusas espaciales, del carácter macizo y volumen del muro, de los sistemas constructivos de elementos superpuestos y del hueco; todos ellos temas arquitectónicos extraordinariamente ricos y elementales.

Me asombra una y otra vez de la clara concepción espacial de los castillos escoceses, los llamados *donjons*, o torres de homenaje, con esclusas espaciales alojadas en gruesos muros de tres metros de grosor: una máxima expresión de su carácter defensivo con un mínimo empleo de material: cámaras espaciales auténticas. Como se ve, no me refiero principalmente al carácter macizo y monumental en el sentido histórico, o de estilo, sino más bien de una fuente de estrategias arquitectónicas de cara al proyecto, que valdría la pena sondear bajo las condiciones y síntomas actuales. En este sentido, la antorcha que esgrimió Le Corbusier sobre la superación de los pequeños espacios burgueses compartimentados por medio de losas y pilares de hormigón armado, sus famosos croquis de los cinco puntos de una arquitectura moderna, me parece más bien raquítica. Si bien debo añadir que, tanto la fascinación de Le Corbusier como la de Mies van der Rohe por los espacios abiertos y fluidos y las membranas acristaladas (el concepto de fachada resulta en este caso cuestionable), era sobre todo nuevo y justificado. Pero ya han pasado setenta años desde entonces, por lo que la posición de Jean Nouvel ha de resultar por fuerza anacrónica.

¿Por qué debe ser anticuada la construcción maciza de Hans Kollhoff, y por qué acorde con nuestra época la construcción ligera de Jean Nouvel?

¡Planteemos cuáles son las características esenciales de ambas categorías y en qué medida se diferencian estructuralmente, para poder debatir de este modo su idoneidad y su relación con la cuestión de la perdurabilidad arquitectónica! El concepto de estructura en arquitectura tiene claramente que ver con la idea de durabilidad, inercia, rigidez, inconsistencia y variabilidad.

En la construcción maciza, como su nombre ya indica, se levantan en primer lugar muros macizos y homogéneos que, justo a continuación (o al menos durante el proceso constructivo), se perforan con huecos. Surge así inmediatamente un espacio interior, con la distribución en planta y sección fijas, como también la delimitación del espacio exterior. La construcción maciza da la impresión de ser

errática y sólida o, dicho de otra manera, inamovible y rígida. Esta idea se transmite también abiertamente al uso de una obra de carácter macizo y, en última instancia, incluso a la valoración de su permanente utilidad.

En la construcción ligera se levanta primeramente una estructura espacial de barras delgadas. Ésta se alza como un armazón en el espacio natural circundante, sin que exista una diferenciación entre interior y exterior. Apenas construido, y con el fin de cerrarlo superficialmente, los espacios existentes entre los elementos de esa retícula se rellenan o tienden con un revestimiento. Sólo así puede distinguirse el interior del exterior, la parte superior del edificio de la inferior. Una estructura de entramado o esqueleto no prejuzga qué espacios deben permanecer abiertos o cerrados entre sus elementos, por lo que proporciona la impresión de una elevada flexibilidad de uso.

Y, sin embargo, sabemos que cada generación se acompaña de un cambio de valores que la caracteriza y distingue de las demás. No hablo aquí de modas, que son extraordinariamente fugaces. Dentro de la inabarcable cantidad de ideas valiosas que distingue al pluralismo actual, parece que el problema consiste en poder desarrollar un concepto lo suficientemente flexible como para diferenciar y valorar criterios relevantes para la vida. Así pues, existen también cambios biológicos y transformaciones por los que, por ejemplo, una pareja se traslada a una vivienda, donde más tarde crecerán los hijos desde su infancia hasta la edad adulta. Y no debe seguir sorprendiéndonos que estos cambios ejerzan una influencia muy directa sobre una arquitectura adecuada, capaz de adaptarse a situaciones vitales de esa índole.

En la construcción maciza esto significa que, a pesar de contar con una estructura espacial rígida, debe prevalecer una "flexibilidad de usos" suficiente. Lo que quiere decir que deben proyectarse espacios para una única función específica, y que han de permanecer indiferentes y "abiertos" para diferentes posibilidades de uso. Así, cada modificación funcional no conduce a una reestructuración, que implique un consumo energético y problemas de residuos. Por otra parte, esta categoría constructiva conlleva el peligro de caer en una arquitectura monótona, estereotipada y aburrida, tal como se muestra, en cuanto problema persistente, en barrios y agregados urbanos (sorprendentemente, el neoclasicismo decimonónico resolvió este dilema de manera convincente).

Muy distinto es el caso de la construcción ligera, donde la "flexibilidad espacial" parece constituir, por así decir, un rasgo inherente al sistema. Aquí no se plantea el problema del uso "abierto", que puede responder espacialmente, de modo discrecional, a una necesidad individual, sino la cuestión de los elementos constructivos fijos y flexibles en la configuración del espacio y su reutilización y/o evacuación sin que se dañe el medio ambiente. En este punto debemos introducir claramente una nueva escala de valores: la subdivisión entre materiales de corta, media y larga duración, que no depende sólo de factores climáticos o de

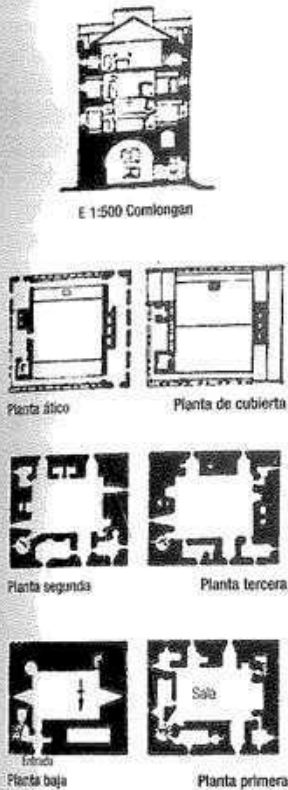


Fig. 8: Castillo Comlongan, Dumfries (Escocia), Reino Unido, siglo XV

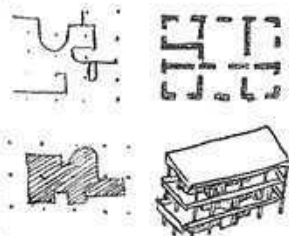


Fig. 9: Le Corbusier, croquis para los cinco puntos de una nueva arquitectura

la capacidad portante y la estabilidad sino, en mayor medida, de las "exigencias de uso". Ésta es, también, una ocasión oportuna para renunciar por fin a la diferenciación didáctica entre construcción maciza y ligera, o al menos para que desaparezca hasta un grado tal que puedan introducirse nuevos criterios que pongan en relación ambas categorías (naturalmente, en la historia de la arquitectura se buscaron soluciones que oscilaban entre ambos polos, ¿Qué es la catedral gótica sino una construcción maciza de sublime ligereza? ¿Qué es un templo antiguo sino una extrema construcción tectónica? Pero no quiero tratar ahora del concepto teórico y esencial de tectónica, un concepto de la teoría de la arquitectura).

Se trata pues de la "vida media de los edificios" y de la constatación de que la estructura básica de un edificio ejerce una influencia decisiva en la escala de su construcción. En los sistemas macizos, la parte correspondiente a la denominada obra en bruto se corresponde en gran medida con la misma construcción acabada (en esencia, en ella sólo faltarían instalaciones, remates de huecos y obra de revestimiento superficial). En los sistemas ligeros, la parte estructural fija del edificio es, por el contrario, tan mínima que deben aplicarse esfuerzos considerables para la división del espacio y para su acabado. Desde este punto de vista, merece la pena llevar a cabo una diferenciación de los elementos constructivos según tres categorías. La primera de ellas es la estructura básica de un edificio, su construcción en bruto, que comprende la estructura portante y, a veces, su capa de revestimiento exterior. Tiene una larga durabilidad (un valor alcanzable de cien años) y, por tanto, no es modificable, sino fija. Se llama "estructura primaria". El concepto de "estructura secundaria" comprende tanto las divisiones interiores como el acabado interior y las instalaciones técnicas de la vivienda. Muestran una vida media de cerca de veinte años, por lo que deben proyectarse de modo que puedan ser adaptables y sustituibles. La "estructura terciaria", de vida corta, incluye dotaciones, aparatos técnicos y mobiliario (con una durabilidad media de entre cinco y diez años). Es flexible y fácilmente modificable. Estos tres niveles conceptuales, que tienen relación con su durabilidad, están caracterizados por una clara separación entre las diferentes estructuras y los elementos constructivos. Los sistemas secundario y terciario deben instalarse posteriormente, ser posible desmontarlos o montarlos de nuevo sin que se dañe la estructura primaria. Los nítidos lugares de sutura garantizan también un reciclaje diferenciado de los distintos materiales. Con ello no estoy haciendo apología de los sistemas constructivos cerrados, pues no pretendo repetir la historia de la prefabricación industrial normalizada, sino mostrar estrategias de más amplio alcance para el proyecto arquitectónico, un concepto duradero para el desarrollo de criterios figurativos y formales abiertos.

El interés hacia los edificios con sistemas de construcción macizos decayó claramente en la década de

1970, motivado por la exigencia de aislamiento de los edificios. Hoy se sabe que se debe dedicar la mayor atención a la absorción de calor por los elementos de construcción macizos, justamente si los edificios están bien aislados y provistos de grandes ventanas, con lo que se evita el sobrecalentamiento en verano. Los sistemas constructivos de bajo consumo energético pueden presentar dos procedimientos: el "concepto de aislamiento" y el "concepto de acumulación". Ambos procedimientos aprovechan las propiedades inherentes a los sistemas de construcción macizos y ligeros. El concepto de acumulación trabaja de acuerdo con las características propias de los elementos macizos que deben construirse invariablemente: suelos, muros y techos. Estos constituyen acumuladores de calor en los que, por ejemplo, se almacena la energía solar pasiva, que puede penetrar y depositarse por medio de amplias ventanas orientadas al sur (un ejemplo: la escuela de Vella, en Suiza).

Por el contrario, en las construcciones ligeras (por ejemplo, en sistemas constructivos actuales de entramado o paneles de madera, como en la casa Bearth-Candinas, en Sumvitg, Suiza), falta la masa acumuladora de calor que conlleva una fenestration orientada al sur. En estos casos resulta de gran utilidad rellenar el entramado con una gruesa capa de material aislante y distribuir las ventanas según todas las orientaciones para lograr un equilibrio ventajoso entre la pérdida y la acumulación de calor.

Extraigo un par de conclusiones, con el objetivo de que sirvan para el debate:

La perdurabilidad es una cualidad básica de la arquitectura. En el caso ideal, está presente en diferentes planos de la cultura humana, en la sociedad, en el urbanismo, en los intereses económicos y ecológicos, en la creación del espacio habitable (algo tan intrínseco a la condición humana como su concha al caracol), en aspectos de importancia que afectan al consumo energético y material, etc. (así pues, en una considerable cantidad de cuestiones). A este respecto, el grado más alto de desarrollo tecnológico no es un índice para el éxito o el fracaso: ni el aislamiento térmico transparente, ni los colectores solares o los sistemas complementarios de ventilación garantizan automáticamente, por así decir, el comportamiento energético pretendido y adecuado. Precisamente porque se sabe que en la fase de puesta en servicio de un edificio actualizado, en la fase de producción energética intensiva, el consumo de la preciada energía eléctrica tiene mucho más peso en la balanza ecológica que la pérdida de calor. Estos adelantos técnicos se encuentran, al igual que sucede con los sutiles pero usuales conceptos de separación de residuos para el reciclaje, al final de una cadena de decisiones y procesos cuyo éxito depende esencialmente de si se ha contado "desde el principio con un claro concepto arquitectónico". A partir de ello, la cuestión de la durabilidad debe utilizarse como posibilidad



Fig. 10: Concepto de acumulación
Bearth & Deplazes: escuela, Vella, Suiza, 1997



Fig. 11: Concepto de aislamiento
Bearth & Deplazes: casa Bearth-Candinas, Sumvitg, Suiza, 1998

para desarrollar nuevas estrategias de proyecto dentro de la propia disciplina de la "arquitectura". Con ello, el debate se alejaría de la importancia arquitectónica de aspectos puramente formales, tal y como se produce a menudo en las escuelas de arquitectura y en la práctica profesional. Los argumentos para la discusión serían entonces:

"¿Qué principios arquitectónicos conocidos y eficaces pueden renovarse para adaptarse a la tecnología actual?"

¿Qué nuevo potencial creativo surge entonces en los temas propios de la arquitectura? ¿Cuáles de ellos se convertirán realmente en decisivos para nosotros, arquitectos de hoy?"

Conferencia con ocasión del foro Novantatis, de la 2000-Watt-Gesellschaft, ETH, Zurich, noviembre de 2000.

Sobre el problema de la transmisión del calor y la difusión del vapor

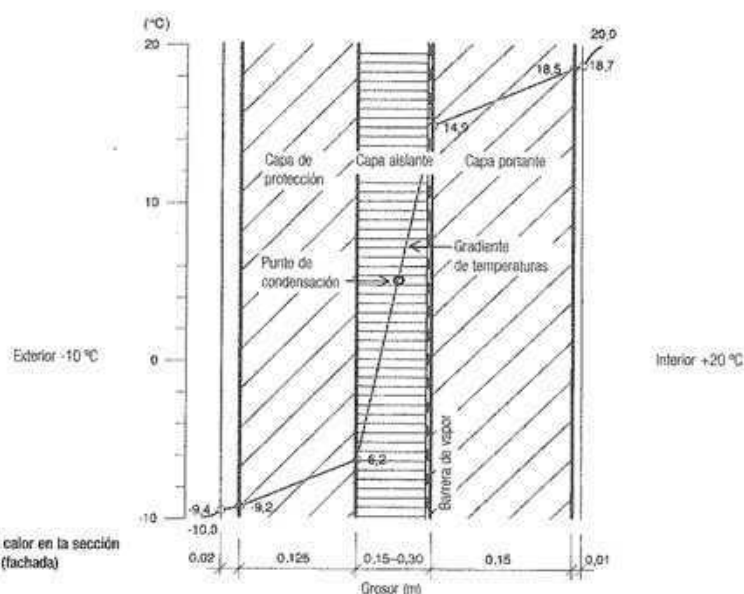


Fig. 12: Transmisión del calor en la sección transversal de un muro (fachada)

Cuando el aire caliente entra en contacto con el frío, o cuando el primero se enfría con rapidez, se produce una condensación de la humedad ambiental (punto de condensación). Esto puede suceder en el interior de la construcción a causa de la caída de la temperatura en la capa aislante ($\Delta t = 21,1 \text{ }^{\circ}\text{C}$).

La humedad en la construcción produce lesiones en la construcción:

- Pudrición (en la madera).
- Formación de hongos.
- Destrucción de la microestructura (en el material).
- Destrucción de la estructura portante.
- Pérdida de su eficacia en los aislantes térmicos.

Por tanto, es preciso evitar la condensación en el interior de la construcción, o poner los medios que eliminen la humedad.

Fundamentos constructivos

Para evitar la condensación se debe colocar una "barrera del vapor/freno del vapor". Hay que observar dos reglas:

- La barrera de vapor debe instalarse en el lado interior de mayor temperatura de la capa aislante.
- La estanquidad al vapor de los materiales debe disminuir desde el interior hacia el exterior. "Capa portante interior estanca, capa de protección exterior permeable al vapor".

Como representación de la barrera de vapor en los planos, se utiliza una línea gruesa discontinua.



Medidas

Las medidas técnicas concretas para evitar la condensación en la construcción y, en especial, en el aislante térmico son:

Medida 1

Capa portante interior de un material estanco al vapor, por ejemplo hormigón vertido in situ, paneles encolados (sándwich, en la construcción con madera), aplacado interior con chapa de acero;

o bien

Medida 2

como barrera de vapor de una lámina finísima de metal (hoja) colocada directamente en el lado interior de mayor temperatura del aislamiento térmico;

o bien

Medida 3

Aislamiento térmico de un material estanco al vapor de agua, por ejemplo vidrio celular;

o bien

Medida 4

Cámara de aire entre la capa aislante y la de protección. Como condición indispensable se debe procurar una buena circulación del aire en la cámara de aire, por lo que el grosor de la misma debe ser de 3 a 4 centímetros;

Conceptos de aislamiento
Esquema de capas

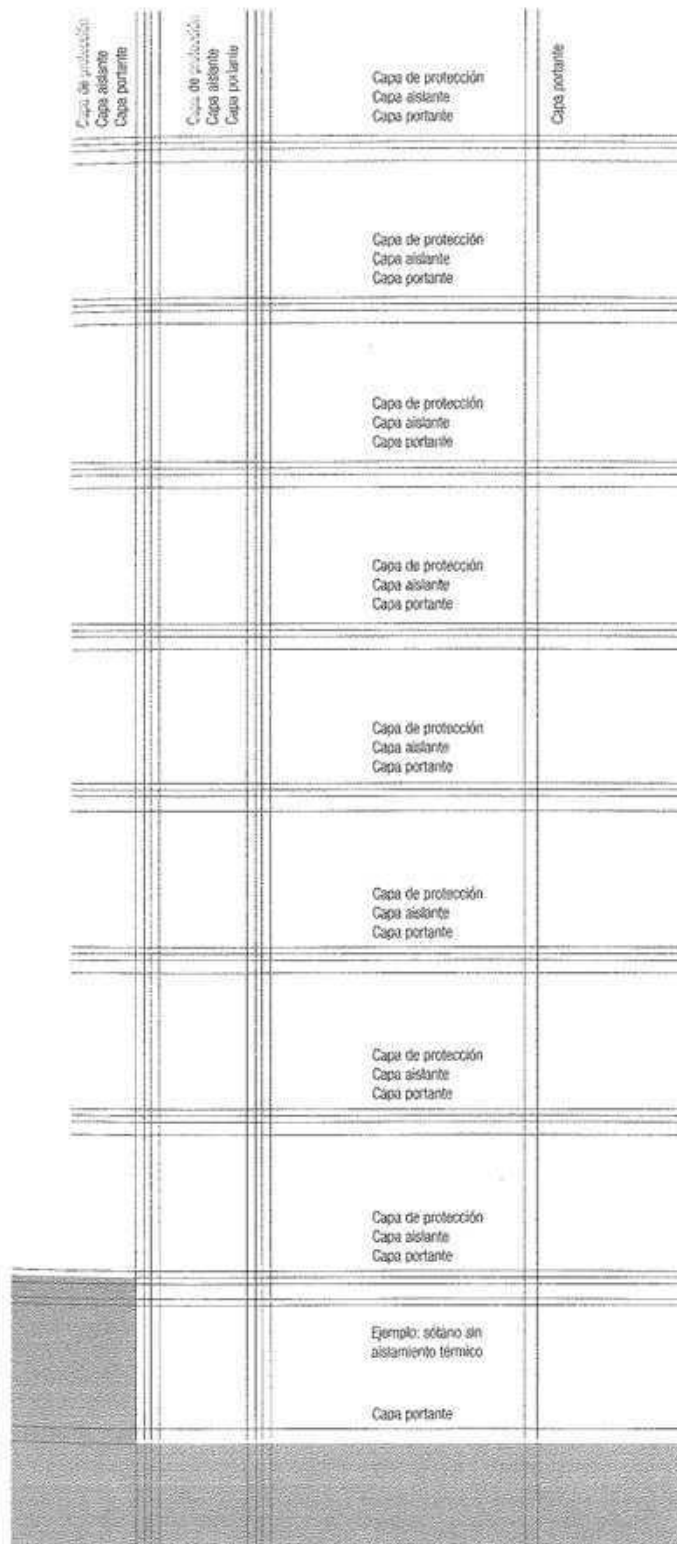


Fig. 13. Esquema de capas: propuesta
Muros, estoriones, forjados y cubiertas están representados en tres capas esquemáticas. Las dimensiones de las mismas no son definitivas.
Se determinan en función de las exigencias formales, estéticas y físicas.

A medida que un proyecto se concreta, se plantea también la cuestión de un concepto de aislamiento que resulte adecuado a la expresión arquitectónica que se ha pensado para el edificio. Ello no significa que sólo se refiera al aislamiento térmico, sino también, por ejemplo, al acústico. El aislamiento térmico entre el clima interior y el exterior se focaliza fundamentalmente en las fachadas, la cubierta y la cimentación, o en el forjado del sótano. El aislamiento acústico suele emplearse en los forjados entre las plantas o en las plantas de edificios de viviendas u oficinas, en este caso en los elementos de separación de sus diferentes espacios habitables. En los sistemas sintéticos o compactos, desde un principio debe elegirse un sistema de aislamiento térmico con un único elemento que cumpla varias funciones, como la estática y la aislante. Tal es el caso de los muros de fábrica o el de los contruidos con tableros de madera. Por el contrario, los así denominados sistemas complementarios se articulan según un principio jerárquico de capas diferentes que satisfacen funciones portantes, aislantes y de protección. Dependiendo de la posición del elemento estático en relación con el aislamiento, en los sistemas complementarios se hace necesario pues una mayor precisión del concepto de aislamiento según se trate de "una capa portante interior o exterior".

En la elección del sistema complementario, el esquema de capas sirve como modelo conceptual para el análisis constructivo de un edificio. Resulta apropiado para comprobar la continuidad y coherencia de un concepto de aislamiento, así como para localizar los puntos problemáticos. Capa portante, capa aislante (térmica y acústica) y capa de protección se representan de forma esquemática en planta y en sección para que, cuando se ejecute el edificio, rija la regla de no interrumpir las capas. Debe ponerse especial cuidado en los huecos (puertas y ventanas), los cambios de nivel (voladizos, áticos, etc.) y los nudos (encuentros); al detallar dichos puntos, se precisa finalmente el concepto de aislamiento o bien se desestima (en el caso particular de que existan inconvenientes muy serios).

Conceptos de aislamiento

Sistemas complementarios. Capa portante interior

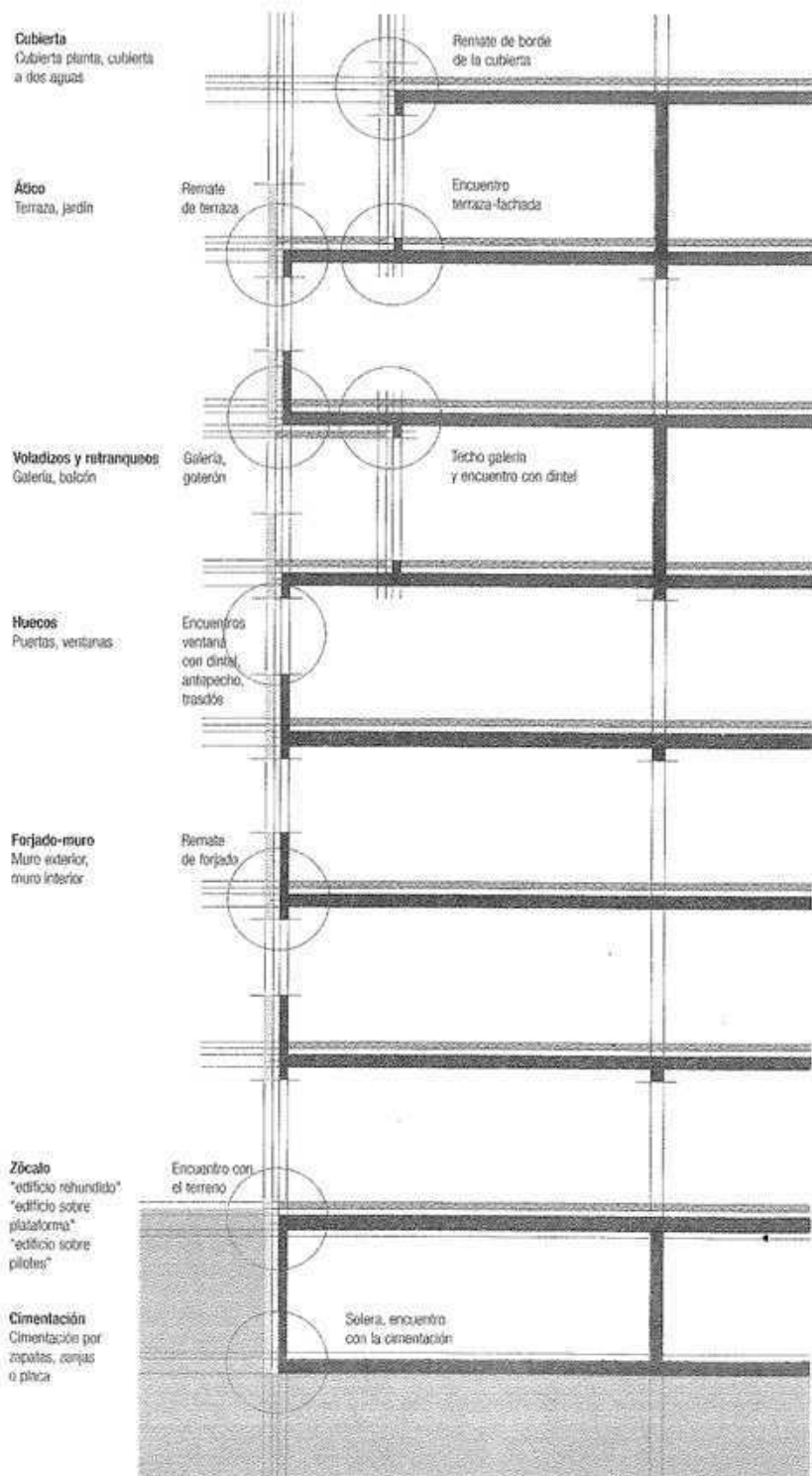


Fig. 14: Esquema de capas: capa portante interior

La capa aislante se extiende como una "segunda piel" que se ejecuta de forma continua. Los círculos señalan los encuentros donde se juntan las distintas capas, que deben rematarse detalladamente.

En este concepto, la capa portante se encuentra totalmente en el lado más caliente del muro; es decir, rodeada por completo de la capa aislante. La capa más exterior sirve en primera línea a la protección del aislante frente a influencias mecánicas y climáticas, y carece de función portante. Puede realizarse con materiales de revestimiento muy distintos, desde enfoscados finos hasta ladrillo u hormigón visto, pasando por aplacados de piedra natural. Dependiendo del material, el grosor de la capa de protección puede ser muy variable. Las perforaciones de la capa aislante se limitan a las necesarias para la fijación de las placas aislantes y del revestimiento exterior, o el anclaje de una piel exterior autoportante en la capa estructural. Los puentes térmicos que se originan son mínimos.

El concepto de capa interior portante no es problemático desde el punto de vista de la física aplicada a la construcción debido al desarrollo continuo de la capa aislante y a los puentes térmicos mínimos que se crean, por lo que constituye uno de los sistemas de fachada más utilizados. También es frecuente su uso en la rehabilitación de casas que carecen de aislamiento o donde es deficiente.



Fig. 15: Ejemplo particular de aislamiento exterior enfoscado: encuentro entre muro y forjado

La capa de protección se compone de un enfoscado tendido sobre el aislante térmico. Este sistema presenta una delgada sección de muro y, desde luego, la capa de protección es menos resistente frente a agresiones mecánicas, lo que puede provocar problemas en la zona del zócalo (daños en el aislamiento por golpes con el pie, por los coches, etc.).

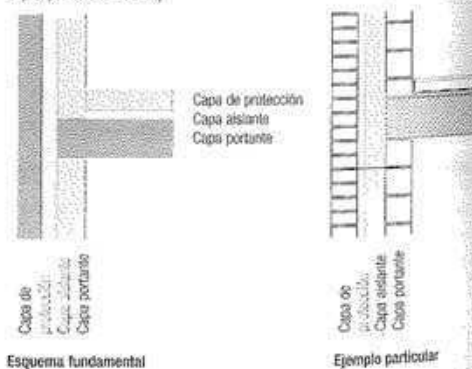


Fig. 16: Ejemplo particular de muro de dos hojas: encuentro entre muro y forjado

La capa de protección es una hoja autoportante realizada, por ejemplo, en ladrillo o piedra caliza. En edificios de varias plantas es preciso un anclaje parcial en la capa portante interior a causa del peligro de vuelco de la capa exterior. Las fachadas de dos hojas presentan mayor sección constructiva que cualquier otro tipo de cerramiento.

Conceptos de aislamiento

Sistemas complementarios. Capa portante exterior

El concepto de la capa portante exterior se encuentra fundamentalmente en muros vistos de obra de fábrica o de hormigón, o bien se utiliza en objetos con un único espacio.

En este caso, el aislamiento se coloca en la cara perteneciente al espacio interior. El soporte necesario de la carga de los forjados en la estructura portante exterior implica una interrupción de la capa aislante. Para minimizar los puentes térmicos surgidos por este motivo, los forjados deben aislarse en su cara inferior al menos un metro hacia el interior. En la cara superior del forjado puede instalarse un aislante combinado, térmico y acústico. En los edificios de hormigón visto existe la posibilidad de usar anclajes de acero inoxidable resistentes a la corrosión que permiten una unión sólida y estanca del muro con el canto del forjado y, a la vez, dejan un espacio intermedio libre que se rellena con una placa aislante fuertemente comprimida. Con ello se consigue la continuidad de la capa aislante, si bien los anclajes (colocados sucesivamente a poca distancia unos de otros), generan puentes térmicos puntuales.

Por su falsa compacidad (capa permeable interior, capa exterior permeable), los edificios aislados por su interior deben estar necesariamente provistos de una barrera de vapor para evitar la condensación en el lado del aislante, que está a más temperatura.

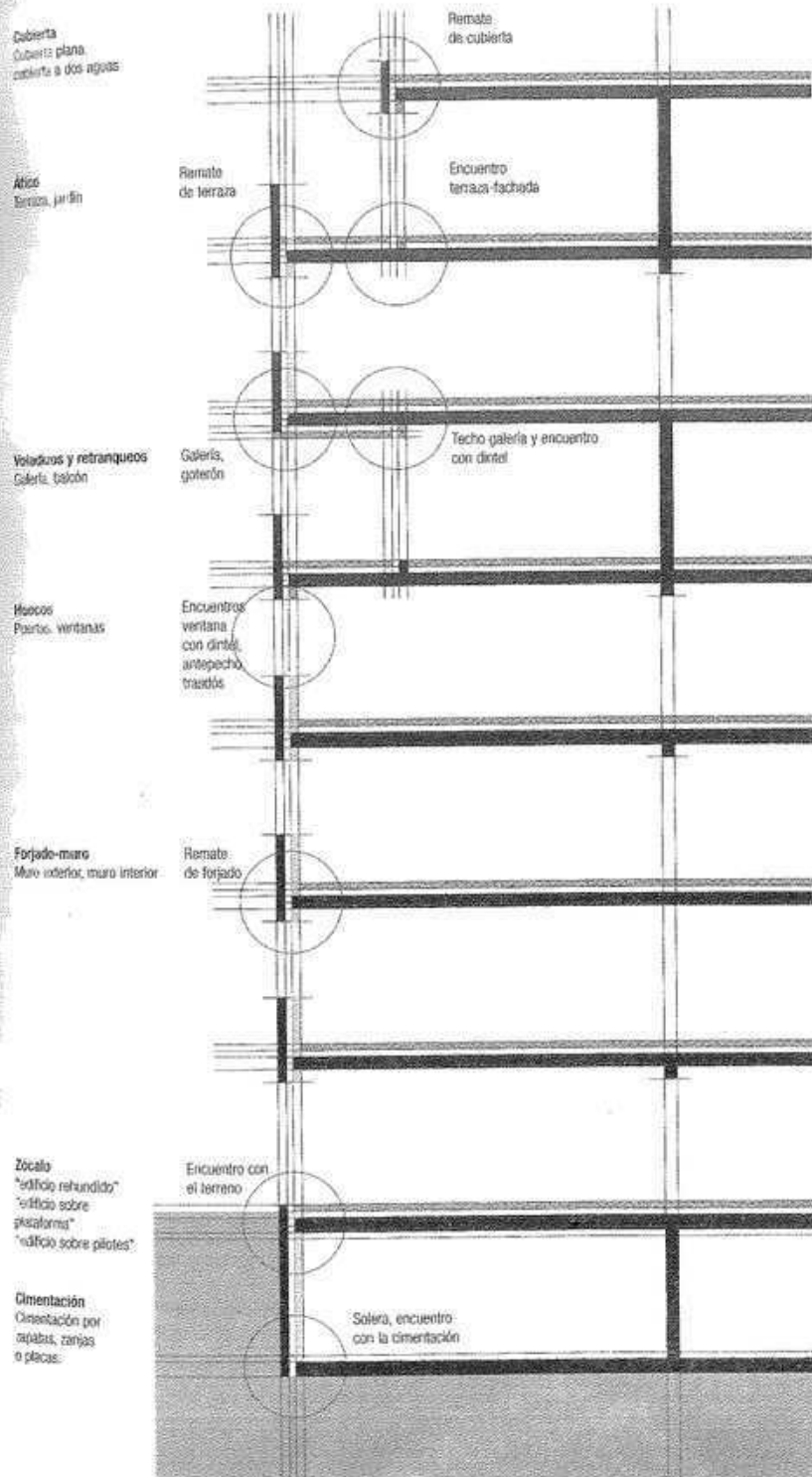
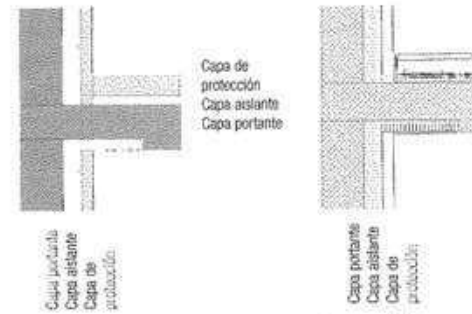


Fig. 17: Esquema de capas: capa portante exterior

El sistema elegido de remates del forjado con anclajes de acero inoxidable, permite la existencia de una capa aislante continua. Los círculos señalan los encuentros donde se juntan las distintas capas, que deben rematarse detalladamente.

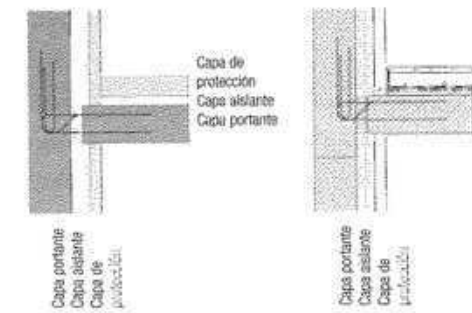


Esquema fundamental

Ejemplo particular

Fig. 18: Ejemplo particular de encuentro con forjado sin separación, interrupción del aislamiento térmico

Para compensar la interrupción de la capa aislante en la fachada es preciso introducir el aislamiento en la capa interior del forjado hacia el interior al menos un metro (inserto en el encofrado o bien montado en el techo). Inconveniente: la cara interior del forjado debe revocarse o revestirse (calidad visual). En la parte superior del forjado se coloca un aislamiento combinado térmico y acústico. La capa portante vertical puede ejecutarse con hormigón o muro de fábrica.



Esquema fundamental

Ejemplo particular

Fig. 19: Ejemplo de encuentro con forjado, continuidad del aislamiento térmico. Este sistema constructivo solo puede realizarse con hormigón armado, puesto que los anclajes de acero inoxidable tienen que estar fuertemente unidos a la armadura del forjado y del muro. Entre el muro y el frente de forjado ha de colocarse un aislante fuertemente comprimido, que la mayoría de las veces es parte integrante del correspondiente sistema de anclaje (por ejemplo, Schöck-Isokorb).

Siete reglas para la construcción de un edificio de bajo consumo energético

¿En qué consiste exactamente la planificación de un edificio de bajo consumo energético? Las siete reglas expuestas a continuación deben servir como resumen y soporte conceptual.

1. Persiga un concepto

La forma, situación, planta y distribución de un edificio tienen una gran influencia en el consumo de energía. Aspire a lograr soluciones lo más claras y sencillas posible. Si no tiene capacidad de invención, combine inteligentemente en la construcción aquellos elementos disponibles que son de bajo coste.

2. Construya con un elevado grado de aislamiento...

En el clima suizo, el aislamiento térmico en una vivienda de bajo consumo energético tiene un grosor de al menos 20 cm. Según el tipo de construcción, el cerramiento exterior de la construcción mide en conjunto entre 25 y 60 cm de grosor.

... y evite puentes térmicos

Allí dónde la envolvente con aislamiento de un edificio se ve interrumpida por otros elementos constructivos, surge el problema de los puentes térmicos, por los cuales se pierde el calor interior. Las pérdidas de calor originadas en puentes térmicos evitables superan a las que tienen lugar a través de la totalidad de la fachada aislada. Transiciones y encuentros exigen especial consideración:

- entre ventanas y muro, cubierta así como otras ventanas;
- entre puerta y muro;
- entre muro y cubierta;
- entre persianas y muro;
- de conductos de instalaciones y chimeneas en el muro y cubierta;
- de umbrales, alfézares, dinteles en suelo y muro;
- de anclajes de sujeción, por ejemplo, para balcones.

3. Aproveche el aporte calorífico de la radiación solar

Planee grandes ventanas a sur siempre y cuando su balance energético resulte positivo. Es necesario disponer de suficiente capacidad de almacenaje para absorber la radiación. Será preferible, por tanto, ejecutar paredes interiores y forjados macizos. Procure que las estancias de uso frecuente, como salas de estar y dormitorios para niños, se orienten lo más posible al sol.

4. Construya de forma estanca al aire...

¡Ningún edificio sin protección frente a la convección! Los habitantes respiran, pero no las paredes ni la cubierta. Compruebe la estanquidad al aire y controle especialmente la ejecución en los puntos problemáticos.

... e instale un sistema mecánico de ventilación

Con ello eleva la calidad del hábitat y reduce el consumo energético, puesto que el calor desprendido puede recuperarse (intercambiador de calor). La instalación de la ventilación debe dimensionarse con precisión, los ruidos molestos tienen que evitarse con aislamiento acústico.

5. Supla el calor adicional requerido con energías renovables

Energía solar, madera y calor ambiental resultan especialmente adecuados para edificios de bajo consumo energético, puesto que es allí donde se precisa poca energía cuando las pequeñas instalaciones (bombas térmicas, colectores) cubren totalmente las necesidades o se necesita menos combustible (madera) para satisfacerlas.

6. Almacene y reparta el calor reduciendo al máximo el nivel de temperatura...

Cuanto menores sean las temperaturas de la instalación de calefacción, menores serán las pérdidas; esto vale tanto para la generación del calor como para su reparto.

... instale el acumulador de calor en un ámbito con calefacción...

Todo acumulador pierde calor; debe ser utilizado en un edificio de bajo consumo energético.

... y exija conducciones cortas

En algunos edificios de bajo consumo energético, calientan más las tuberías de ida y de retorno (por su gran superficie) que los radiadores a los que abastecen. Esto puede provocar dificultades en la regulación del sistema y originar pérdidas de calor innecesarias.

7. Emplee electrodomésticos de bajo consumo

El uso de electrodomésticos de bajo consumo eléctrico reduce las emisiones y el impacto medioambiental.

Low tech – high tectonic

Andrea Deplazes

Un concepto energético imperceptible

He aquí un ejemplo de construcción que ahorra energía dentro del marco de los costes de edificios convencionales: lo que se había formulado en origen como un programa escolar convencional se transformó durante el proyecto en un concepto energético mínimo. En esta escuela, el problema de la energía no se delegó en la técnica del edificio, sino que se llegó a una síntesis con la tectónica del mismo.

Un visitante de la escuela de Vella no encontrará en ella nada que pudiera parecer inusual en un conjunto escolar. Los diferentes edificios que lo componen son de construcción maciza, en el interior de hormigón visto, con tableros de madera compacta para el revestimiento de las paredes en las aulas, en el gimnasio y en la sala de usos múltiples. Los volúmenes se forran con una capa de protección como aislante térmico de 12 cm de grosor, que se protege a su vez con una capa de revoco de unos 3 cm, como en las casas de madera tradicionales situadas en el entorno revestidas por una delgada membrana de enfoscado. La organización interior responde por completo a las tipologías habituales de las construcciones escolares en Suiza.

Pero un observador atento que se fije en los detalles hará un par de descubrimientos: las estancias están desprovistas de radiadores, tampoco hay una caldera de calefacción central en el sótano, ni colectores solares expuestos en algún sitio del edificio o sobre la cubierta. En su lugar existe una instalación de ventilación que, con un pequeño coeficiente de intercambio de aire (0,5), evita las pérdidas de aireación incontroladas (como ocurre, por ejemplo, al olvidarse de cerrar una ventana al salir del aula entre clase y clase). La instalación está provista también de un aparato de intercambio de calor que mezcla el aire frío con el calor del aire evacuado del interior. Ésta es la única componente técnica del complejo escolar citado; pertenece a la parte menos interesante de la idea arquitectónica. Más evidentes son los techos con nervaduras de hormigón, los pavimentos de placas de cuarcita de Vals (también en las aulas) o las ventanas abocinadas de gran dimensión y cuyos marcos de madera se recubren externamente con una barrera térmica. Aquí se aplica un concepto energético imperceptible, pues se trata de la utilización de la energía solar pasiva.

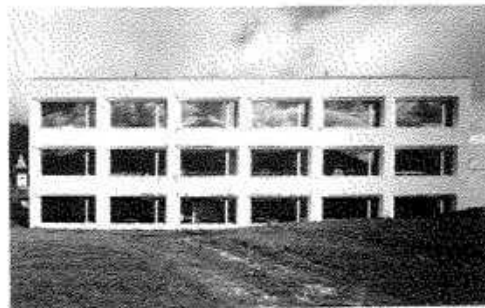
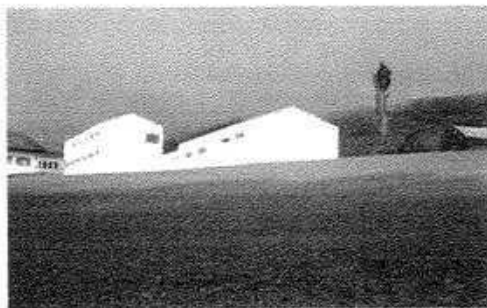
¿Un problema técnico?

Apenas comenzado el proyecto de este edificio, se hizo patente que su ubicación era muy adecuada para aprovechar la energía solar. Aunque en el presupuesto no se había previsto nada semejante, el ayuntamiento nos hizo llegar a ese fin el deseo de integrar estos colectores solares en las cubiertas ("sin incrementar los costes del proyecto").

Nos importaba poco colgarnos "medallas de una conciencia energética ilustrada", exhibida demasiado frecuentemente de un modo demostrativo y relevante. Además, la aplicación de elementos técnicos estropeaba no sólo el entorno arquitectónico de esta localidad, Vella, situada en la montaña, con sus antiguas y características casas. Más bien molestaba a nuestro entendimiento como arquitectos, pues en el proceso del proyecto nos preocupamos de llegar a una síntesis de los más distintos parámetros, a menudo incluso contradictorios, en lugar de contentarnos con una afortunada integración estética de colectores colocados en la cubierta y en otras superficies del edificio.

Una solución tectónica

Por ello, desarrollamos el concepto de la acumulación de energía solar en elementos constructivos macizos. Lo sugestivo consiste en poder trabajar con los mismos grosores de forjado y de muro que en un edificio convencional. Una condición es que los elementos constructivos sean macizos, para así poder absorber lo más rápidamente posible la luz solar que entra a través del acristalamiento de las ventanas y evitar el sobrecalentamiento de los espacios. Dado que las paredes de las aulas están cubiertas por todo tipo de elementos, como pizarras, pantallas magnéticas, vitrinas y armarios, que no pueden considerarse como masa acumuladora, nos decidimos por techos con un perfil nervado que optimiza la superficie de absorción y el reparto de la masa, ya que es sabido que la profundidad dinámica de irradiación del calor en elementos de construcción macizos es de aproximadamente 10 cm (acumuladores primarios). En invierno, en un período de pocos días de sol, otros elementos acumuladores de la masa pueden almacenar también calor permanentemente (acumuladores secundarios).



Figs. 20 y 21: Escuela y pabellón de usos múltiples (a la izquierda), fachada con grandes huecos orientada al sur (a la derecha).
Beuth & Deplazes: escuela, Vella, Suiza, 1997

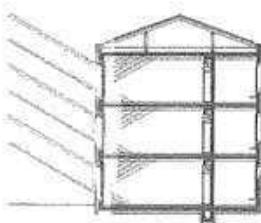


Fig. 22: Sección transversal del volumen de las aulas.

Una estrategia de usos múltiples

A esta solución están asociados diferentes usos: como sistema de nervios, los forjados cubren la profundidad de 7,5 m de las aulas con poca cantidad de material. Al mismo tiempo, el perfil inferior produce el efecto de una difusión acústica efectiva que hace innecesario el empleo de medidas adicionales. En los espacios situados entre los nervios pueden colocarse luminarias de bajo consumo sin que se produzca un efecto de deslumbramiento. Y, por último, los nervios del forjado forman un rico motivo arquitectónico, que puede entenderse como trasunto de los techos barrocos en las ya citadas casas burguesas. Tan sólo falta un último componente para llevar un máximo de luz natural a los techos: estores de láminas enrollables sobre el lado interior del vidrio de las ventanas.

Puesto que estos mecanismos enrollables son demasiado caros, nos hemos arreglado con láminas de aluminio convencionales, que se pueden insertar con un giro de 180 grados en las guías de los estores. Los estores enrollables se bajan en invierno hasta el punto en que los alumnos más próximos a las ventanas no se ciegan con la radiación solar horizontal e intensa, que aún se refleja más por la nieve caída. El tercio anterior de la superficie del suelo, situado a lo largo del frente de las ventanas, puede en todo caso absorber calor como una hoja de papel secante y, en consecuencia, transmitirlo a la zona más profunda del espacio. Además, las láminas se giran hasta una posición en la que la luz del sol se refleja al máximo en el techo nervado; sobre la cabeza de los alumnos. De este modo, se aprovecha no sólo la absorción de calor del techo, sino que se mejora también la iluminación natural general, lo que reduce el gasto de electricidad. Tampoco hay que desdeñar el hecho de que, en esa posición, las láminas "abiertas" permiten la visión libre del paisaje.

Objeto: Escuela con sala de usos múltiples en Vella, Municipio de Vella.
 Promoción: Lugnez, Suiza.
 Arquitectos: Valentin Bearth, Andrea Deplazes, Chur.
 Ingeniero de energía: Andrea Rüedi, Chur.
 Técnicos de instalaciones: Nikl + Padun, Chur.

Datos de referencia

Recomendación SIA 380/1 Energie im Hochbau, edición de 1988.
 Valor límite 260 MJ/m²a.

Folleto SIA D 090: Energiepercepte Schulbauten.
 Valor límite estándar 150 MJ/m²a.
 Valor límite optimizado 76 MJ/m²a.

Valor de cálculo para Vella, según el Handbuch der passiven Solarenergienutzung SIA/BEW-Dokumentation D 010: 24 MJ/m²a.
 Valor empírico para Vella (BT-Diplomarbeit 98/99): 34 MJ/m²a.

La divergencia entre el valor de cálculo y el empírico, para los valores de consumo energético calculados para la escuela de Vella, se encuentra dentro de la tolerancia aceptable en este método de cálculo.

Capacidad acumuladora (seguridad para una climatología adversa): en un período de 4 días seguidos de mal tiempo, con temperaturas exteriores de -5 °C, y reducción del aporte solar, la temperatura de la masa acumuladora disminuye por lo general de 21 a 19 °C. En este punto se cruzan la curva decreciente de temperatura de la masa interior con la curva de la temperatura del aire extraído del exterior (precalentado con el sistema de intercambio de calor). De este modo, el valor puede mantenerse (valores empíricos tomados entre el 12/1/1999 y el 15/1/1999, medición efectuada en el invierno de 1998-1999).

Un concepto múltiple

Como concepto de aprovechamiento de la energía solar por acumulación, en los elementos constructivos macizos imprescindibles, como techos, suelos y paredes, este procedimiento no se asocia a la construcción de escuelas. La estrategia de usos múltiples de los elementos es necesaria para ser competitivos dentro de la construcción convencional. El momento actual sería oportuno para efectuar un cambio de la moderna comprensión de los sistemas arquitectónicos complementarios (formados por partes individuales de una sola función), a sistemas sintéticos con componentes de varias funciones. A esto se denomina entonces pensamiento integral. Sólo así se pueden crear "de un golpe" valores económicos, energéticos y culturales añadidos, lo que no quiere decir otra cosa que "perdurabilidad". Todo el concepto energético de acumuladores empleado en Vella carecería de sentido si la necesidad de construir un sistema macizo no pudiera vincularse, tanto a la temática de la plasticidad y de la masa "monolítica" del edificio, al juego de las superficies,

la profundidad espacial y el sutil revestimiento de las fachadas, como a la expresión volumétrica del edificio y las soluciones de detalle. Existe además una relación con la estructura urbana de este pueblo de montaña, de casas burguesas potentes, cúbicas y compactas.

Extraído del Bulletin, (revista de la ETH Zürich), 276 (Energie im Umbau), enero de 2000, págs. 32-33.



Fig. 23: Aula con el techo nervado de hormigón.

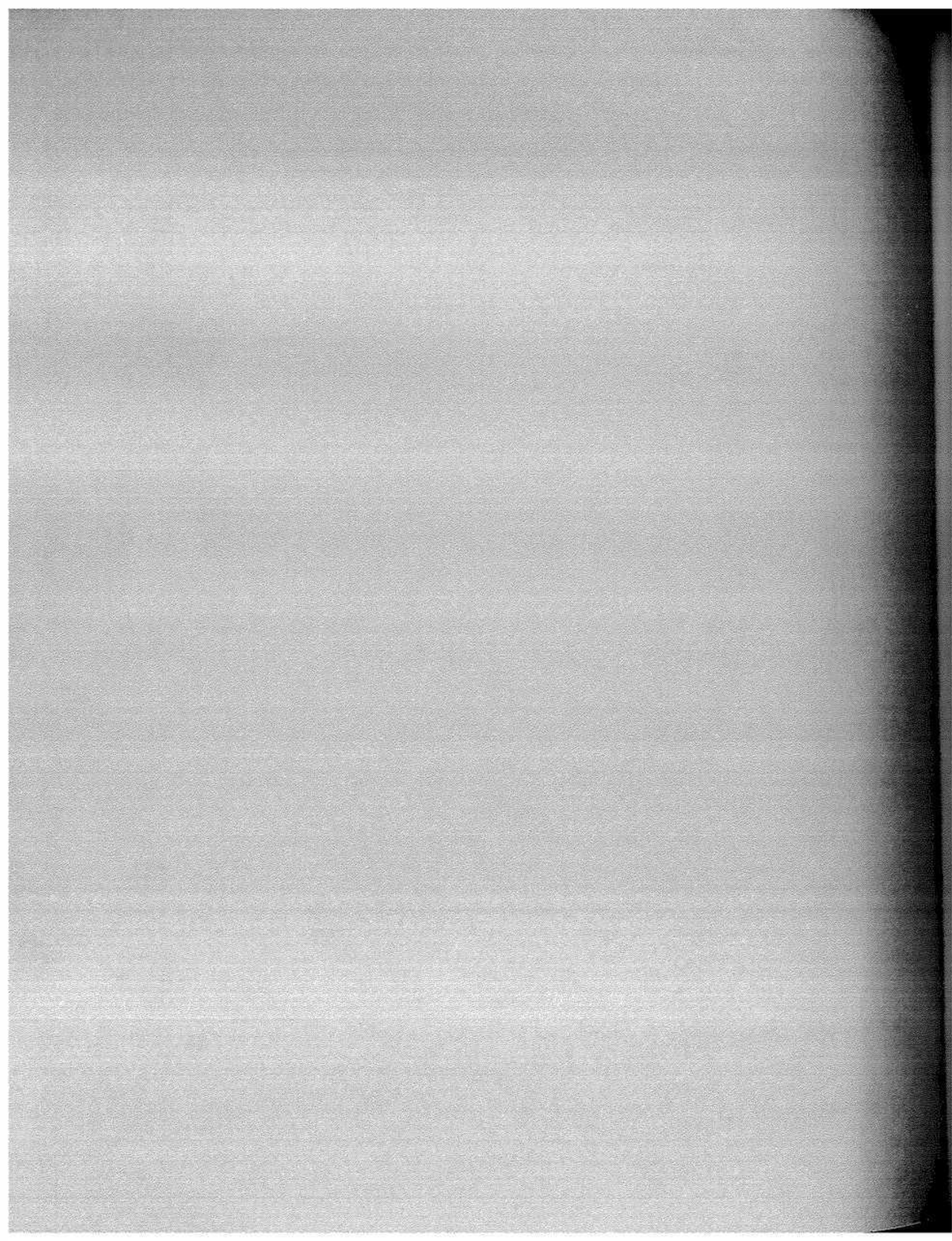
Obras
seleccionados

Introducción

Cuestiones de estructura
Sobre la relación entre
la estructura espacial
sistema constructivo
e infraestructura

Ejemplos

Edificio de viviendas en
Baden, Burkard Meyer
Architekten
Galería de arte
contemporánea,
Marktoberdorf
Beuth & Deppeler
Vivienda unifamiliar
en Grabs, Peter Märki
Escuela en Poggendorf
Valerio Olgiati
Escuela Völla, Bülles
Moser + Moser
Facultad de Ingeniería,
Zürich, Guller + Högger
Escuela en Birch,
Zürich, Peter Märki
Centro de formación
profesional, Baden,
Burkard Meyer
Architekten
Edificio de
verano, Chur
Beuth & Deppeler
Escuela de formación
profesional de
carpintería, Seel,
Marcel Neri
Markus Peter
Casa Wülmann, Sevgen
Beuth & Deppeler
Escuela
Ludwigshafen, Zürich
Christoph Neri



Cuestiones de estructura

Sobre la relación entre estructura espacial, sistema constructivo e infraestructura

Alois Diethelm, Andrea Deplazes

Estructura espacial, sistema constructivo e infraestructura son tres factores relevantes del proyecto que ejercen un grado distinto de influencia según el programa de un edificio (de sus usos) y en función de las distintas interdependencias que se producen.

Si bien estructura espacial y estructura portante constituyen una pareja de términos que se pueden emplear tanto al hablar de la cabaña primitiva como al hacer referencia a los edificios contemporáneos, la infraestructura (vocablo que designa básicamente los núcleos para la circulación de personas e instalaciones, pero que aquí será usado en relación con la tecnología de un edificio) no reviste significación alguna en la arquitectura vernácula, pues no está presente en la mayor parte de las construcciones previas a la revolución industrial (o bien existe tan sólo circunstancialmente, como, por ejemplo, en forma de sistema de calefacción). Aunque es de sobra conocido que ya los romanos disponían de sistemas de abastecimiento evolucionados, como hipocaustos y conducciones de agua potable, hasta la industrialización tales adelantos apenas fueron significativos en el conjunto de toda la arquitectura. Desde entonces —ante la posibilidad de la producción en masa y la preocupación, no menos importante, de mejorar las insostenibles condiciones higiénicas de las ciudades en el siglo XIX— su importancia dentro del proyecto ha crecido constantemente.

A partir de ese momento, promotores y arquitectos se han visto obligados a determinar la dimensión de las instalaciones destinadas a cada uso concreto. Cuando no se necesita un elevado grado de confort, un edificio anterior al siglo XX continúa satisfaciendo las necesidades de los usuarios. Una rehabilitación, en caso de ser necesaria, resulta relativamente sencilla, puesto que los conductos de instalaciones rara vez están alojados en muros o techos, o sólo en proporciones mínimas. Ya en 1942, Hans Bernoulli cayó en la cuenta de que "las sutiles instalaciones actuales y su ejecución —destinadas a conseguir condiciones muy específicas— van a convertirse en la ruina de las nuevas construcciones, reduciendo su vida, tanto más en edificios complejos, que no se puede adaptar a los cambios tan fácilmente como uno sencillo".¹ Las instalaciones han ido adquiriendo la dimensión de un sistema nervioso que, cada vez más denso, afecta a casi todos los elementos constructivos y, además, satisfacen tareas que hoy parecen imprescindibles. Aunque en casos aislados sea posible simplificar, debe aceptarse que, esencialmente, los edificios contemporáneos son por lo general complejos, en el sentido apuntado por Bernoulli. La capacidad de adaptación no depende sólo de la estructura portante, sino también, y en igual medida, de la infraestructura. Que la capacidad de adaptación es una cuestión actual lo corrobora constantemente la práctica del proyecto en sus diversas fases. No en vano Marcel Meili planteó, en una entrevista de hace pocos años, la pregunta de cómo se debería materializar el uso del espacio "cuando ya apenas existe ningún programa especí-

fico, puesto que el edificio entra de lleno, nada más ser construido, en el mercado de los grandes inversores inmobiliarios".²

Por lo expuesto anteriormente, el término estructura debería analizarse en tres períodos:

1. Antes de comenzar la construcción.
2. Tras haberla concluido (a corto, medio y largo plazo).
3. Durante la construcción.



Fig. 1: Estructura portante que potencialmente puede volver a ser utilizada. Edificio de viviendas en el centro de Tirana, Albania, 2002.

Flexibilidades diferenciadas

No se trata aquí de conseguir una "flexibilidad absoluta" que permita la realización de todo deseo de reforma, sino de estrategias de proyecto que, adaptándose a las condiciones impuestas por una práctica basada en la economía, ofrezcan también respuesta a posibles necesidades surgidas a medio o largo plazo. Dentro del campo actual de la economía de la construcción, esa intención es contraria a la mentalidad más difundida de mantener los costes de inversión muy bajos, en la creencia de que los posteriores a la terminación de la obra corren a cargo de otra institución. Por supuesto, se trata también de ponderar cuándo y en qué medida será necesario intervenir nuevamente. Cuanto más tiempo transcurra hasta la primera intervención, tanto menos significativa será una sencilla y controlable versatilidad del edificio. Precisamente cuando el edificio está desprovisto de su función original —como las instalaciones industriales abandonadas, fábricas que se transforman en pisos, oficinas, escuelas o similares—, la rehabilitación opta frecuentemente por reducirlo a la pura estructura, porque los

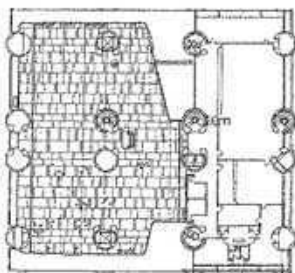


Fig. 2: Pilares especiales con asens, escaleras, etc.
Kenzo Tange, centro de comunicaciones, Kofu, Japón, 1964-1967



Fig. 3: Antes de la construcción sólo estaba fijado el lugar de la escalera
Burkard Meyer Architekten; edificio de viviendas en Martinbergstrasse, Baden, Suiza, 1998-1999

demás elementos resultan obsoletos: después de treinta o cincuenta años las infraestructuras son anticuadas, la fachada no cumple los requerimientos térmicos exigibles y se advierte que algunos materiales resultan nocivos. La única constante es la estructura portante, que, según su adaptación a la estructura espacial, se muestra más o menos flexible para nuevos usos.

Por lo general, se entiende como exigencia de flexibilidad de un programa espacial, dentro de un mismo aprovechamiento, la posibilidad de crear distintos espacios grandes o independientes. Ejemplos típicos son las estancias dispuestas libremente en los edificios de viviendas o toda la retícula en los de oficinas. Aquí se hace referencia a la "flexibilidad de uso", que únicamente se tiene en cuenta una vez concluida la obra. También existe, por otro lado, la "flexibilidad de planeamiento" consistente en que algunos componentes de proyecto, como, por ejemplo, el núcleo de comunicación vertical, se entiende desde el principio como inamovible mientras que otras partes —fijadas igualmente tras el comienzo de la obra— pueden aún modificarse inicialmente hasta un determinado "punto sin retorno": en la construcción de viviendas afecta, por ejemplo, a la dimensión y, en casos excepcionales, a la situación de las células húmedas. Cuando las paredes interiores son de carga, la rentabilidad construc-

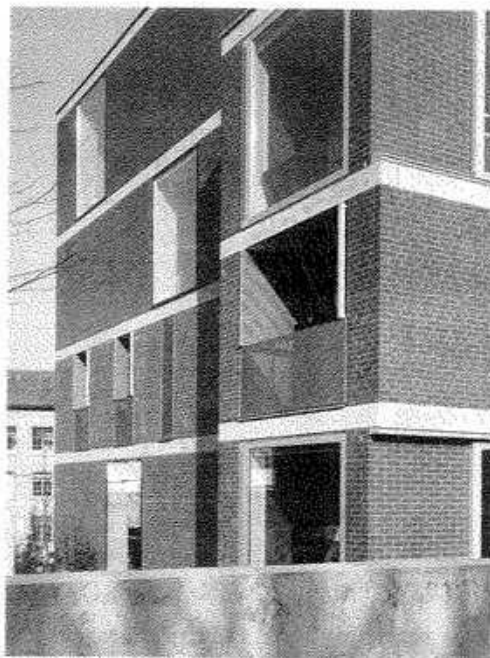


Fig. 4: Flexibilidad de planeamiento: los compradores determinan la posición de las ventanas
Burkard Meyer Architekten; edificio de viviendas en Martinbergstrasse, Baden, Suiza, 1998-1999

tiva de la estructura espacial está supeditada a las luces de forjado ya establecidas y a la distribución de los huecos de fachada. Burkard Meyer Architekten han explotado ampliamente las posibilidades de flexibilidad de planeamiento en su edificio residencial de la Martinsberstrasse

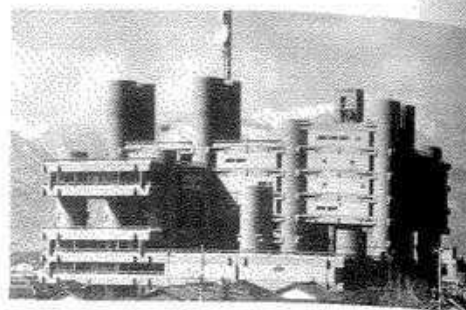


Fig. 5: Unión de estructura portante e infraestructuras en capas constructivas
Kenzo Tange, centro de comunicaciones, Kofu, Japón, 1964-1967

de Baden (1998-1999). La planta se basa en una fachada portante y un núcleo de comunicación central. El espacio restante, cuartos de baño y cocinas incluidos, podía ser determinado libremente por los compradores de cada vivienda individual. Lo inusual fue que éstos decidiesen incluso la posición y la dimensión, de suelo a techo, de las ventanas. Al comenzar la obra, sin embargo, algunos pisos no tenían todavía dueño, por lo que la flexibilidad se vio reducida en gran medida: una vez establecida la colocación de los huecos y la situación de los componentes técnicos de la vivienda (en particular de las instalaciones sanitarias), la planta quedó ya ampliamente configurada. Hoy en día, la irreversibilidad de las instalaciones —sobre todo en la construcción de viviendas— se produce por la absurda costumbre de empotrar los conductos de las instalaciones. Con ello se dificulta tanto la posibilidad de adaptación durante la obra como su renovación posterior, por no hablar de los propios cambios de uso.

"Pilares" espaciales fijos, forjados delgados

En el supuesto de que un edificio de varias viviendas deba transformarse en hotel o pensión, el cambio de uso arroja una serie de interrogantes. El núcleo de comunicación horizontal, en ocasiones apenas definido espacialmente, debe convertirse ahora en corredor y configurar un auténtico cortafuegos. La mayor concentración de personas acaso exija una escalera de evacuación adicional, mientras que el gran número de espacios sanitarios descentralizados hace cuestionable la utilidad de un núcleo central de suministro de servicios y eliminación de residuos. Estructuralistas como Kenzo Tange buscaron la respuesta a esas cuestiones adaptando los núcleos de comunicación vertical, tanto de instalaciones como de personas (escaleras, ascensores) a la, en todo caso, obligada estructura portante. Los delgados pilares del clásico sistema forjado/pilar se transformaron en pozos espaciales. En la arquitectura industrial de finales del siglo XIX existen ya antecedentes de la multifuncionalidad de elementos constructivos singulares, como en el caso de conductos verticales situados entre dobles pilares.

Debe efectuarse semejante lectura de la agrupación de los conductos de tiro de las chimeneas a lo largo de los muros cortafuegos en los edificios de viviendas de varias plantas del siglo XIX y principios del XX. La disposición des-

centralizada de los núcleos con conductos reduce los elementos horizontales de las instalaciones al mínimo o, en un caso ideal, permite prescindir totalmente de ellos. Libres de conductos horizontales, la calidad constructiva de los forjados se ve condicionada tan sólo por los requerimientos estáticos y los de aislamiento acústico. Antes del empleo de las losas de hormigón armado, con su capacidad para incluir conductos, lo más sencillo era la conducción vertical pura y simple de éstos (en los edificios de viviendas).

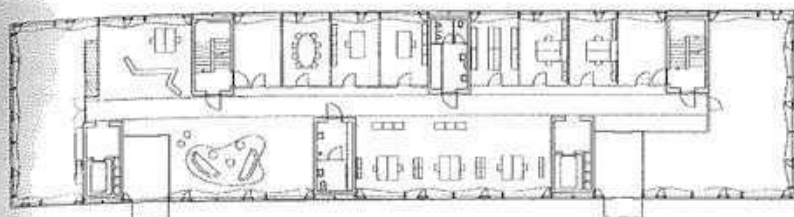


Fig. 6: Planta libre de pilares con fachada portante y núcleos de ascensores, cuartos húmedos o escaleras.
Bearth & Deplazes, sede de ÖKK, Landquart, Suiza, 2001-2002.

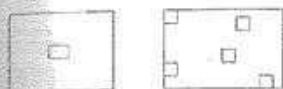


Fig. 7: Agrupación/descentralización.
Esquema de planta con cocina y baño central (izquierda: conductos cortos) y disposición descentralizada (derecha: numerosas instalaciones).

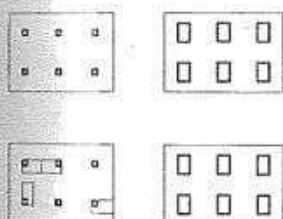


Fig. 8: Pilares espaciales, forjados delgados.
Esquema básico de planta (arriba) y con particiones (abajo). Los cuartos húmedos están asociados a la estructura portante.

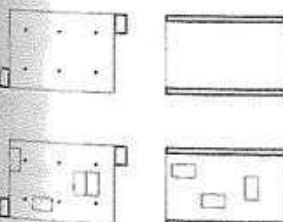


Fig. 9: Pilares delgados, forjados espaciales.
Esquema básico de planta (arriba) y con particiones (abajo). Los cuartos húmedos se colocan de forma independiente a la estructura portante. La conexión entre las distintas plantas tiene lugar a través de conductos periféricos que pueden servir también para la transmisión vertical de cargas (por ejemplo, la imagen de la derecha). Véase también el edificio de la American Republic Insurance Company de 2006.

A pesar de que los estructuralistas perseguían lo contrario, los usos de los espacios en las obras de Tange están muy determinados porque los, en teoría, pozos de uso neutro que incluyen un ascensor, las escaleras y, además, células húmedas y tubos de ventilación. En otras palabras: la estructura no es tan libre como puede sugerirse a primera vista. Por un lado, la organización en planta depende de que los correspondientes elementos de la infraestructura estén en el lugar deseado y, por otro, los núcleos establecen en ella un campo que no se extiende de fachada a fachada, sino que jalona entre los núcleos de campos aislados. Si cada núcleo dispusiera de escalera, ascensor, cuartos húmedos y pozos de instalaciones, el sistema resultante sería en todo caso exagerado. Además, la gran dimensión que en conjunto alcanzarían los núcleos, limitaría drásticamente la flexibilidad.

Al igual que en el ejemplo de Kenzo Tange, en el edificio de oficinas de ÖKK en Landquart, de Bearth & Deplazes, no existe jerarquía alguna entre los núcleos que forman recintos que pueden encerrar usos distintos (como, por ejemplo, aseos). El camino inverso lo ilustran aquellos ejemplos donde el núcleo que traspasa los forjados es reducido a un conducto que tan sólo puede admitir conducciones de instalaciones y tuberías. En este caso, los pozos constituyen el punto de partida (o la columna vertebral), para un desarrollo espacial diferente en cada planta. Lo interesante aquí es que la elección del sistema vertical de abastecimiento y evacuación —ya sea central con una mayor red de distribución horizontal, o descentralizado con otra menor— no afecta a la comunicación vertical con escaleras y ascensores. En ambos casos, la situación y el número de conectores verticales dependen de las distancias máximas de evacuación y condiciones determinadas por la normativa contra incendios.

Pilares delgados, forjados espaciales fijos

Una red más o menos densa de componentes verticales que atraviesen el edificio —ya formen parte de la infraestructura o de la estructura portante— implica que aquellos usos que precisan una distribución espacial distinta en cada planta, sólo pueden realizarse cuando se parcelan. En sentido contrario, los núcleos de espacios sanitarios, conductos de ventilación y pilares limitan el aprovechamiento de los espacios.

Para lograr una mayor libertad en la distribución de cada planta, puede realizarse un núcleo de instalaciones vertical central que se distribuya de modo conveniente horizontalmente en suelos flotantes, falsos techos o forjados espaciales. La altura libre necesaria de tales espacios huecos se decide en los puntos donde al menos se cruzan dos sistemas de instalaciones, como, por ejemplo, un conducto para cables y un tubo de aireación. Junto a aspectos como el fácil acceso para montaje y mantenimiento, es preciso evitar el cruce de instalaciones que precisan el uso simultáneo de dobles suelos y falsos techos. Tales construcciones —con un forjado de hormigón armado— presentan una sección total de 70 a 80 cm; si bien la sección estructural es realmente de tan sólo 25 a 30 cm. En estos casos hay un potencial desaprovechado porque cada capa de forjado ejerce una función independiente. Una alternativa sería duplicar la sección estructural en la medida de lo posible (con cerchas espaciales de acero, hormigón o madera; o Fritz Haller, por ejemplo, con los sistemas Mini, Midi y Maxi) manteniendo el mismo grosor total. Esta solución permite salvar luces mayores y, en consecuencia, resultan dispositivos con multiplicidad de usos. Aunque sólo se haya mencionado el cruce de conductos como factor determinante para la altura del espacio libre, la pendiente mínima de los conductos de



Fig. 10: Instalaciones en el mismo plano de la estructura portante.
Fritz Haller, centro de formación SBB en Löwenberg, Múren, Suiza, 1960-1962.

evacuación constituye otro aspecto también decisivo (especialmente cuando cada planta cuenta con un número diferente de células húmedas y dispuestas en lugares también distintos). El mayor espacio libre disponible en las cerchas supone en este caso una ventaja para la conducción horizontal de instalaciones. En el Salk Institute de Louis I. Kahn, los techos de los laboratorios llegan a ser auténticas plantas transitables para el mantenimiento y el

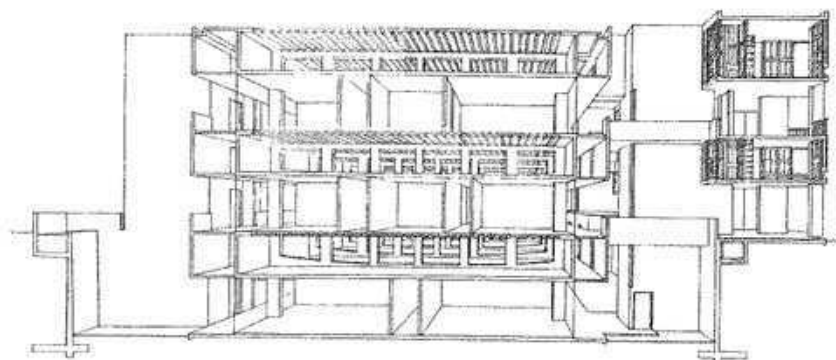


Fig. 11: Forjados huecos con espacio para instalaciones
Louis I. Kahn, Salk Institute, La Jolla (California), Estados Unidos, 1959-1965

equipamiento de las numerosas instalaciones. Vigas Vierendeel, paños de muro ciegos y losas de hormigón armado configuran cajas huecas tan resistentes a flexión que cubren el espacio situado por debajo, como elementos libremente sustentados. Las entreplantas de instalaciones son también frecuentes en rascacielos (por ejemplo, en el edificio PSFS de Howe & Lescaze, 1932), para reducir los recorridos de los conductos de aire y agua. En su proyecto para un gran almacén, Louis Parnes muestra igualmente varios forjados de la altura de un piso, que sirven como depósito de las mercancías puestas a la venta en la planta inmediatamente superior.

Confort y técnica

La habitación humana protege fundamentalmente de la intemperie y de la amenaza de otros seres vivos. Por eso, en muchas regiones, la protección contra el frío adquiere una importancia esencial. El hogar es la respuesta más primitiva para la satisfacción de esta necesidad y hace compatible en el mismo lugar la producción y la emisión de calor. Este mismo principio está presente en los hornos y chimeneas que se sitúan como única fuente de calor en

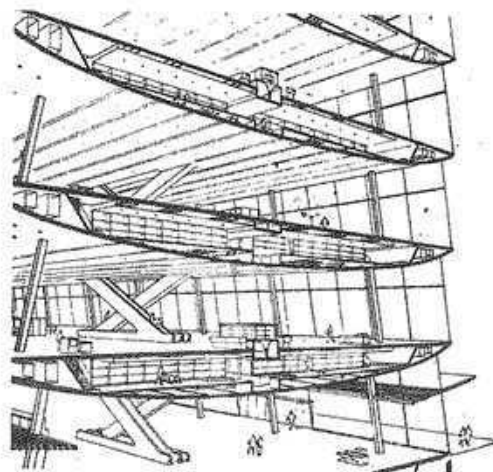


Fig. 12: Forjados espaciales para almacenaje de los productos que se venden en la planta superior
Louis Parnes: proyecto para un gran almacén, hacia 1947

el centro de la casa, o que pueden estar distribuidos por distintas estancias. La total autarquía sugerida por esta unidad funcional para la generación y la emisión de calor está perturbada tan sólo por los conductos verticales correspondientes (algo que ni siquiera sucede con las energías libres de emisiones, como, por ejemplo, las estufas eléctricas). Las chimeneas sirven para evacuar el humo y también proporcionan calor a las estancias colindantes a ella.

Otro sistema de calefacción tiene su origen en el hipocausto romano, donde la fuente de calor se encuentra fuera de la estancia a caldear, pues se consideraba que el hogar abierto era un peligro. El aire caliente se conducía a través de una especie de doble suelo hasta los tubos de evacuación de humo, que estaban empotrados o colocados en la cara interior de las paredes. De este modo se calentaban en igual medida suelos y paredes. Esta concepción anticipa los sistemas de calefacción central: suelo radiante y el principio de proporcionar calor allí donde se producen las mayores pérdidas. Como calefacción basada tan sólo en la radiación, el hipocausto es más

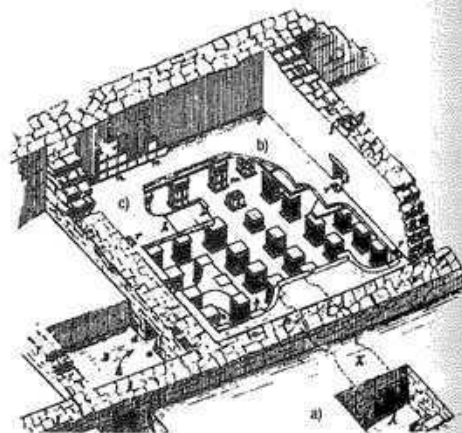


Fig. 13: Hipocausto romano
a) hogar situado fuera del edificio, b) doble suelo, c) conductos para la evacuación del humo (tubos)

eficaz que los radiadores y convectores modernos (y también está libre del polvo que se levanta con la convección). Una interpretación moderna del hipocausto se encuentra en la pared radiante de la galería de arte contemporáneo en Marktoberdorf de Bearth & Deplazes, construida en el año 2000.

Reyner Banham vio en la posibilidad técnica de calentar de forma selectiva espacios, o partes singulares del edificio, una condición fundamental para hacer realidad las nuevas concepciones espaciales de la arquitectura moderna.³ La cuestión crítica de la disminución del confort provocada por las grandes superficies acristaladas, podía ser compensado de aquí en adelante con la calefacción. Como ejemplo, Banham cita la ventana norte de la sala de dibujo de la Escuela de Arte de Glasgow, obra

de Chales Rennie Mackintosh (1896-1899). Para Frank Lloyd Wright, la calefacción central de agua caliente con distribución descentralizada ofrecía la posibilidad de realizar volumetrías complejas: "Gracias a ello, las formas del edificio pueden desarrollarse en todas sus diferentes partes, con lo que éstas recibirán luz y aire por varios lados".⁴ Las deficientes propiedades aislantes de algunos materiales, sobre todo del vidrio, podían compensarse ahora con la técnica, con la calefacción en invierno o bien con el aire acondicionado en verano. Tras la crisis del petróleo de inicios de la década de 1970 y la concienciación ecológica de la década de 1980, se multiplicaron los esfuerzos para reducir el empleo de las instalaciones técnicas. Los vidrios aislantes, recubiertos con una capa de aislamiento térmico y provistos de gases nobles en la cámara intermedia, son conocidos desde la década de 1950, y desde entonces han experimentado un desarrollo extraordinario tras el cual, el vidrio ya no se considera sinónimo de grandes pérdidas energéticas.

La generalización de la calefacción central en la primera mitad del siglo xx significó que los edificios se convirtieron crecientemente en portadores de instalaciones, ya fueran añadidas o integradas, que distribuyen y proporcionan calor. Hasta entonces, las instalaciones quedaban limitadas a espacios subordinados, en la medida en que

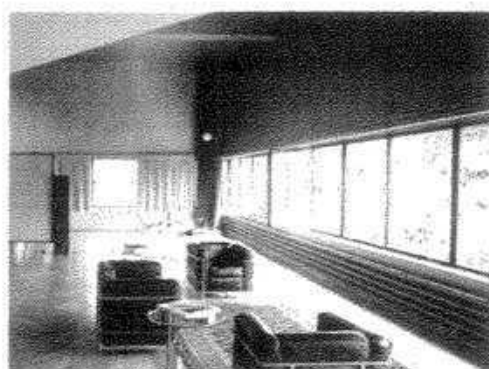


Fig. 16: Tuberías de calefacción agrupadas en superficie
Alexander Ferenczy, Hermann Henselmann, villa Kenwin, Vevey, Suiza, 1929

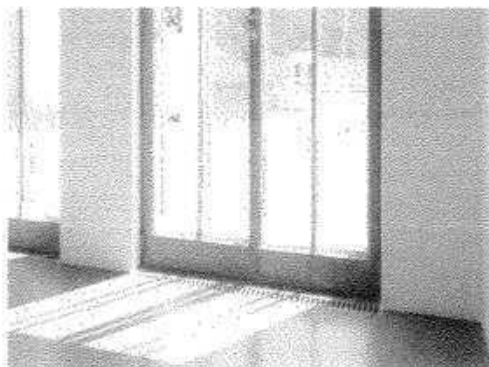


Fig. 17: Suelo con salidas de aire caliente procedentes del sótano
Ludwig Wittgenstein, casa en la Kundmannngasse, Viena, Austria, 1928

mann Henselmann, consiste en un sistema de tubos paralelos que acentúan la horizontalidad de la banda de ventanas colocada sobre ellos. En la casa en la Kundmannngasse, Ludwig Wittgenstein coloca una calefacción invisible oculta en el suelo de los espacios más representativos de la planta baja. La salida de aire del suelo radiante, que atraviesa el techo del sótano, está situada ante las puertas que dan al jardín.

El hecho de que algunos arquitectos considerasen que los radiadores eran elementos discordantes, fue ilustrado por Christoph Bürkle comparando dos fotografías del espacio interior de la casa Rupenhorn en Berlín (1928), obra de los hermanos Luckhardt. En las fotografías publicadas, los radiadores fueron suprimidos.

Para liberar el espacio de los elementos técnicos, los radiadores fueron sustituidos cada vez más por convectores de aire empotrados en el suelo. Lo mismo sucede con los suelos radiantes, donde los conductos ocultos no plantean ya la cuestión de cómo ocultarlos, sino del sistema utilizado para ello, con cemento o argamasa. Resulta interesante el hecho de que el suelo radiante, un sistema concebido en principio para conseguir una superficie homogénea y neutra, depende para su funcionamiento de la distancia y la posición de los tubos, así como de la distribución de los mismos en cada espacio individual. Una solución semejante, en cuanto a la relación entre los distintos ámbitos concretos se consigue con la



Fig. 14: Instalaciones no previstas: en realidad hay radiadores
Hans y Wassili Luckhardt, casa en Rupenhorn, Berlín, Alemania, 1928

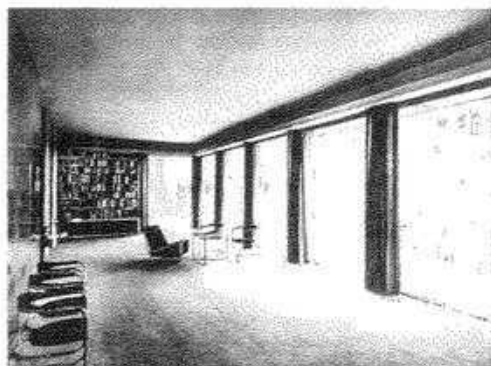


Fig. 15: Instalaciones no previstas: imagen retocada eliminando los radiadores
Hans y Wassili Luckhardt, casa en Rupenhorn, Berlín, Alemania, 1928

se entendían como un elemento de segundo orden, mientras que ahora las instalaciones técnicas afectan al edificio entero. El modo de proceder de los arquitectos va desde el pragmatismo de colocar las instalaciones a la vista, sin más pretensiones, hasta el contrario, de ocultar los conductos y los elementos de calefacción. Una tercera vía ha consistido en utilizar los componentes técnicos de la calefacción como elementos formales, mediante una distinción especial (color, disposición, etc.) o bien otorgándoles una función añadida (barandillas).

En el caso de Bruno Taut, los radiadores y las tuberías, colocados modestamente pero pintados con colores de tonos intensos, constituyen elementos que contrastan e impregnan el espacio de una policromía global. La calefacción de la villa Kenwin en Vevey (1929), obra de Her-

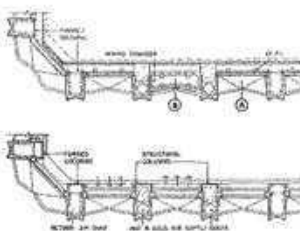
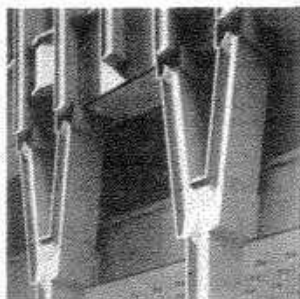


Fig. 18, 19, 20:
Arriba: uno de cada tres pilares no es portante
Centro: sección por el antepecho
Abajo: sección por la ventana
Paul Rudolph con Anderson, Beckwith & Haible,
edificio Blue-Cross, Boston (Massachusetts),
Estados Unidos, 1958

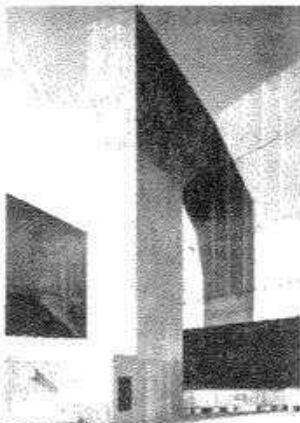


Fig. 21: Conductión de las instalaciones con
carácter escultórico: su materialización como
fachada
Greater London Council, Hubert Bennet, Queen
Elizabeth Hall, Londres, Reino Unido, 1966

calefacción por radiadores colocados de una manera ordenada por puntos. Así, se disponen a lo largo de las ventanas, que discurren de suelo a techo —lo que significa una colocación más compacta de los radiadores—, subdividiendo espacios profundos según las diferencias de radiación solar en zonas con una regulación térmica particular.

La fachada como soporte de infraestructuras

Hasta la década de 1960, las instalaciones no revistieron ninguna importancia para la expresión de la fachada —pues se situaban siempre en el interior del edificio—, como mucho se percibían tras el velo de una piel de vidrio más o menos transparente. A partir de entonces, las infraestructuras adquirieron cada vez más protagonismo como motivo formal. El brutalismo ubicó grandes conductos, revestidos normalmente de hormigón, donde se alojaba un haz de conducciones y tuberías. Las instalaciones, entremezcladas con escaleras y otras adherencias "funcionales", eran tan sólo un instrumento al servicio de la forma escultórica del edificio. De un modo opuesto, los seguidores del *high tech* —y, antes que ellos, los meta-bolistas japoneses— se apuntaron a una estética donde las instalaciones vistas cobraban autonomía respecto a otras unidades funcionales esenciales. Sin embargo, al invertir su colocación convencional se rebasan los límites climáticos, lo que obliga a costosos trabajos de aislamiento para dar respuesta a las, desde entonces, crecientes exigencias destinadas a evitar las pérdidas de calor en invierno. Por ello, esta tendencia apenas alcanza hoy repercusión alguna.

Entre ambos polos opuestos —donde las instalaciones pasan de asumir un significado como elementos de generación de la forma a constituir elementos necesariamente ocultos— se sitúan los conceptos en los que se amalgaman varias funciones: estructura portante, instalaciones y elementos constructivos. Resulta ejemplar en

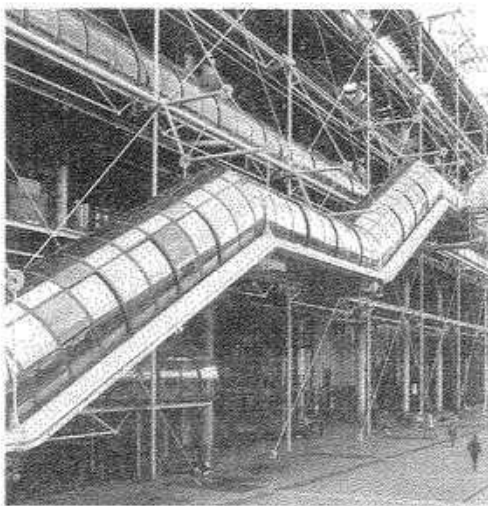


Fig. 22: Instalaciones vistas como motivo de carácter formal
Renzo Piano y Richard Rogers, Centre Georges Pompidou, París, Francia, 1971-1978

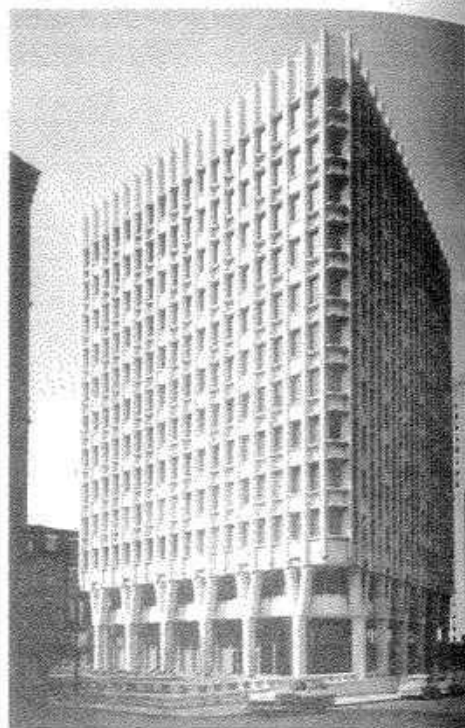


Fig. 23: Unión de estructura portante y canales verticales de instalaciones
Paul Rudolph con Anderson, Beckwith & Haible, edificio Blue-Cross, Boston
(Massachusetts), Estados Unidos, 1958

este sentido el proyecto Blue-Cross (1958) de Paul Rudolph y Anderson, Beckwith & Haible, un edificio de oficinas de trece plantas situado en el centro de Boston. Cuenta con una fachada portante cuya envoltura exterior vertical (colocada a 1,53 m de distancia) parece conformar la estructura portante. En realidad, los "pilares" no son estructurales. Cada tercer elemento de articulación de los montantes que componen la fachada es hueco y aloja en el interior del conjunto de la sección un canal de ventilación, ocupa la mitad de la profundidad de todo el montante y se antepone a los elementos estructurales adyacentes, que son muy pequeños. Junto con los antepechos, que hacen las veces de cámaras mixtas, las instalaciones de aireación se extienden como una red sobre la fachada, un concepto que se asemeja a los conductos vistos de una arquitectura *high tech*, pero con la diferencia de que aquí la superposición coincide con la estructura portante y con la espacial. El conducto de ventilación con forma de pilar sirve también de elemento de unión de las paredes de separación y de fijación de las ventanas. La fachada está constituida con elementos prefabricados de hormigón de pocos centímetros de grosor y que, por su puesta en obra, dan la impresión de conformar un revestimiento. Mientras que en las fachadas reticulares (suizas) de la década de 1950, el revestimiento colocado directamente por encima de la rasante supone un ennoblecimiento de la superficie exterior, en el edificio de Paul Rudolph configura un bastidor espacial. No obstante, cabe plantearse si la piedra artificial es el material

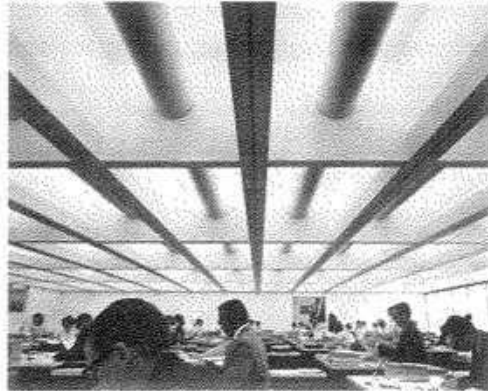


Fig. 27: Forjado libre de pilares con conductos de ventilación e iluminación entre las nervaduras
SOM, edificio de la American Republic Insurance Company, Des Moines (Iowa), Estados Unidos, 1965

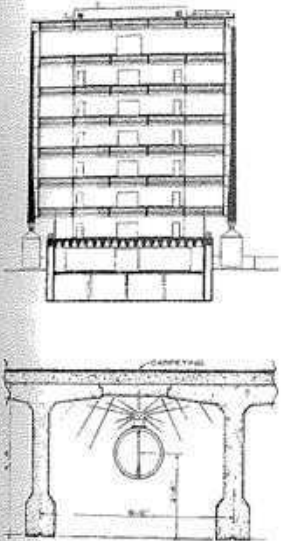


Fig. 24, 25, 26:
Arriba: fachada cerrada, estructurada según tramos horizontales que encierran las instalaciones
Centro: planta baja y sótanos como volúmenes autónomos
Abajo: detalle del forjado, escala aproximada 1:60
SOM, edificio de la American Republic Insurance Company, Des Moines (Iowa), Estados Unidos, 1965

más adecuado para dicho uso, pues los acodamientos de los antepechos recuerdan al pliegue de refuerzo de los paneles de chapa.

Si en el edificio de Rudolph, la estructura, las instalaciones y las ventanas constituyen una red que se tiende sobre los cuatro lados de la fachada, en el edificio de la American Republic Insurance Company de Skidmore Owing & Merrill (SOM) en Des Moines (Iowa, Estados Unidos), las fachadas se diferencian funcionalmente: las laterales, más largas, son ciegas y están compuestas por paneles de hormigón portante donde se alojan las instalaciones, en tanto que las frontales están acristaladas de suelo a techo. El tema de la construcción espacial, característica de la fachada, se repite en los forjados: con una altura de 1,36 m, las vigas en T de hormigón de 30 m de luz cubren la planta sin pilares. Las vigas conforman un relieve continuo de casetones, entre cuyos espacios se alojan los conductos de ventilación. Sobre esas tuberías se colocan tubos fluorescentes que emplean la superficie curva de los casetones como reflectores. Además de albergar las instalaciones, las fachadas ciegas sirven como revestimiento que, en su transición con el suelo, hacen posible su transformación en cuatro pilares. En sección, el edificio se muestra como un puente bajo el que se ha insertado un volumen de dos alturas, en una de cuyas plantas, acristalada en sus cuatro lados y liberada de elementos portantes, se halla la cafetería comedor. Se alude así al cambio estructural que, debido a exigencias espaciales tan diferentes entre la planta baja y las superiores, concierne a toda obra de cierta entidad.

Cambio estructural

Sobre todo en la ciudad histórica, los edificios monofuncionales presentan con frecuencia un uso distinto en planta baja. Las razones son evidentes: la relación directa con el espacio público facilita la implantación de actividades comerciales como tiendas, restaurantes y otras similares, e incluso hace posible en su interior el tráfico rodado (como, por ejemplo, en la estación de bomberos de

Zúrich). Muy ilustrativos son los pilares de hierro colado que sostienen los techos de vigas, tal y como aparecen en la planta baja de muchos edificios de finales del siglo XIX. Apenas somos conscientes de que se trata de un cambio estructural. La percepción de los sistemas constructivos "en forma de mesa" que marcan expresivamente el cambio operado en la estructura portante es distinta. Dentro de esta tendencia, resulta ejemplar la torre "zur Palme" de Haefeli Moser Steiger, en Zúrich (1961-1964). Las plantas en aspa del edificio descansan sobre una losa portante que se apoya en pilares cuneiformes de 12 m de altura. Bajo esta "mesa" gigante se introduce un edificio de dos plantas con estructura propia. En el Museu de Arte de São Paulo (MASP), Lina Bo Bardi recorre el camino inverso: las plantas no se elevan sobre pilares, sino que cuelgan de ellos. Al menos esa es la impresión que produce el marco de hormigón que, con una luz de 50 m, recorre todo el edificio. En realidad, dentro del volumen de vidrio se coloca otro par de vigas, de manera que tan sólo el piso más inferior está colgado realmente. De cualquier forma, toda la superficie situada bajo el edificio se configura como una plaza cubierta de uso libre.

El cambio estructural también puede tener lugar sin que se hagan visibles las condiciones estáticas, así lo demuestran edificios como la escuela Volta en Basilea, obra de Miller & Maranta. En los pisos superiores, la estructura de hormigón vertido in situ, diseñada conjuntamente con el estudio de ingeniería Conzett Bronzini Gartmann, está compuesta por paños verticales unidos sólidamente a las losas del forjado. Ambos elementos componen un armazón rígido que salva los 28 m del gimnasio y permite un vuelo de 12 m sobre la entrada. Las paredes portantes, que no atraviesan el edificio de fachada a fachada, se componen de dos partes separadas que descansan la una sobre la otra en cada piso. En un artículo, Jürg Conzett explicaba que basta "con que los paños de paredes superpuestos se toquen en un punto cualquiera".⁵ Este principio permite que las estructuras

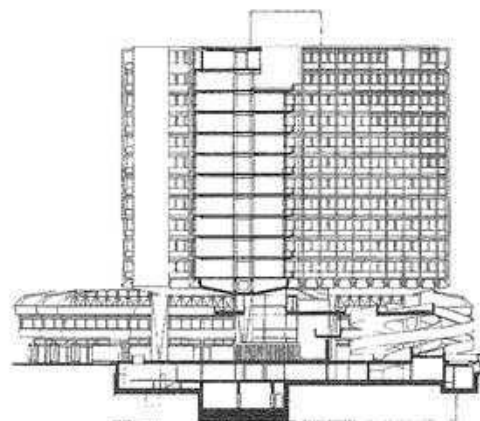


Fig. 28: Edificio con dos volúmenes distintos, uno alto y otro bajo, y estructuras independientes
Haefeli Moser Steiger, torre "zur Palme", Zúrich, Suiza, 1961-1964



Fig. 29, 30, 31: En el aparcamiento (abajo) los grandes pilares dibujan las aspas de la planta de la torre (centro). Arriba: vista del edificio Häfeli Moser Steiger, torre "zur Palme", Zürich, Suiza, 1961-1964

Notas

1. Bernoulli, Hans, "Von Alt werden der Häuser", en *Die Organische Erneuerung unserer Städte*, Basilea, Wepl, 1942; citado en Kölliker, Fredi (ed.), *Zehn der Zeit. Baukonstruktion im Kontext des Architektonischen Entwerfens*, Krammer, Basilea, 1994.
2. Meili, Marcel, "Dringlichkeit und klein", (conversación entre Marcel Meili, Hubertus Adam, J. Böckle y Judith Solt), en *archithese*, enero de 2003, pág. 7.
3. Banham, Reyner, "Die Architektur der wohlführenden Umwelt", en *ARCH*, febrero de 1968, pág. 36.
4. Frank Lloyd Wright (1910), citado en Banham, Reyner, op. cit., pág. 43.
5. Cenzatti, Jörg, "Raum halten", en *Werk, Bauen und Wohnen*, septiembre de 1997, págs. 34-39.

espaciales resultantes puedan cambiar en cada planta, pues, como sucede en la escuela Volta, sólo se concretan por el elemento añadido de paredes no portantes. Sería interesante investigar qué grado de flexibilidad se puede alcanzar con este sistema en las distintas fases de la construcción (antes de comenzarla, durante la misma o una vez concluida).

Alternativas

Ya se dijo al principio que es preciso aceptar la complejidad de los edificios contemporáneos. No cabe duda de que esta aseveración es cierta sólo en parte, pues en la tecnología aplicada a la construcción se imponen cada vez más los conceptos *low tech*, basados en conocimientos de siglos anteriores, retornados o reinterpretados nuevamente. El llamado efecto chimenea (térmico) que hoy se emplea en algunos edificios para permitir el intercambio natural de aire, ya se usaba en India en el siglo xv: el edificio se refrigeraba con patios interiores y una planta baja diáfana. En todo caso, se utilizaban efectos físicos con los espacios y los elementos de los edificios a construir. Las instalaciones no eran un añadido, sino una parte integrante de la estructura espacial y portante. En último lugar, y no por ello menos importante, el patio de luces, en cuanto caja dotada de más de una función manifiesta, sirve no sólo para iluminar, sino también para ventilar las estancias contiguas.

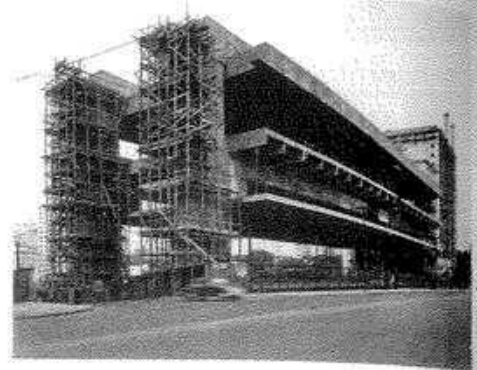


Fig. 33: Bastidores estructurales con forjados colgantes. Lina Bo Bardi, Museu de Arte de São Paulo (MASP), Brasil, 1957-1968

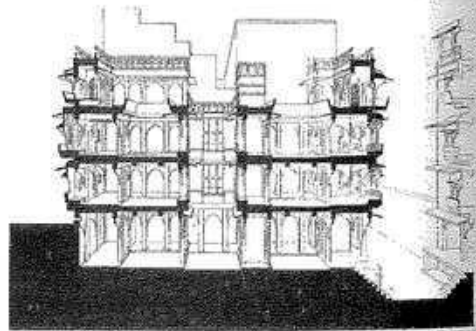


Fig. 34: Aprovechamiento del efecto chimenea; el aire fresco circula por la planta baja abierta y asciende al patio interior. Edificio residencial, Jaipur, India, siglo xv



Fig. 32: El cambio de la estructura se percibe tan sólo por el desplazamiento de las ventanas. Mitter & Maranta, escuela Volta, Basilea, Suiza, 1999

Edificio de viviendas en la Martinbergstrasse, Baden, Suiza

Burkard Meyer Architekten

Alois Diethelm

Situación y descripción

Esta urbanización ocupa la esquina sureste de un complejo fabril obsoleto, situado en el centro de Baden, conocido como Merker-Areal. Los tres bloques aislados, de los que en la primera fase tan sólo se han construido dos, reflejan la tipología originaria de los edificios individuales de principios del siglo xx situados a lo largo de la Martinbergstrasse.

Se accede a la entrada principal desde esta calle, por una pequeña explanada anterior delimitada por setos y muretes de hormigón. Para acentuar el carácter urbano de las viviendas, estos espacios libres privados se encuentran cercados y sus superficies revestidas de grava. La calle posterior permite el acceso a los garajes y al prado "Merker", una zona verde que, al igual que los dos edificios, forma parte del proyecto de reutilización de toda el área.

Desde el lado sur los dos bloques parecen aislados, mientras que en su cara norte ambos aparecen unidos (al quedar exento el piso bajo por la diferencia de nivel entre ambos lados). La colocación de aparcamientos bajo los edificios y de garajes cerrados en el espacio entre los bloques produce una inversión de la relación entre el volumen situado sobre el piso bajo y los espacios entre ellos. A pesar del cambio de material (de hormigón visto a ladrillo visto) se establece un vínculo formal entre el zócalo y las plantas de las viviendas.

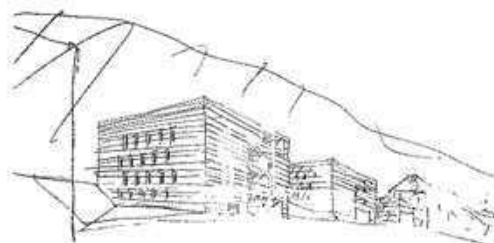


Fig. 36: Volúmenes sólidos en el contexto urbano
Croquis



Fig. 37: Plano de situación sin el tercer edificio
Distintas casas situadas frente a uno de los lados

Arquitectos: Burkard Meyer Architekten,
Baden
Ejecución: 1996-1999
Dirección de proyecto: Roger Casagrande
Alois Diethelm
Estructura: Minikus Witta Voss, Zürich

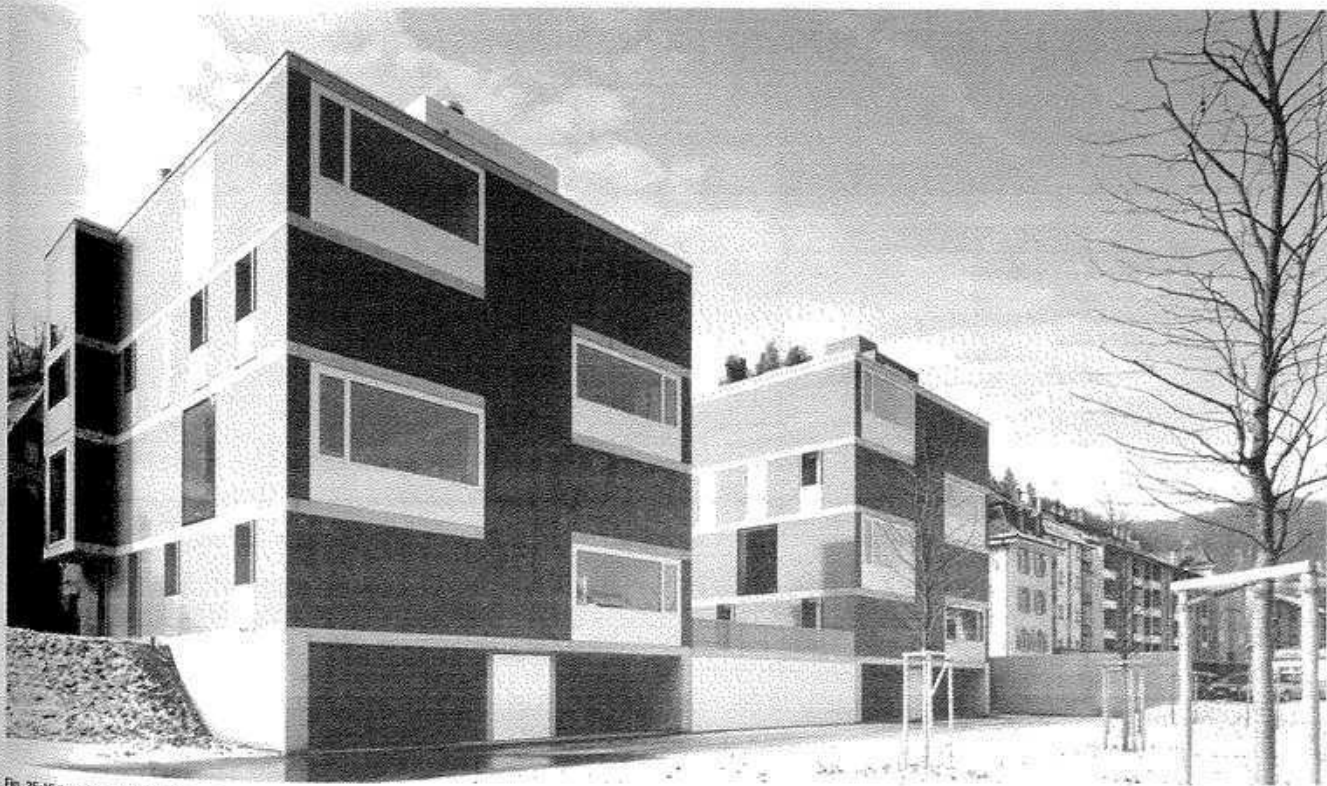


Fig. 35: Vista desde el prado "Merker"
La diferencia de nivel deja libre la planta del piso enterrado

Estructura espacial y estructura portante

A excepción del edificio A, cuya vivienda superior tiene planta y media, cada bloque consta de cuatro pisos que, organizados en torno a un núcleo central de comunicación vertical, ocupan toda la planta. Este núcleo divide los pisos en dos ámbitos; uno de dormitorios, con una altura de 2,46 m, y otro de estancia y comedor, cuya altura llega hasta los 3,06 m. La zona de estar, que discurre de fachada a fachada, alterna su posición en cada planta, a un lado y otro del núcleo central, con lo que aprovecha la altura menor correspondiente al espacio ocupado por los dormitorios situados en el piso inferior. Esta modificación de la altura en las diferentes plantas es legible en la fachada por el desplazamiento de los cantos vistos de los forjados, que no están alineados.

La zona de estancia de cada vivienda está precedida por una galería no calefactada pero que constituye un cierre climático de vidrio aislante en la fachada. Surge así un espacio diferenciado que en verano puede quedar abierto casi totalmente.

Los muros de fábrica de la fachada y el núcleo de hormigón conforman, junto con los forjados de hormigón, la estructura portante. El resto de las paredes están realizadas con paneles no portantes de cartón yeso.

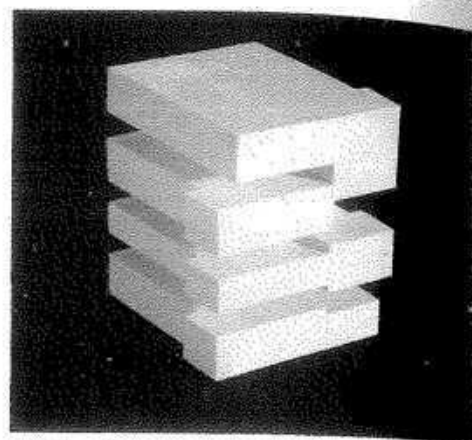


Fig. 40: Maqueta de madera
Modificación de las viviendas y configuración de las alturas interiores

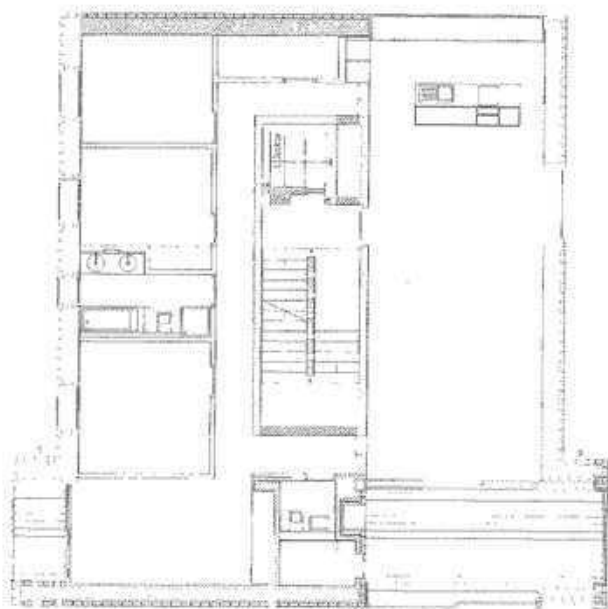


Fig. 38: Planta primera
La zona de estancia de la vivienda se extiende de fachada a fachada.

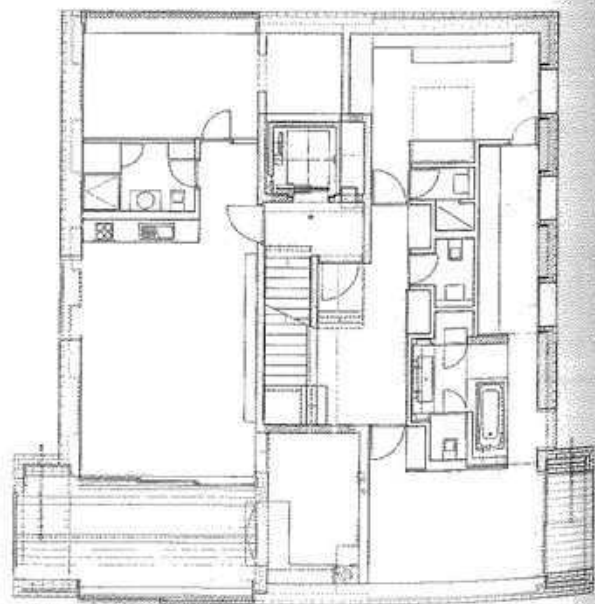


Fig. 39: Planta segunda
Una pequeña vivienda y un dúplex comparten la segunda planta



Fig. 41: Vivienda dúplex
Vista hacia la cocina, iluminación a través de un pequeño patio situado en la cubierta y de los lucernarios

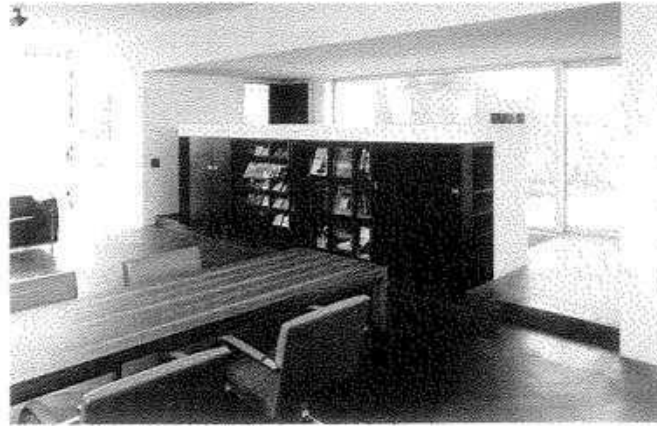


Fig. 42: Vivienda dúplex
Mueble de almacenaje como separador espacial, con el pequeño patio de cubierta al fondo

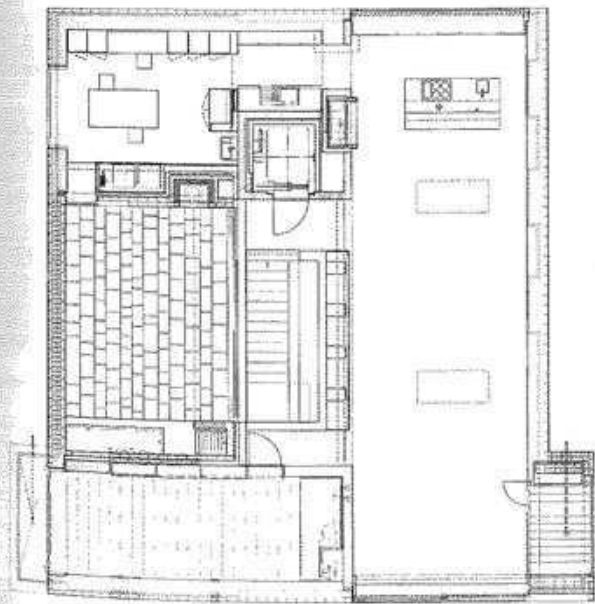


Fig. 43: Planta tercera
Salón sin galería

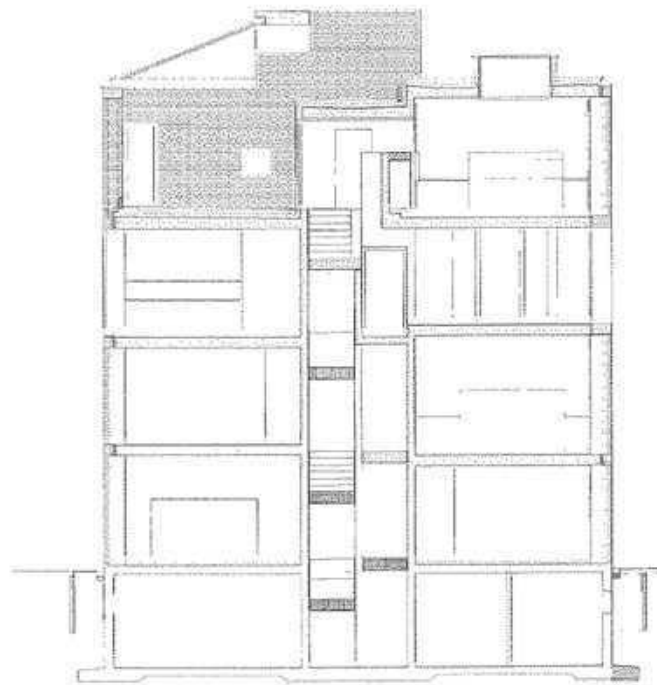


Fig. 44: Sección transversal
A través del pequeño patio de cubierta del dúplex

Huecos y estructura portante

El conjunto de huecos se compone de aberturas que determinan la configuración del espacio y de otras que, en resumen, se establecen según las necesidades del comprador. La altura, de suelo a techo, es común a ambos grupos.

Al primer grupo pertenecen los huecos de las fachadas norte y sur —concebidos como una proyección de la zona de estar— que, con su inversión, reflejan el principio de la alternancia de las plantas. En los forjados, las luces de 4,6 m alcanzan el límite de lo posible, pues el muro portante de fábrica está realizado con Optitherm, un material que por su porosidad presenta menor resistencia a compresión que el ladrillo normal.

Al segundo grupo pertenecen los huecos que se encuentran en los frentes este y oeste, donde alternan, por planta, huecos totalmente acristalados enrasados con la fachada exterior y con balcones. Extendiéndose entre cada piso, los huecos convierten la obra de fábrica en paredes aligeradas que, gracias al reparto de cargas realizado en los elementos del forjado, tienen un comportamiento estructural prácticamente independiente. Desde el punto de vista del proyecto, esto hizo posible la libre situación de las ventanas hasta poco antes de comenzar la obra.

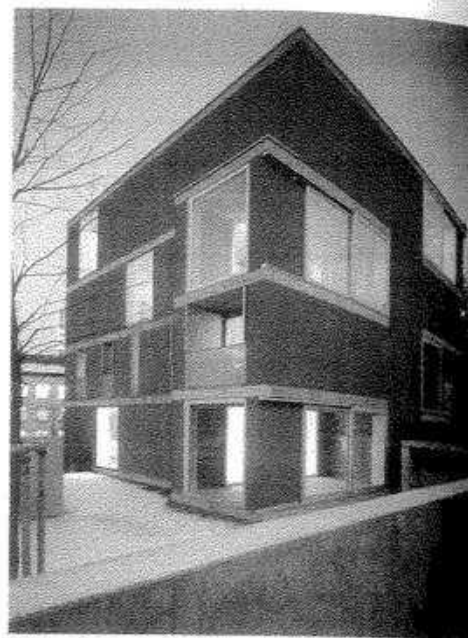


Fig. 45: Vista exterior del edificio A
En primer plano, la cerca del jardín a lo largo de la Martinbergstrasse

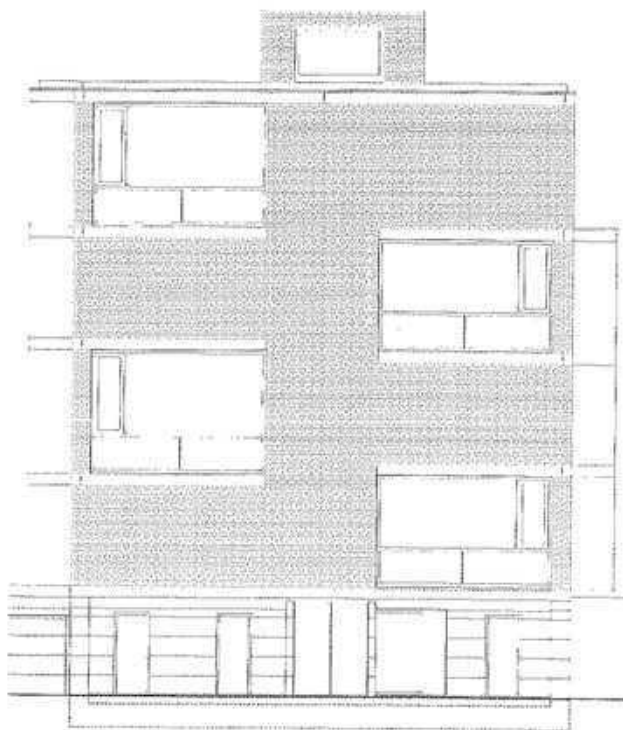


Fig. 46: Fachada norte

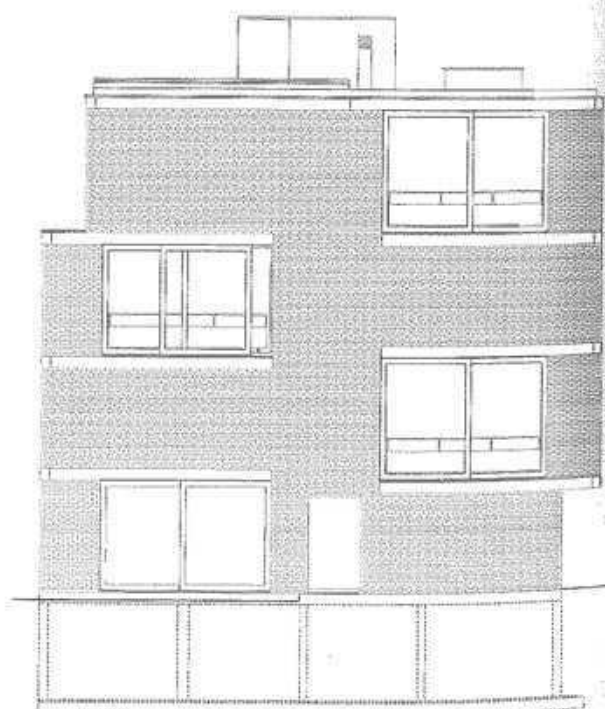


Fig. 47: Fachada sur

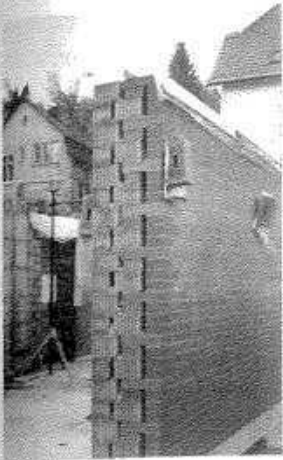


Fig. 48: Muro de la planta baja en la zona donde se colocará la ventana enrasada "Exteriorización" de la trabazón del muro

Construcción y carácter arquitectónico I

El muro de fábrica se basa en una combinación de bloques Optitherm y Kelesto, desarrollada por los arquitectos y empleada por vez primera en la escuela Brühl de Gebenstorf. La estructura constructiva del muro se compone de la unión compacta de 40 cm de piezas pétreas Optitherm (bloques aislantes) y de 12 cm de Kelesto (ladrillo visto cocido por debajo de la temperatura de sinterización). Ambos muros de fábrica, erigidos simultáneamente, se traban cada cuatro hileras de ladrillo por medio de una hilera que los une, conformando un elemento murario inseparable que no tiene necesidad de un mayor aislamiento térmico ($0,38 \text{ W/m}^2\text{K}$). Las cámaras de aire que quedan entre los bloques no tienen aislamiento. A las ventajas climáticas de una construcción maciza se añade la de no precisar una junta de dilatación gracias al ensamble de los dos muros de fábrica (a diferencia de los muros dobles convencionales con aislante intermedio). El carácter plástico del edificio, que no presenta interrupciones en los ángulos ni en el centro de las fachadas, se debe esencialmente a esta componente.

Atendiendo a la física aplicada a la construcción, la elección del tipo de ladrillo visto y de sus juntas es idónea para garantizar la eliminación del vapor y la estanquidad frente a las intensas lluvias. Las juntas exteriores de mortero se condensaron por lo tanto durante la construcción con hornillos eléctricos, ya que el agua infiltrada a causa de la no existencia de una capa de ventilación intermedia no puede eliminarse. Rematar las juntas con la paleta de albañil era impensable. Asimismo, el ladrillo visto no es capaz de ofrecer gran resistencia a la difusión del vapor, dado que la capa interior de Optitherm es muy porosa, y emplear piezas de clínker habría dado como resultado la construcción de un muro demasiado grueso.

Con relación a la elasticidad, los muros de Optitherm son blandos, de modo que no debe aplicarse un revoco interior de cemento puro, sino uno de base más duro (de cal hidráulica y cemento), o un revoco ligero. Por lo general, las piezas de los bloques Optitherm se ejecutan con un mortero ligero que, debido a la arena de arcilla expandida empleada, presenta mejores propiedades aislantes aunque menor resistencia. Como en este caso no era apropiado utilizar un mortero ligero en la obra de fábrica vista (a causa de una mayor infiltración del agua) y con el fin de conseguir el mismo comportamiento estático, se optó por aplicar, tanto en las piezas Optitherm como en la de Kelesto, un mortero de obra de fábrica visto.

La ejecución exige un gran cuidado para mantener seca la fábrica durante su construcción, pues, debido a la porosidad (retención del calor) de las piezas Optitherm, absorbe el agua con rapidez. En consecuencia, durante los primeros periodos de calefacción del edificio, la humedad contenida en el muro se desplaza al exterior y disuelve la cal de los bloques, apareciendo eflorescencias al exterior. La lluvia lava estas excrecencias. En una obra posterior con un muro de fábrica idéntico, Burkard Meyer Architekten emplearon ladrillos Kelesto impregnados, para impedir que aparezcan eflorescencias en la superficie.

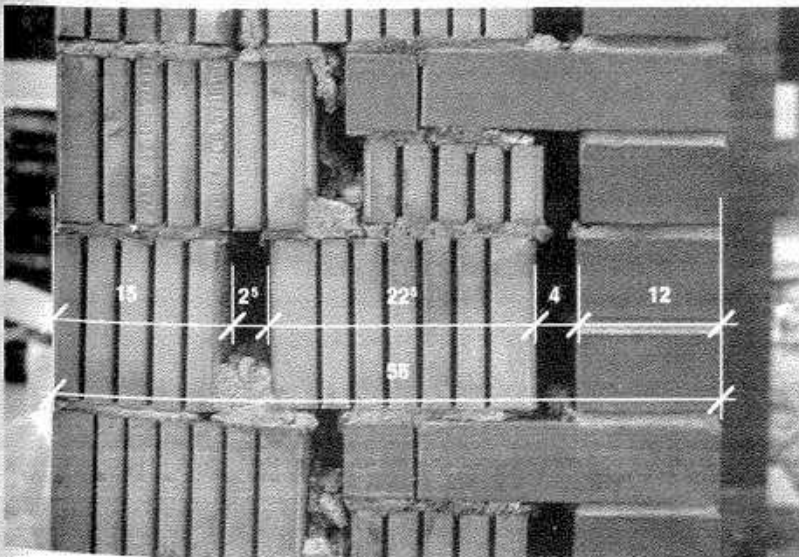


Fig. 49: Detalle
Combinación del muro de fábrica visto compuesto de piezas Optitherm y Kelesto

Construcción y carácter arquitectónico II

Los cantos vistos de los forjados de la fachada son elementos prefabricados de hormigón que, por lo general, descansan sobre la mitad exterior de la sección del muro de fábrica. En la formación del dintel y el alféizar de los balcones se duplican respecto a la sección del muro, extendiéndose hacia el interior para ajustarse a todo el grosor del mismo.

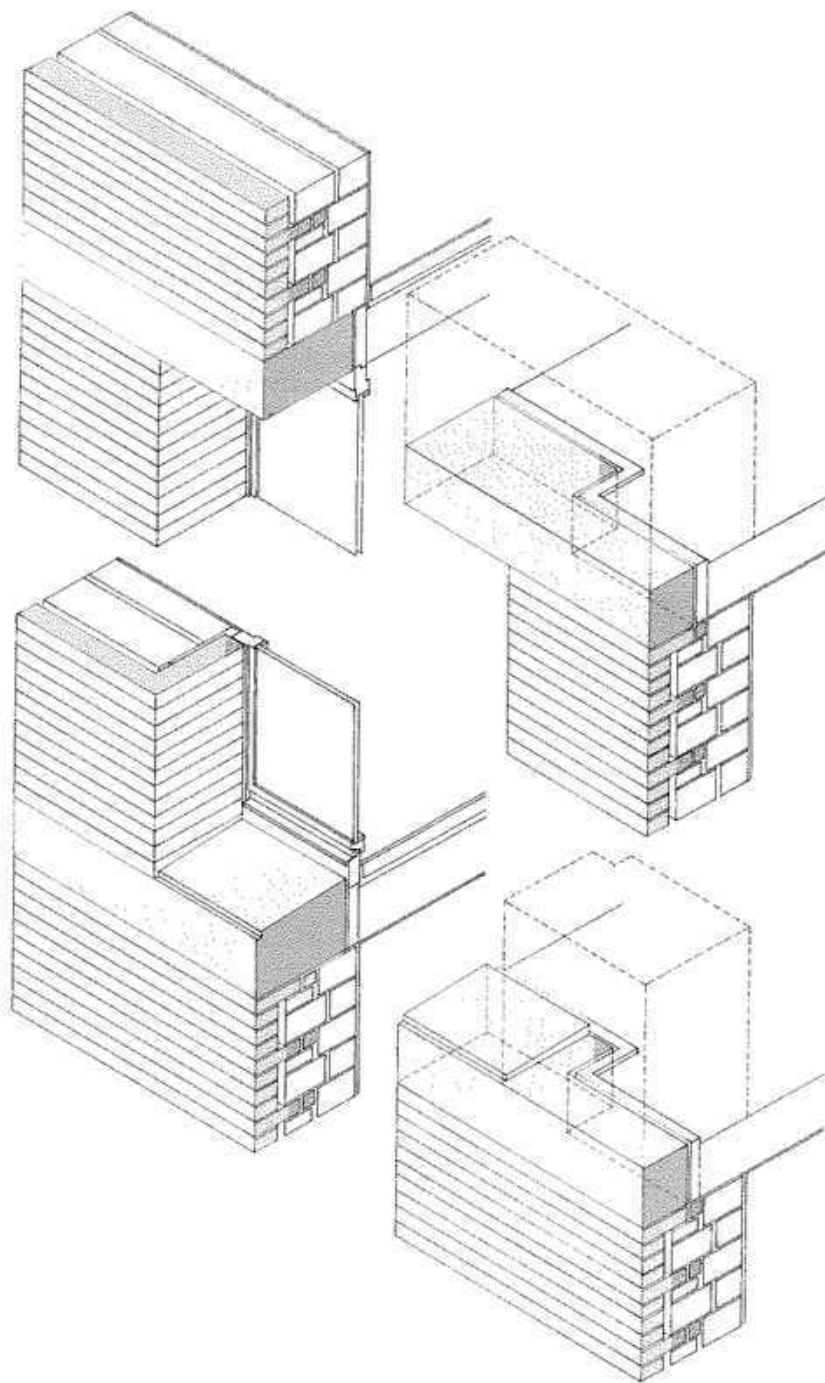


Fig. 50: Axonometría
"Duplicación" de los cantos de forjado en la zona de las ventanas

Si en la fase de proyecto esta concepción ofrece una libertad casi ilimitada a la hora de situar los huecos, durante la construcción sucede justo lo contrario. Que los dinteles realizados en hormigón aparezcan a la vista en toda la profundidad del muro de fábrica y que la colocación de los huecos sea libre, produce como resultado la aparición de pocos elementos repetidos. La prefabricación no se ha elegido en este caso por su racionalidad, sino por las expectativas de una mejor calidad de las superficies.

En la obra, las piezas de hormigón sirvieron de encofrado perdido que, gracias a su relativo gran peso propio, no precisaron fijación adicional. Entre el aislante de poliestireno extruido, colocado en el canto de la losa, y los elementos de hormigón se ha dejado un hueco de 1 cm para permitir que el forjado trabaje con independencia de éstos. Durante el vertido del hormigón esta distancia se mantuvo con separadores que fueron retirados posteriormente.

Los elementos de hormigón están separados de los muros de fábrica superior e inferior con una lámina de polietileno, por lo que pueden trabajar independientemente. Las juntas están selladas con la masilla correspondiente.

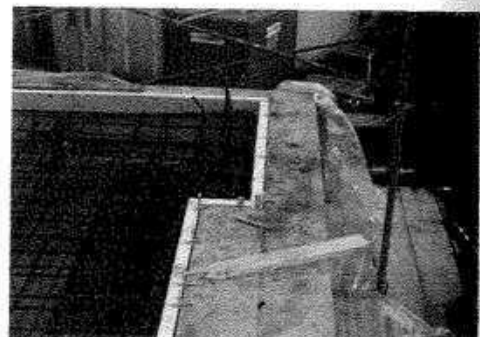


Fig. 51: Detalle del encofrado
El elemento que configura el canto de forjado actúa como encofrado; los separadores aseguran la distancia entre los elementos de hormigón y el aislante

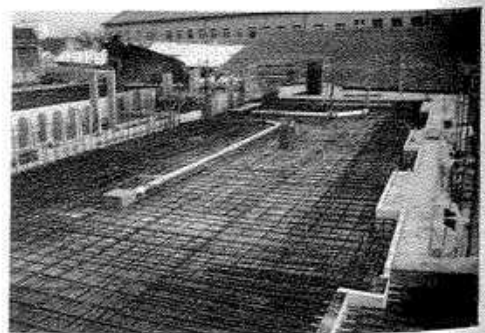


Fig. 52: Forjado sobre la planta baja
Los retranqueos de los elementos prefabricados de hormigón indican la posición de los balcones

Construcción y carácter arquitectónico: los balcones

La ventana está colocada a haces interiores y, por lo poco expuesto de su situación, ha sido realizada con madera pintada. Una malla metálica de protección de aluminio anodizado y enrasada al exterior, hace las veces de barandilla en la parte inferior de los huecos. Dos contraventanas, situadas en la parte superior, móviles y que se pueden girar hacia dentro, proporcionan protección visual. Entre la malla metálica y la ventana se crea un espacio que, como la veranda, constituye una zona de paso donde poder fumar un cigarrillo o ventilar ropa a resguardo de la lluvia. Con la colocación de las contraventanas, la fachada adquiere un carácter absolutamente plano y sin profundidad alguna, o bien dotado de la plasticidad que le proporciona toda la profundidad del muro de fábrica.

Para la ejecución del intradós se han empleado piezas Kelesto, que tiene una capacidad aislante mucho menor que el muro de fábrica Optitherm. Por tanto, el montaje de las ventanas sobre las piezas Kelesto ha obligado a la colocación de una banda aislante de poliestireno extruido entre las dos partes del muro.

Cantos de forjado

- Elemento prefabricado de hormigón 5.000 x 230/340 mm
- Vierendeles de aluminio anodizado, d = 3 mm, pegado al elemento de hormigón liso; cantado en el encuentro con la obra de fábrica del intradós
- Malla de aluminio encajada en un marco de acero esmaltado al fuego y colocada al mismo nivel que el pavimento interior

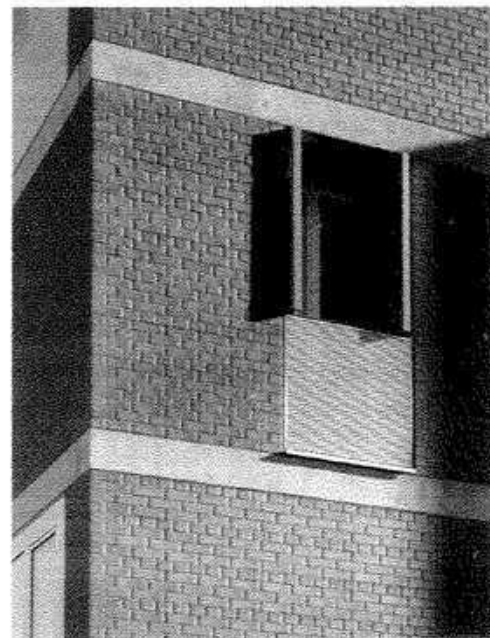


Fig. 55: Detalle
Malla de protección climática como antepecho y contraventanas

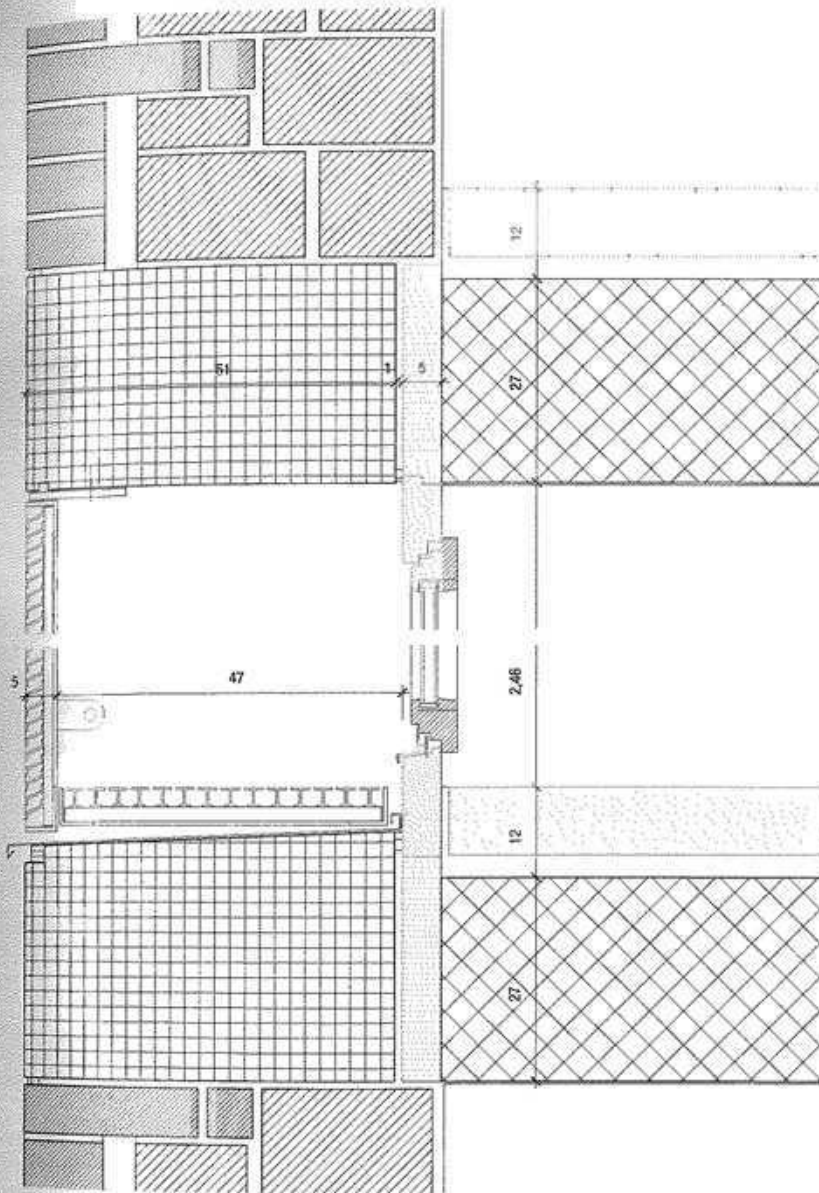


Fig. 53: Sección 1:10

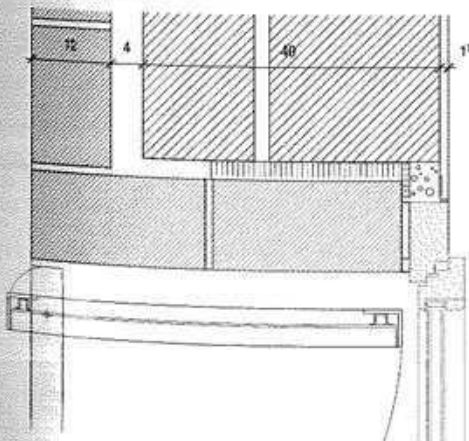


Fig. 54: Planta 1:10

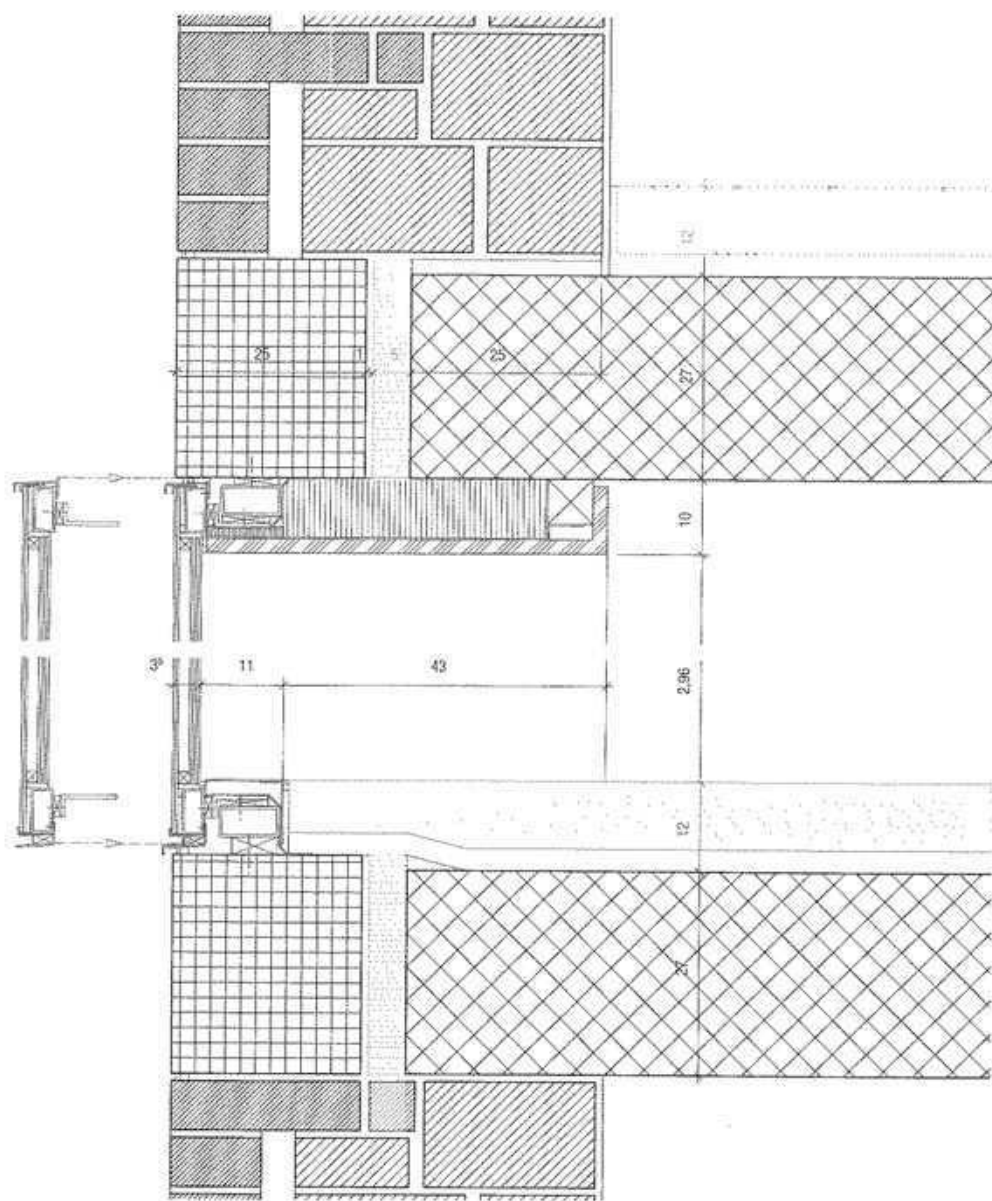


Fig. 56: Sección 1:10

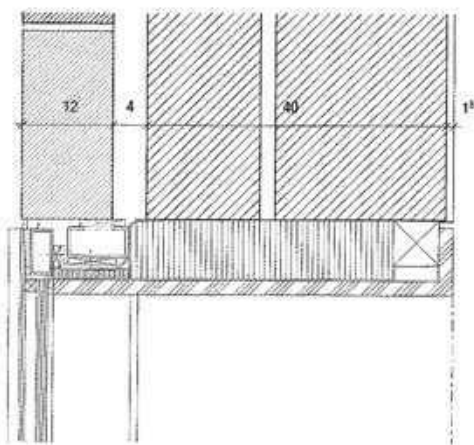


Fig. 57: Planta 1:10

Construcción y carácter arquitectónico: la ventana totalmente acristalada

Las ventanas enrasadas exteriormente permiten experimentar en el interior toda la profundidad del muro y proporcionan, gracias al ensamblaje de las piezas Kiebo, una fachada lisa, dotada de un brillo muy abstracto, una característica que, junto al escalonamiento del vidrio—y por tanto, sin marcos visibles— se acentúa aún más.

El vidrio interior es de seguridad, lo que permite prescindir de una barandilla protectora que hubiera interferido en la relación establecida con el espacio exterior.

El revestimiento del intradós y del dintel oculta tanto los elementos constructivos de la ventana como el aislante.

Ventana

- Vidrio aislante pegado sobre un marco de aluminio (vidrio estructural instalado en taller)
- Perfiles de sujeción superior e inferior como seguridad mecánica suplementaria
- La ventana se monta sobre un bastidor de acero colocado previamente

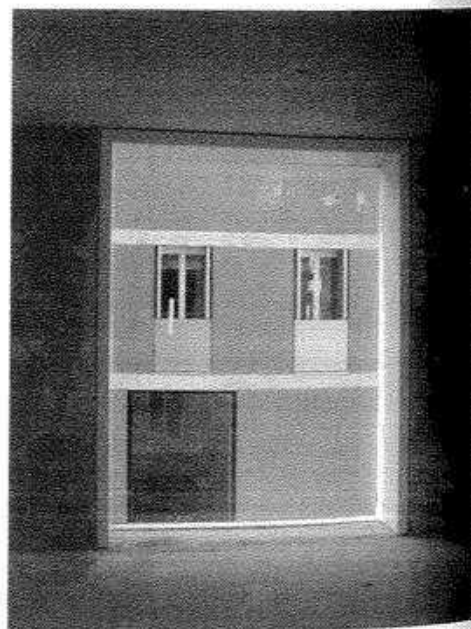


Fig. 58: Imagen interior del hueco totalmente acristalado
El grosor del muro se percibe interiormente por la profundidad del intradós

Construcción y carácter arquitectónico: la ventana corredera

Por su exposición a la intemperie, la carpintería de estas ventanas se ha realizado con madera y metal. Dado que las dos hojas abiertas pueden superponerse sobre el muro, la superficie acristalada es susceptible de abrirse en casi toda su dimensión. De este modo, la veranda, que en invierno y en las estaciones intermedias actúa como un ámbito de compensación climática, en verano se convierte en una terraza.

Gracias a la reducción del marco exterior de la carpintería a sólo dos railes (superior e inferior) —algo, por lo demás, suficiente en las ventanas correderas tradicionales— la fachada adquiere una gran plasticidad en esa zona, con la gradación de ventanas y paños de obra de fábrica que, de lo contrario, sólo se conseguiría con la modulación de los volúmenes constructivos.

El deseo de realizar la cara interior de los muros también con ladrillo visto y de reducir su grosor para alojar los railes, llevó a la utilización parcial de un muro de fábrica de dos hojas.

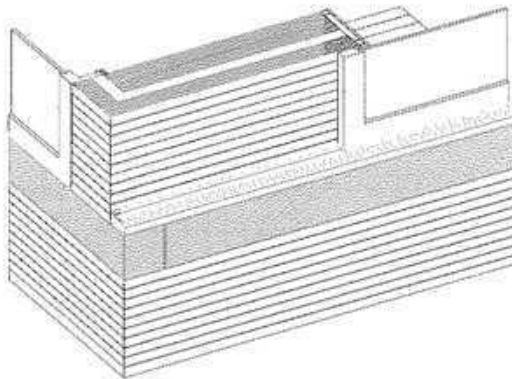


Fig. 59: Axonometría de las ventanas correderas
Muro convencional de dos capas tras las ventanas correderas y muro combinado de obra de fábrica en el resto del edificio.

Construcción del forjado interior

Pavimento	10 mm
Mortero de nivelación	80 mm
Aislamiento contra el ruido de impacto	30 mm
Aislante térmico de poliuretano	50 mm
Losa de hormigón armado	240 mm

Frente de forjado

Elemento prefabricado de hormigón	120/290 mm
Ancilaje Omega	
Aislante térmico de poliestireno extruido	50 mm

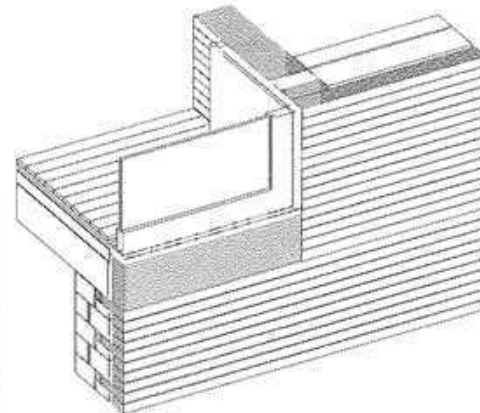


Fig. 60: Construcción del forjado en la veranda
Tablas de madera (abeto Douglas) 27 mm
Esterilla de caucho triturado pegado al aislante térmico inferior (para estabilizar)
Aislante térmico de poliestireno extruido 150-300 mm
Dos capas de impermeabilizante bituminoso
Losa de hormigón en pendiente 220-240 mm

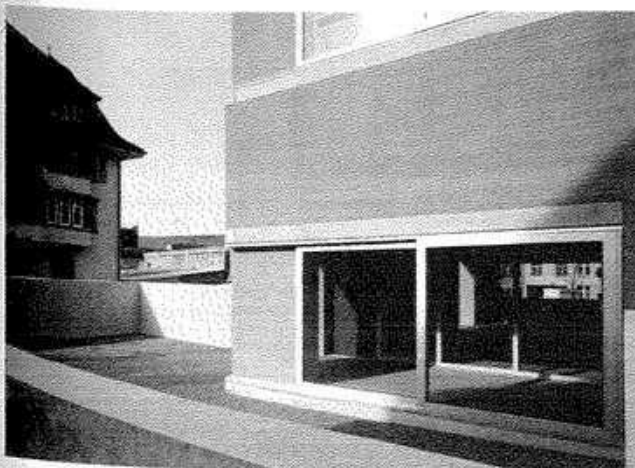


Fig. 61: Veranda de la planta baja
Gradación de la profundidad con el escalonamiento de puertas correderas y muro

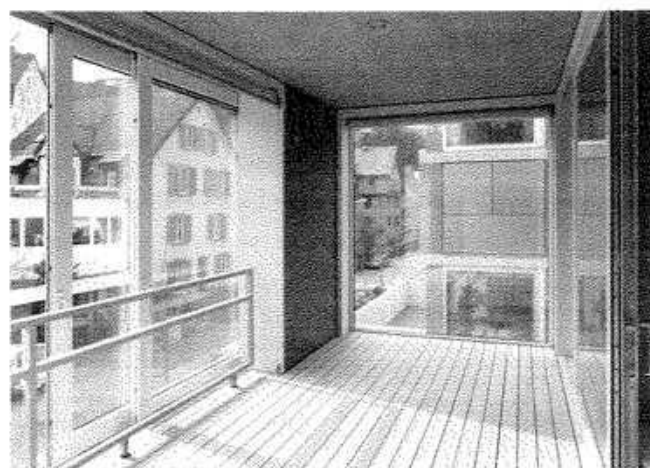


Fig. 62: Veranda
Zona intermedia sin calefacción como adaptación del salón y el balcón

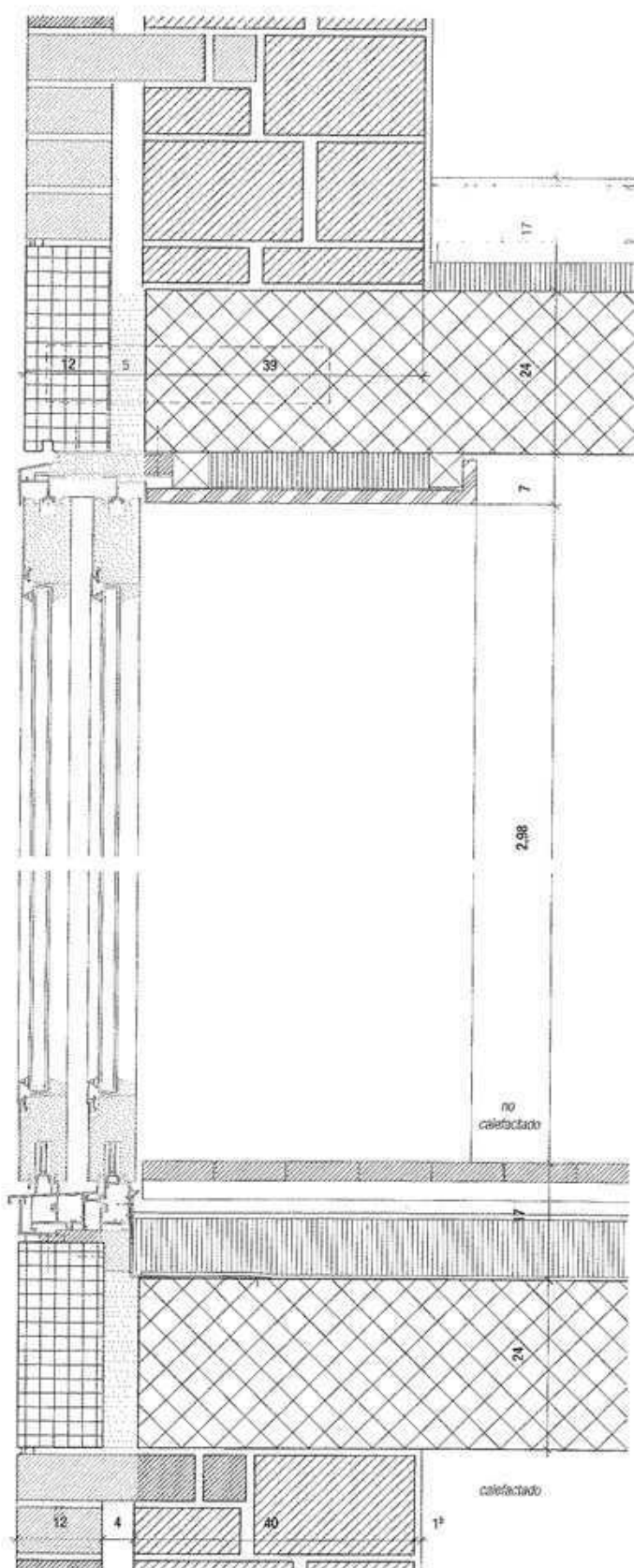


Fig. 63: Sección 1:10

Los elementos que cubren el frente de forjado en la zona de las puertas correderas se sujetan con un anclaje Omega.

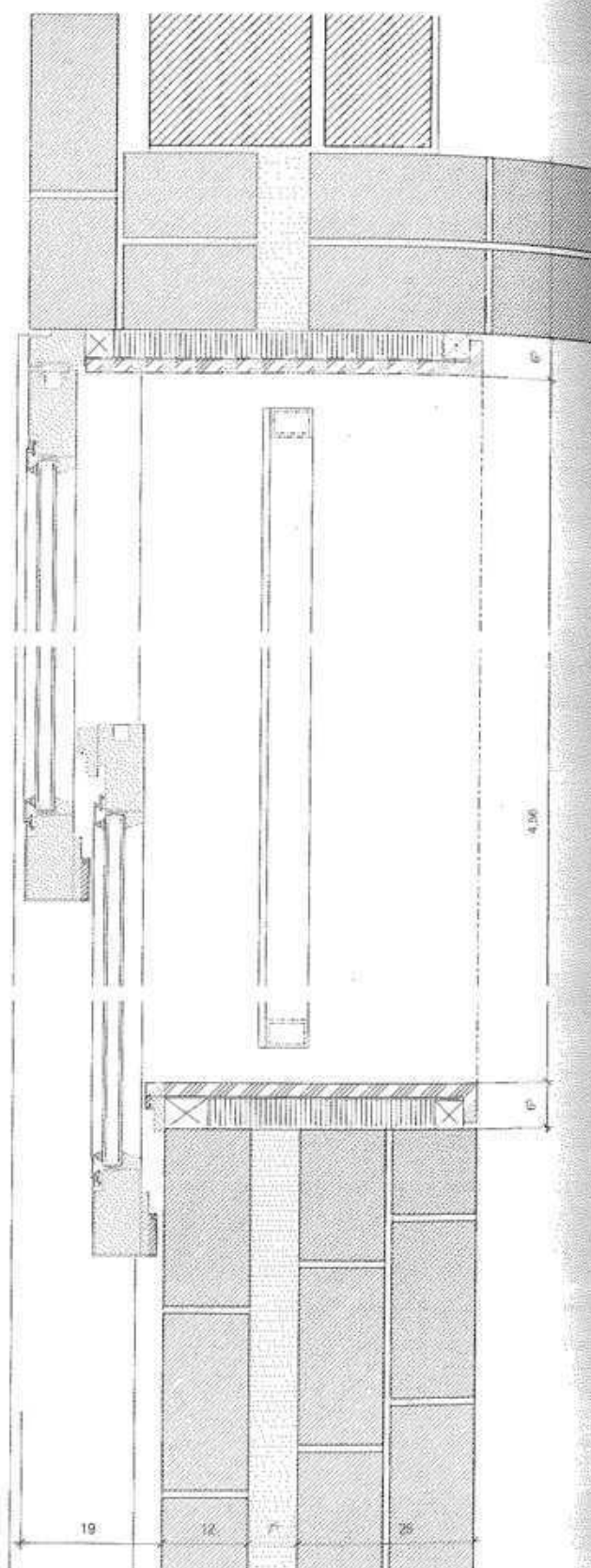


Fig. 64: Planta 1:10

Los rieles de las puertas correderas no se colocan en un bastidor.

Galería de arte contemporáneo, Marktoberdorf, Alemania

Bearth & Deplazes

Katharina Stehrenberger

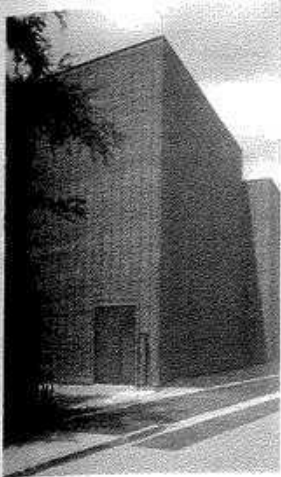


Fig. 65: Vista desde el norte

Situación y descripción

En el centro de Marktoberdorf —una localidad de la región alemana del Algäu—, situada entre el ayuntamiento y algunas villas de la década de 1920, se encuentra la fundación para el arte del doctor Geiger. Este edificio multifuncional puede emplearse tanto para exposiciones temporales como para la presentación de la propia colección y como taller. A pesar de que el edificio se adapta a la estructura típica de edificios aislados de Marktoberdorf, su configuración cúbica le hace destacar de las casas que le rodean. La composición, que integra la vivienda del creador de la fundación, persigue una lógica interna y, a la vez, el aprovechamiento máximo de la parcela. Un jardín de esculturas cuadrado y rodeado de muros que, dentro del conjunto, es un espacio libre que constituye un antepatio de acceso, se convierte así en su espacio central. El edificio se compone de dos cubos contiguos escalonados, con un ligero desplazamiento lateral y nitidamente conformados, con una superficie en planta de 10 x 10 m y realizados con ladrillo visto. La particularidad del proyecto radica en el revestimiento compacto de fábrica de ladrillo clinker, de color pardo rojizo con juntas enrasadas. Este muro de obra fábrica vista también interiormente, confiere al edificio su carácter de taller artístico, expresa la idea de una galería viva y lo diferencia así claramente del espacio neutro con que habitualmente se configuran los establecimientos de esta índole.



Fig. 67: Plano de situación 1:2500

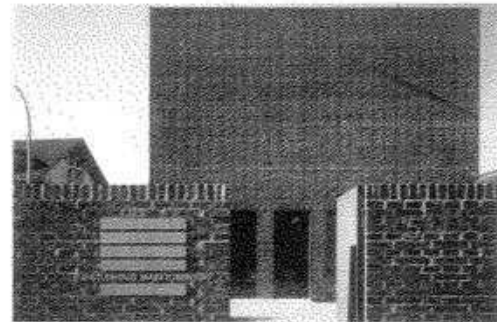


Fig. 68: Acceso principal con el antepatio

Arquitectos: Bearth + Deplazes, Chur
Realización: 1998-2000
Arquitecta-directora: Bettina Werner
Cálculo de estructuras: Jürg Buchli, Haldenstein

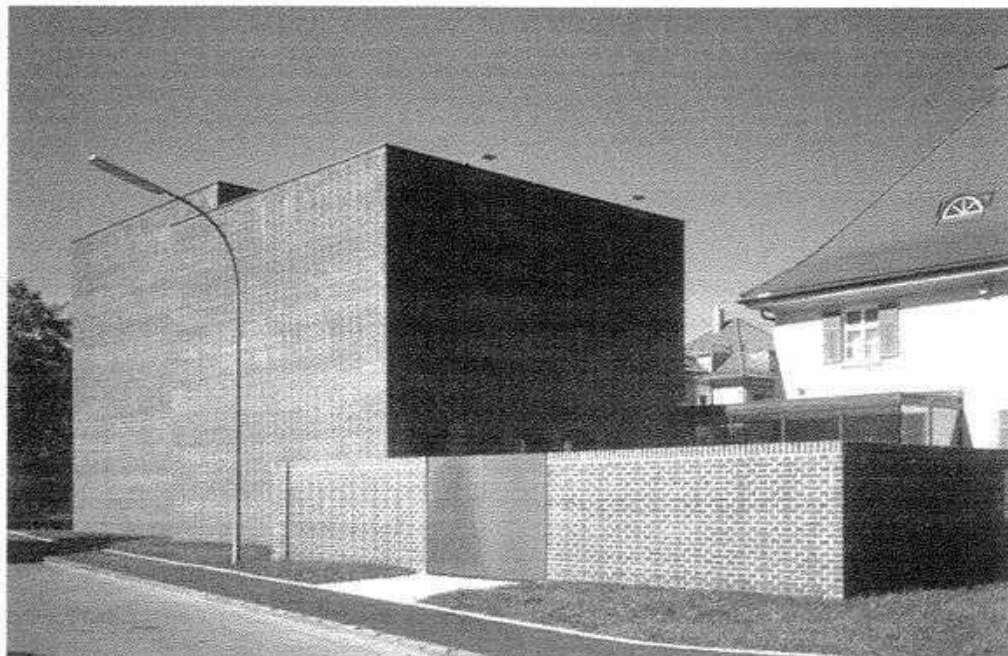


Fig. 66: Vista desde el ayuntamiento

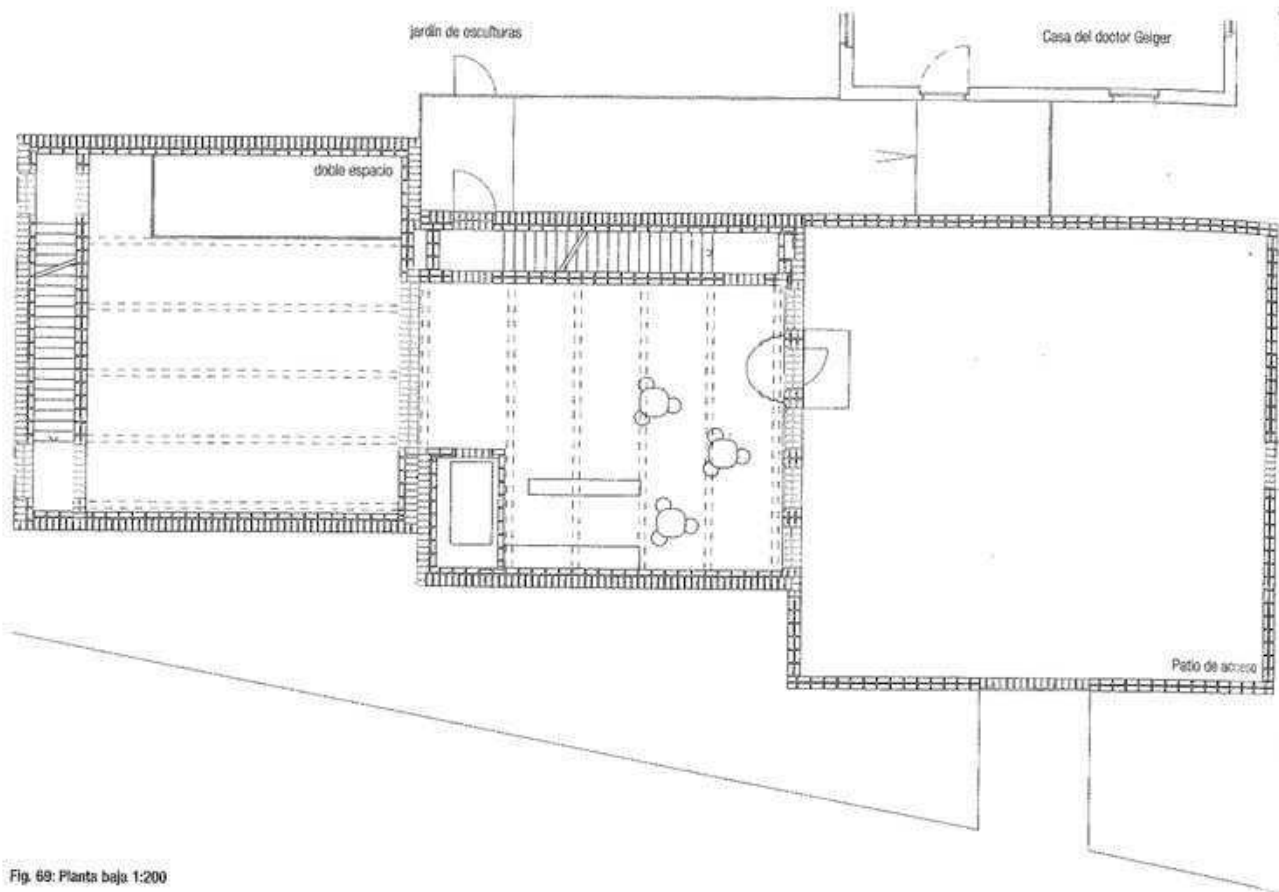


Fig. 69: Planta baja 1:200

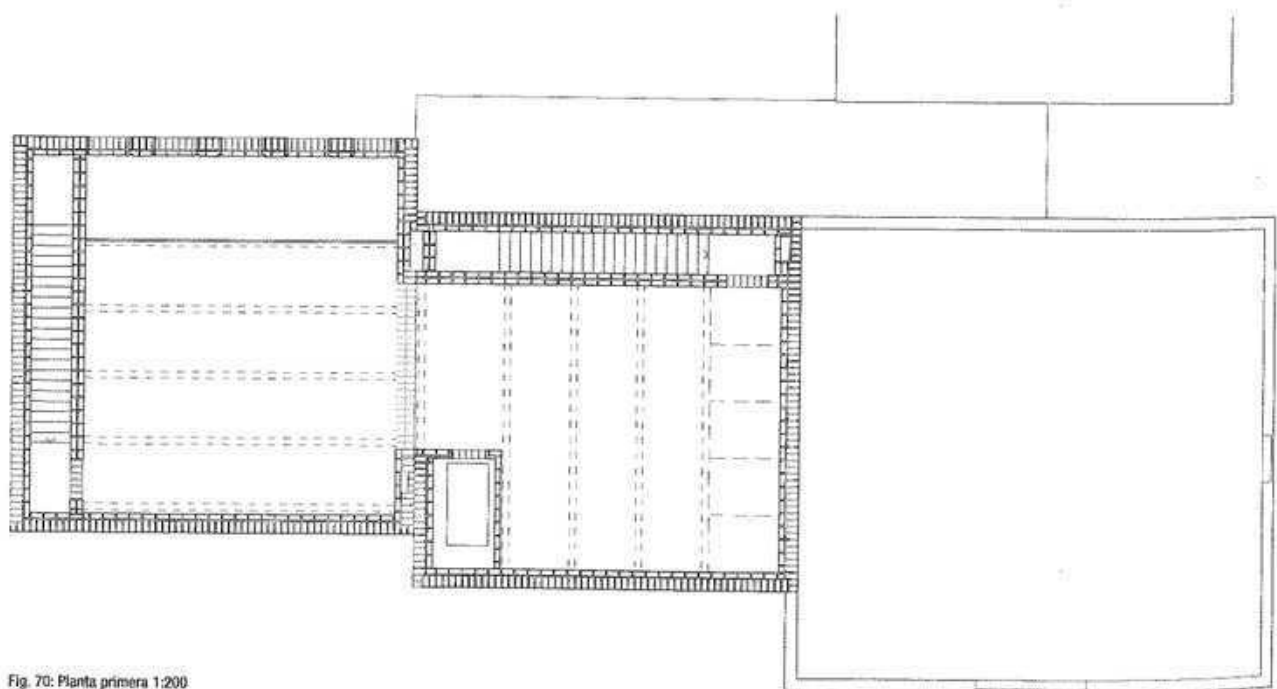


Fig. 70: Planta primera 1:200

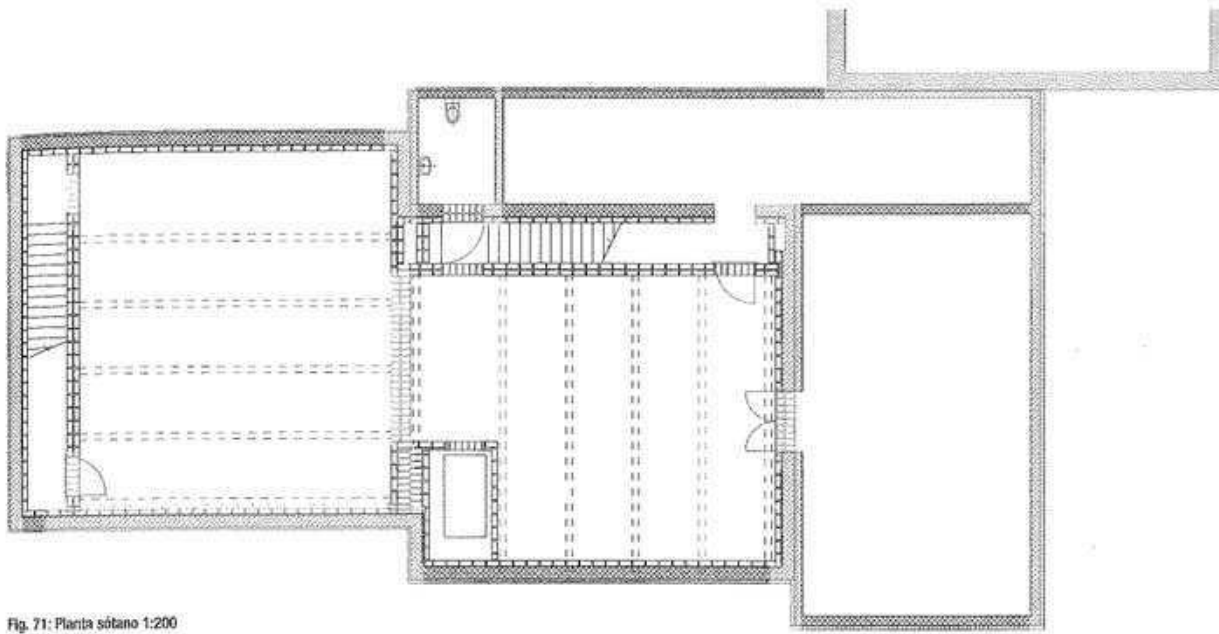


Fig. 71: Planta sótano 1:200

Estructura portante

Desde el punto de vista tipológico, la galería está compuesta por dos volúmenes cuadrados idénticos y adosados entre sí con un ligero retranqueo; las estructuras respectivas están giradas 90°. El cosido entre ambos volúmenes se deja ver en el cambio de la dirección de las vigas y en la duplicación de los muros. Renunciando conscientemente a un núcleo o a paredes divisorias, la estructura espacial, oculta tras la envoltura de la fábrica de ladrillo, apuesta por la libre disposición de la superficie para exposiciones. A fin de conseguir el mayor vínculo posible entre las áreas de exposiciones, las escaleras y las cajas de instalaciones se alojan en el interior de los muros. En principio, podemos decir que este edificio establece un juego armónico entre la envoltura autoportante y el forjado intermedio de vigas de acero. El suelo está conformado por un pavimento macizo y el tejado se ha concebido como el forjado intermedio; ambos constituyen consecuentemente el cierre inferior y superior de la envoltura de ladrillo.

La cimentación está configurada como un cajón revestido de clinker y anclado en el terreno. De ahí que el edificio produzca la impresión de un volumen hundido en el suelo. Sobre esa cimentación, la envoltura maciza de ladrillo constituye la auténtica piel del edificio. El muro de fábrica presenta, como todos los formados por ladrillo y mortero, gran resistencia a compresión y poca a tracción. La capacidad portante surge de la acción conjunta de los dos materiales en las tres dimensiones. El piso intermedio es de tableros de pino con un grosor mínimo y se adapta verticalmente al contenedor espacial sin da-

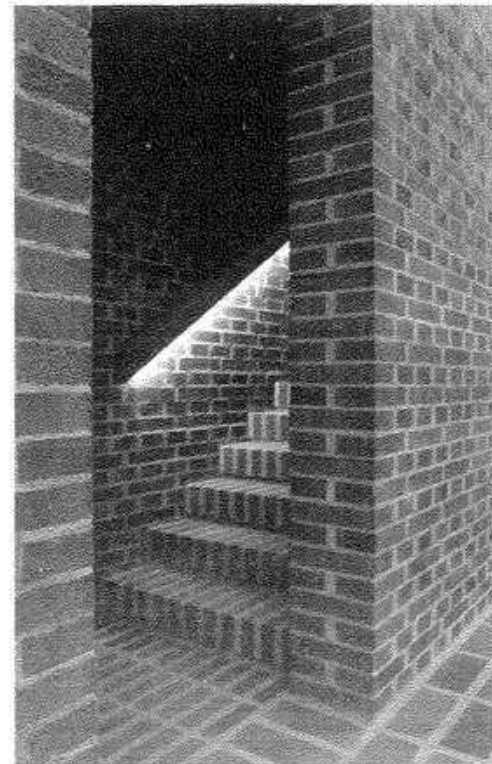


Fig. 72: Doble muro

ñar la envoltura de la obra. Por ello, los muros de fábrica conservan también exteriormente su carácter con independencia de la configuración de los forjados.

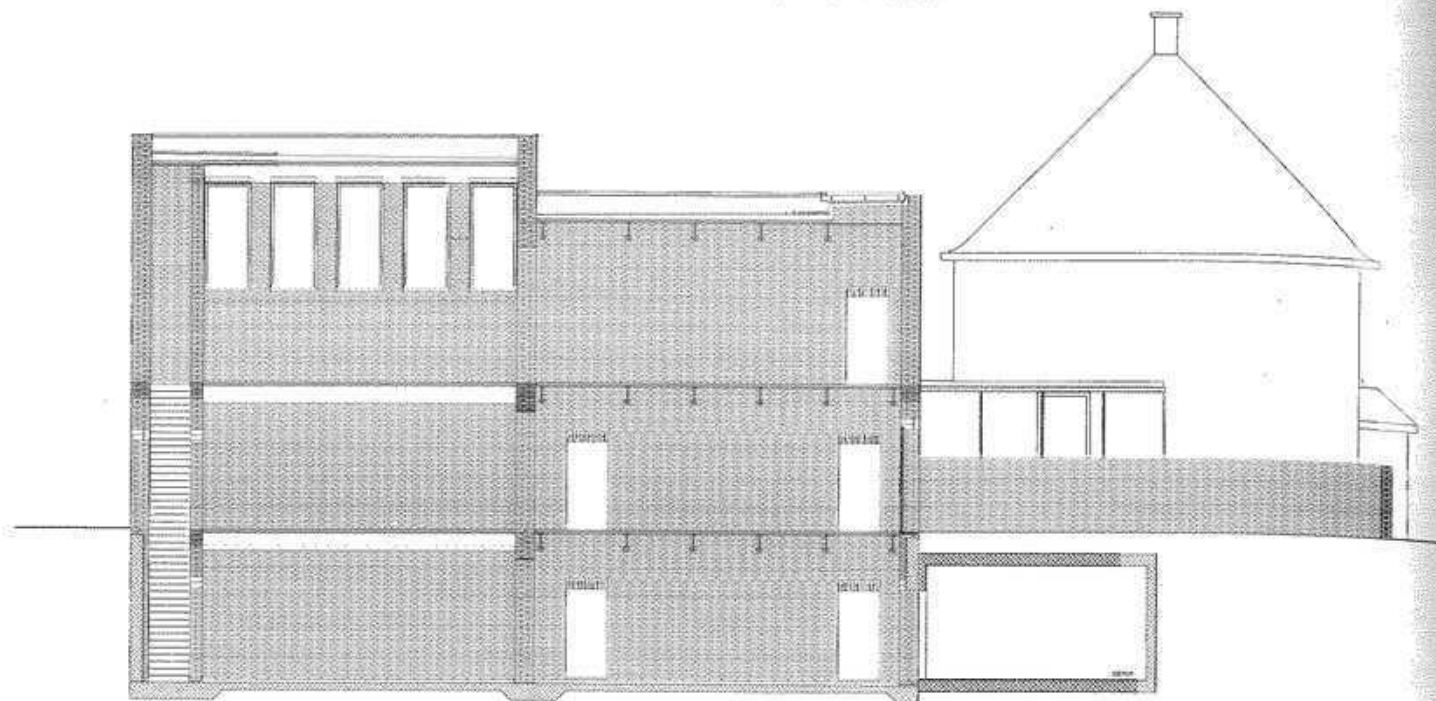
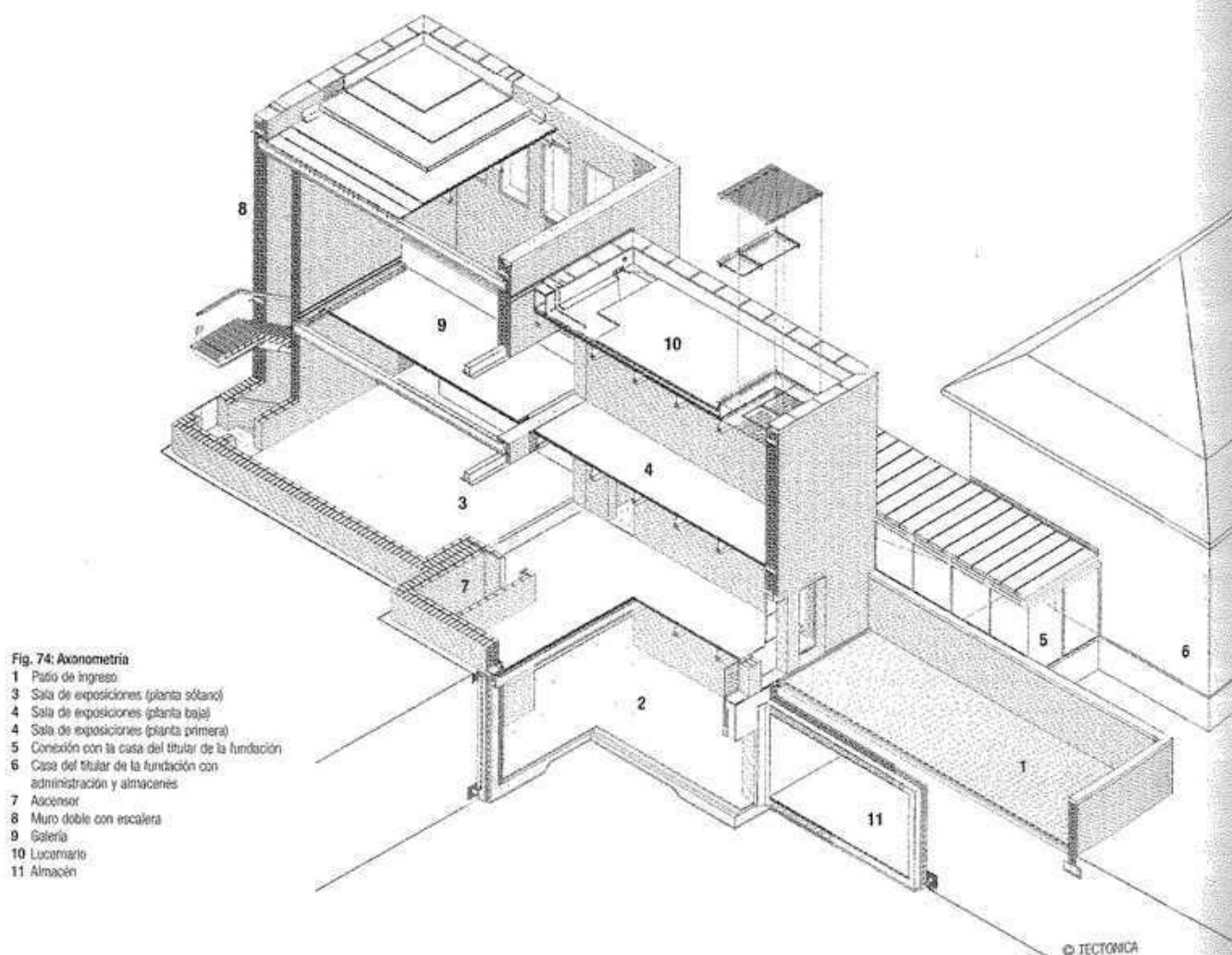
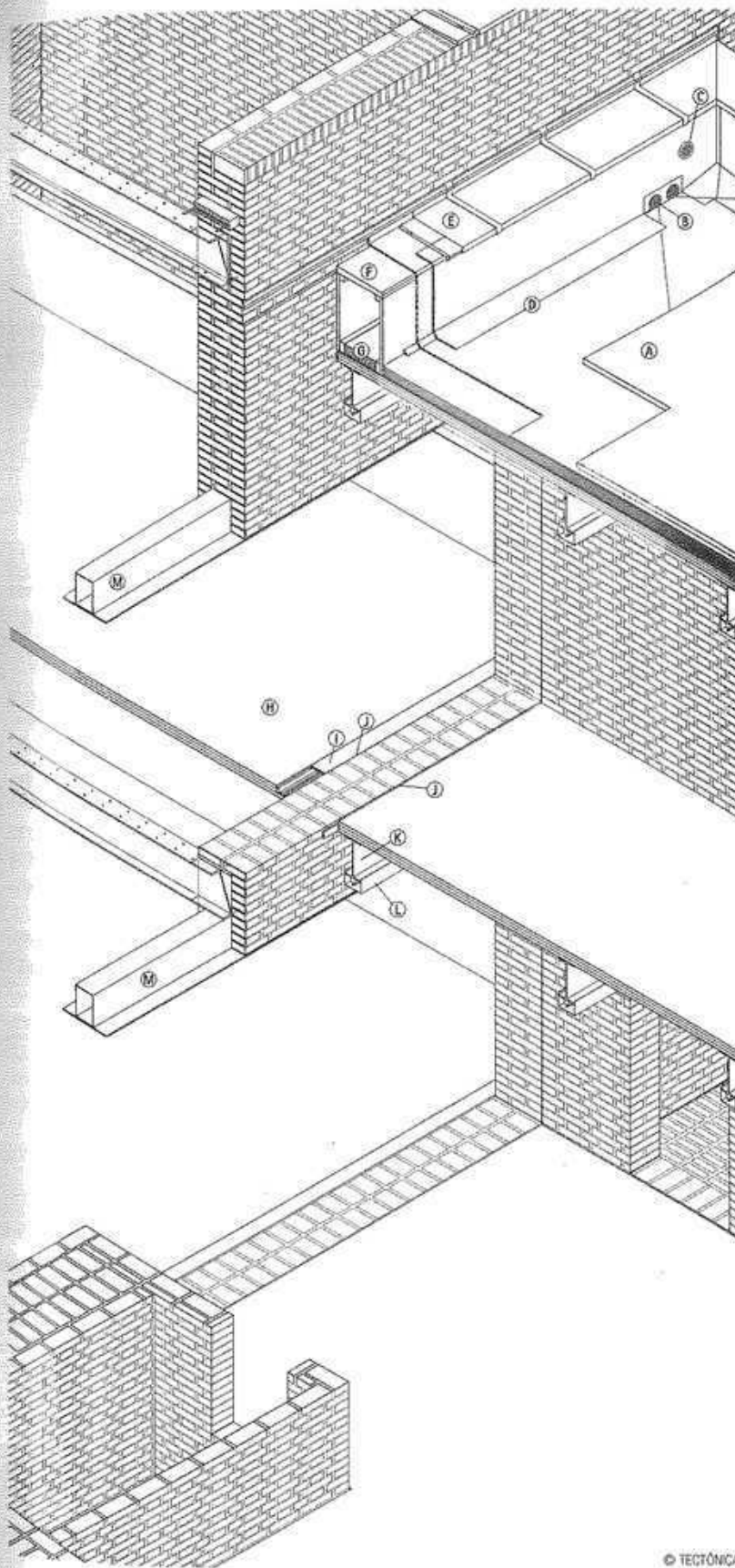


Fig. 73: Sección longitudinal 1:200





© TECTÓNICA

Forjados, cubierta, remate de cubierta y estructura portante

Las vigas de acero de los cubos, que están dispuestas en perpendicular entre sí, discurren en cada uno de ellos de forma paralela a los huecos practicados en los muros. Para fusionar ambos volúmenes y completar la coronación del edificio es necesario introducir un "falso remate de cubierta", que consiste en un volumen hueco recubierto de chapa, con la apariencia de una coronación maciza.

En el interior del edificio, para el apoyo de los perfiles IPN del forjado, se coloca una jácena en cajón de chapa de acero soldada a ellos y a la altura del pasillo. En el pasillo sólo es visible la cara inferior de chapa de este perfil frontal de atado hueco. El anclaje puntual de las vigas de acero de los forjados se efectúa sobre la primera hilera de intersección de los muros de fábrica. En el extremo contrario, las vigas se anclan al muro mediante un mandril para dañar lo menos posible la cara interior del muro.

En primer lugar se ejecuta la pared hasta la altura de los apoyos de las vigas, después se embeben en el mortero los vástagos de los que colgarán las IPN perforadas. Una vez embebidas, se continúa levantando el muro. Alrededor del cabezal se realiza una entalladura en el muro para permitir la colocación de una capa de poliestireno de 3 cm de grosor que separe las vigas del muro exterior. Esta entalladura se rellena finalmente con hormigón.

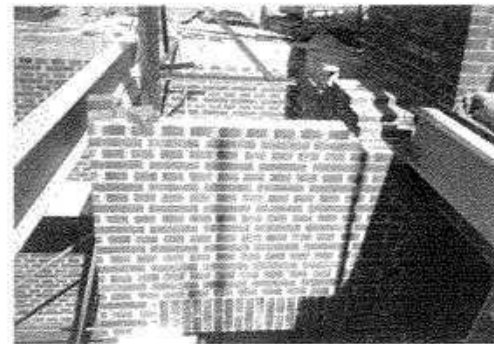


Fig. 75: Apoyo de las vigas del forjado

Fig. 76: Axonometría

- A 50 mm grava
- B Desagüe de cubierta
- C Rejilla de ventilación
- D Tela asfáltica 3 mm (2 capas)
- E Cubrición de chapa sobre mortero
- F Paneles hidrófugos de conglomerado de madera
- G Aislante térmico de lana mineral 10 cm (en pendiente)
- H Pavimento formado por un panel de tres capas de 95 cm
- I Conducto para cables con tapadera desmontable (red eléctrica)
- J Bandas de separación 1,5 mm
- K IPN 360
- L Tubo fluorescente con mampara de vidrio acrílico
- M Viga compuesta de perfil tubular 200/3000/8 mm soldado a una platina 495/12 mm



Fig. 77: Ladrillos rebajados para el montaje de una puerta

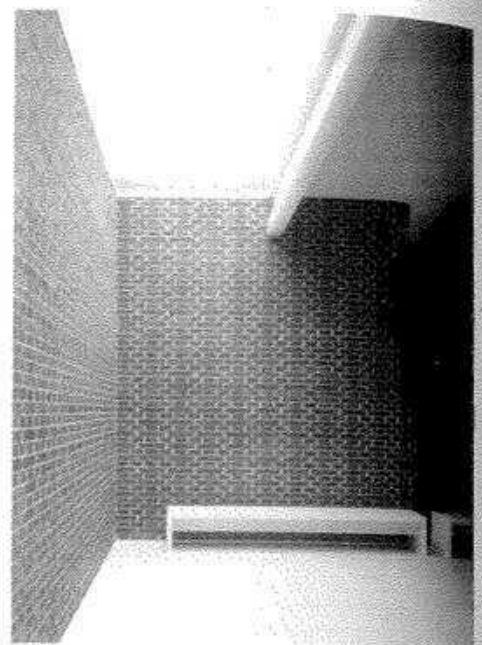
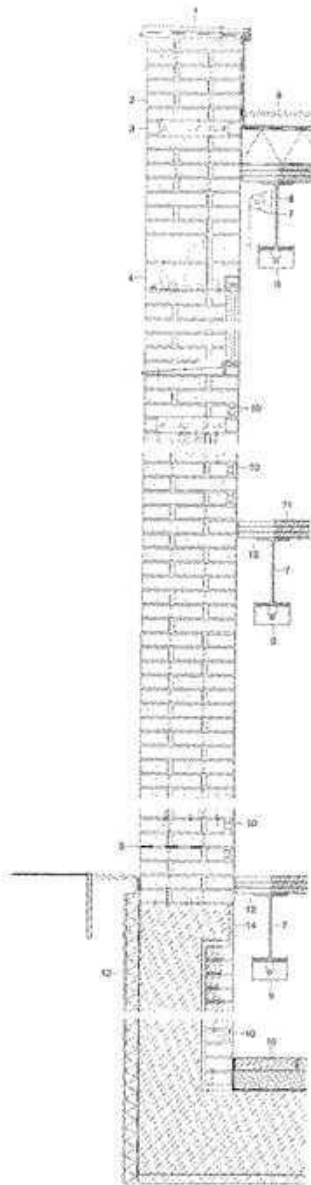


Fig. 79: Luz cenital natural



Huecos

Se ha puesto el mismo cuidado tanto en la adecuada disposición de los forjados como en la de puertas y ventanas. El empleo de pocos huecos refuerza el carácter monolítico del edificio. Las escasas ventanas y las aberturas de las paredes, en parte estrechas y de una altura semejante a la de un hombre, generan amplias superficies de muro ciegas, aptas para exponer objetos. Para enrasar adecuadamente los marcos de las puertas y ventanas en el muro, se dispusieron ladrillos especiales con los correspondientes rebajes. Manteniendo las menores luces posibles, los dinteles de fábrica contruidos en obra reparten eficazmente las cargas del muro situado sobre los huecos.

Fig. 78: Sección de detalle

- 1 Remate de chapa de cobre
- 2 Muro de fábrica de clinker 320/145/65 mm, de color marrón y textura de lava
- 3 Zunchos perimetral de hormigón armado
- 4 Dintel de ladrillo en ventana
- 5 Barrera de vapor
- 6 Construcción de cubierta
 - grava 50 mm
 - impermeabilizante
 - aislamiento térmico
 - barrera de vapor
 - panel compuesto de madera 95 mm
- 7 Perfil de acero IPN 360 mm
- 8 Protección solar textil
- 9 Tubo fluorescente con pantalla de vidrio acrílico
- 10 Tuberías de calefacción embebidas en mortero
- 11 Entarimado de tres capas de abeto/pino 95 mm, tratado con aceite y pigmentos blancos
- 12 Banda de separación
- 13 Construcción del muro del sótano
 - lámina de drenaje
 - aislante perimetral
 - impermeabilizante
 - hormigón armado 330 mm
 - revestimiento interior de clinker 320/145/65 mm
- 14 Revestimiento de plaquitas 320/15/65 mm
- 15 Construcción de solera
 - pavimento de clinker 320/145/65 mm
 - mortero 105 mm
 - capa de separación

Iluminación

Los cubos se subdividen en tres niveles. De este modo se crean tres plantas con una calidad de iluminación diferenciada. Mientras que la planta soterrada —concebida como fondo del contenedor— se caracteriza por el pavimento de clinker y la luz artificial, en los espacios de exposición situados encima irradia la luz natural a través de las altas ventanas laterales. Tanto en la planta sótano como en la baja se ha optado por garantizar una buena iluminación artificial. Tan sólo en la primera planta se permite la entrada a la luz natural mediante ventanas altas y lucernarios. La sencillez conceptual de la construcción en bruto exige una solución también sencilla para la conducción de la luz artificial: por eso, en la galería se ubica bajo las vigas de acero pintadas de blanco. La instalación luminica se compone de tubos fluorescentes revestidos con vidrio acrílico que se encienden individualmente.

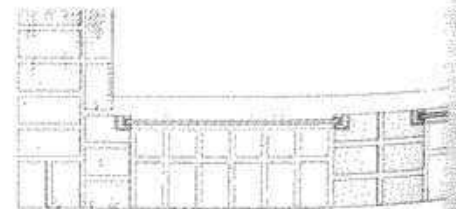


Fig. 80: Detalle en planta de ventana con ladrillos rebajados

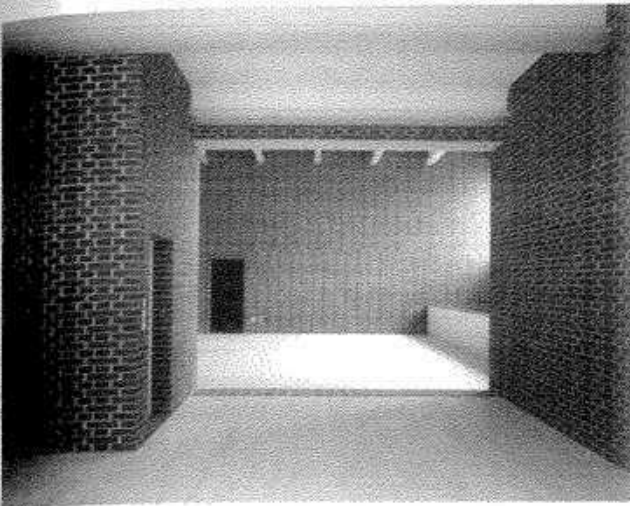
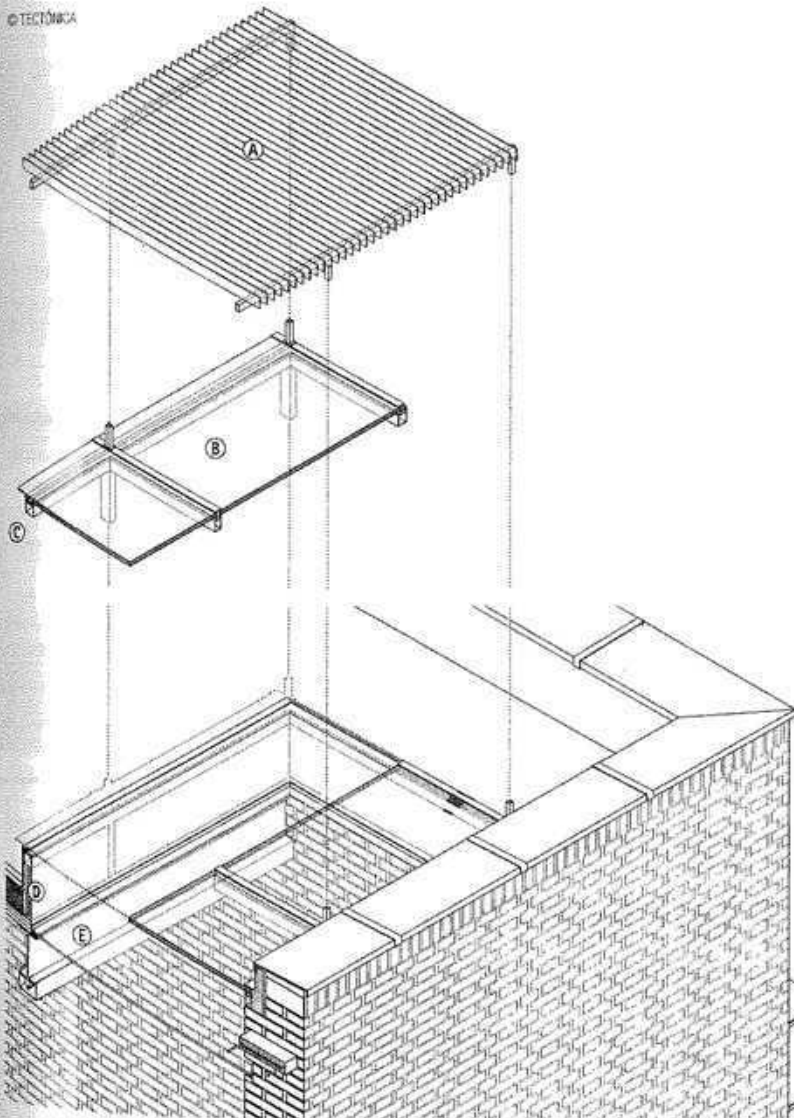


Fig. 81: Vista hacia la entrada de luz lateral



Fig. 83: Luz artificial bajo las vigas

© TECTÓNICA



Superficies interiores

En el sótano, el suelo se configura como fondo del contenedor y se recubre con ladrillos de clinker colocados con juntas muy amplias. Por el contrario, en las plantas superiores los forjados se componen de vigas de acero y tablonés de madera. La ejecución es muy purista y económica: tablas de pino de 8 cm finamente tratado que descansan sobre vigas de acero blancas, sin ninguna otra infraestructura. Como consecuencia, se producen transmisiones acústicas que se expanden verticalmente, aceptadas en todo caso en pro de un concepto minimalista.

Fig. 82: Esquema de lucernarios

- A Aislamiento térmico de láminas de aluminio que sirve a su vez de protección solar y contra deslumbramientos
- B Vidrio compuesto de seguridad: 8 mm de vidrio, 15 mm de Karquar, 8 mm de vidrio de seguridad
- C Soporte de acero tubular (perfil hueco de 80 x 50 x 2 mm)
- D Panel sandwich portante con pilares integrados, compuesto por chapa de acero de 7 mm y 70 mm de lana mineral
- E Vidrio compuesto de seguridad con recubrimiento de 16 mm

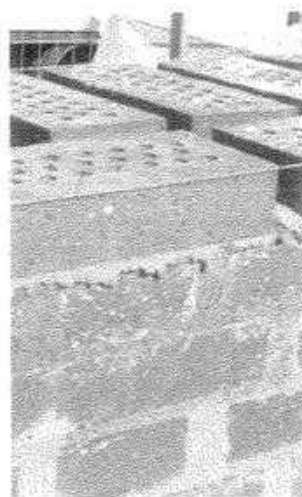


Fig. 84: Esquina con el aparejo de trabazón

Construcción y carácter de la arquitectura de ladrillo

Aunque la población de Marktoberdorf no esté propiamente incluida en un área tradicional de la construcción con ladrillo, en la galería se ha empleado un clinker bávaro semejante al utilizado en esta región durante la edad media. Además de la referencia local, el material se corresponde desde el punto de vista histórico con la tipología del taller: la envoltura del edificio está construida con un ladrillo recocido de gran resistencia, con la irregular textura superficial de la lava, en formato bávaro de 32/14,5/6,5 cm, visto tanto al exterior como al interior. La elección de obra de fábrica de clinker, que produce un efecto de gran plasticidad y viveza, constituye un elemento esencial para dotar a la obra en su conjunto del carácter monolítico que posee. La estructura irregular de los ladrillos, unida al mortero de grano grueso, producen una superficie de revestimiento que recuerda a un tejido. A las propiedades estéticas del ladrillo se unen otras cualidades características del material, como las de estabilidad e inercia climática. Estos factores determinan la ejecución de la envoltura del edificio como sistema monolítico de unos 54 cm de grosor, realizado en obra de fábrica de clinker y aparejo inglés. Además de las ventajas climáticas de una construcción portante maciza, este caparazón homogéneo y compacto no precisa juntas de dilatación gracias a las reducidas dimensiones de los paños de fachada. Esta división vertical continua de un muro de ladrillo macizo para evitar grietas (provocadas por diferentes cargas, asentamientos o dilataciones de los distintos elementos constructivos), se soslaya en la casa del artista gracias a las reducidas dimensiones de los paños de fachada. El carácter escultural del edificio se logra entre otras cosas por la continuidad del muro.

Las juntas adquieren gran importancia para la trabazón de la obra de fábrica, pues tanto su grosor (3 cm de

las llagas verticales y 1 cm de las llagas horizontales), como su color y textura armonizan con el clinker. Para articular la arcaica fuerza expresiva de este material pardo rojizo, tanto en el interior como en el exterior, se optó por el empleo de juntas grises y granuladas. Otra ventaja fundamental de los muros de ladrillo en un edificio de exposiciones es que la humedad, decisiva para la buena conservación de las obras de arte, permanece constante. Se procura, así pues, un clima ambiental agradable, tanto para las piezas de exposición como para las personas.

La construcción se pudo realizar gracias al buen saber hacer de los operarios checos (que poseen un conocimiento consolidado de los aparejos y de la ejecución de muros vistos de obra de fábrica). En la obra han sido empleadas unas cien mil piezas cerámicas y dieciocho clases de piezas distintas (entre ellas, ladrillos enteros, de revestimiento, y piezas especiales para el montaje de ventanas, y en alféizares y dinteles).

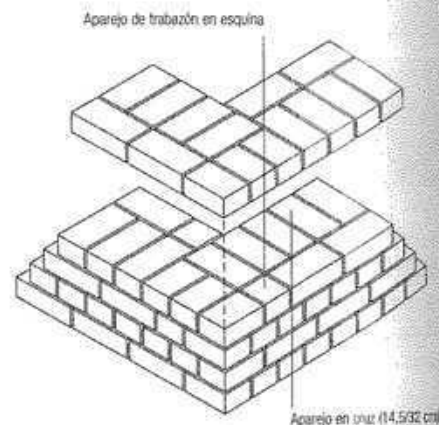


Fig. 86: Esquema del aparejo en cruz

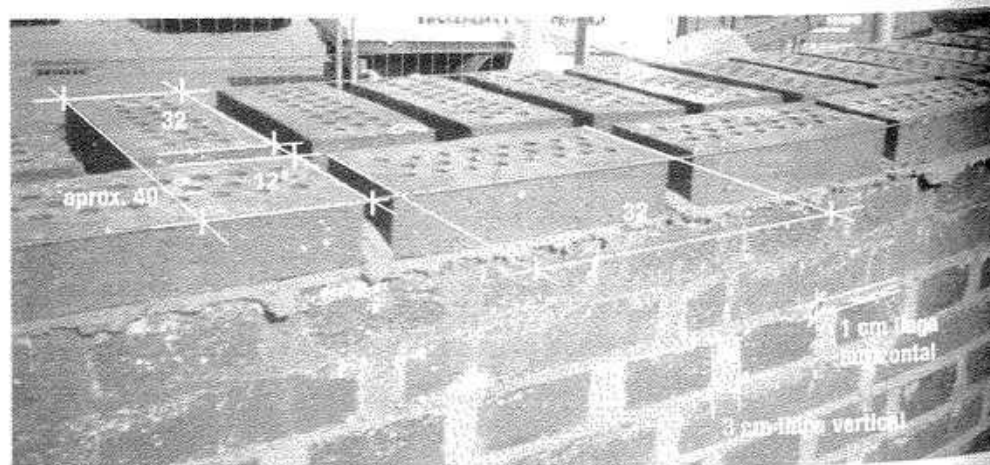


Fig. 85: Aparejo en cruz con llagas anchas

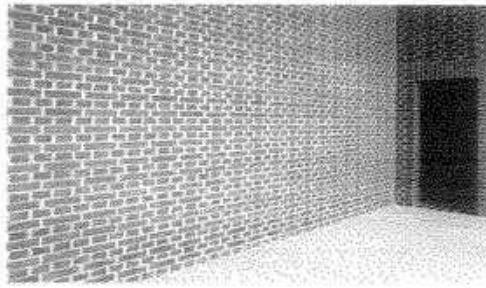


Fig. 87: Calefacción en el zócalo

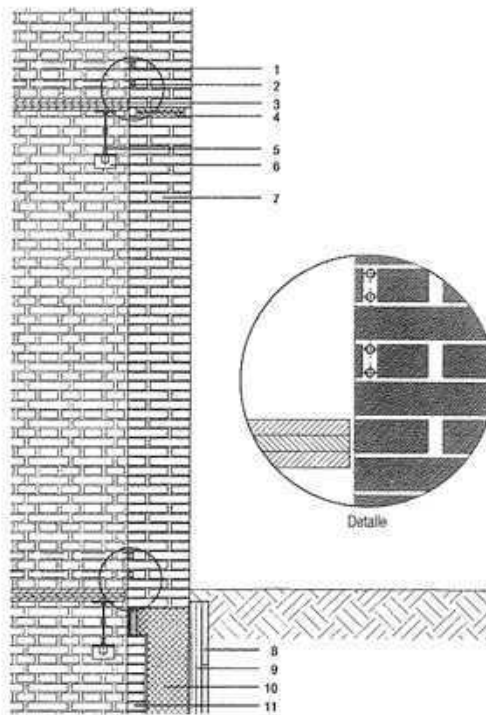


Fig. 88: Construcción del muro

1. Tubo de cobre, D = 18 mm, conductos de entrada y salida embebidos en mortero
2. Revestimiento, placa de grosor de 5 mm
3. Entarimado de tres capas, grosor de 95 mm
4. Zuncho perimetral (rigidización horizontal)
5. IPN 350, embebida en el muro
6. Lámpara de vidrio acrílico
7. Muro de fábrica de 49,5 cm
8. Filtro, placas de cemento
9. Aislante térmico de vidrio celular de 10 cm
10. Hormigón armado (32 cm de grosor)
11. Fábrica interior de 14,5 cm

Del hipocausto a la calefacción en el zócalo

En este apartado se trata de analizar fundamentalmente la interacción entre la masa del edificio (muro de fábrica) y el principio de calefacción del espacio interior. Es conocido que la capilaridad en los materiales porosos favorece el aislamiento térmico, siendo el aire un medio inadecuado para el transporte de calor. Sin embargo, aún se siguen colocando radiadores (el aire se mueve libremente

en el espacio) que precisan una intensa producción de calor y ponen en movimiento el aire encerrado en un espacio (con todas las partículas microscópicas que contiene, como polvo y microbios). Los fundamentos de la calefacción radiante (el aire se mueve en un espacio controlado) fueron ya utilizados en los hipocaustos romanos. El calor procedente de la fuente de calor (*præfurnum*) se conduce a través de un doble suelo para ascender a continuación lateralmente por medio de conductos de arcilla (*tubuli*). El calor se irradia al interior desde la cara interior de la pared y siguiendo el camino de menor resistencia: la radiación de calor se abre paso a través del aire sin apenas pérdidas térmicas, mientras que en los muros puede hacerlo únicamente por medio de impulsos vibratorios de molécula a molécula, es decir, debe producir un trabajo. En consecuencia, la mayor parte del calor necesario se emplea para calentar el espacio sin producir pérdidas en la sección del muro. Además, al no estar dividido por el aislante térmico, el muro homogéneo almacena adicionalmente la energía solar procedente del exterior.

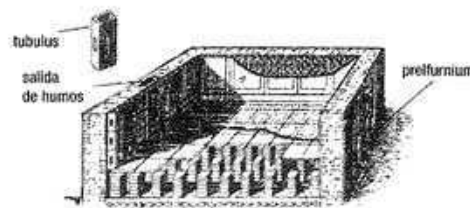
Calefacción en el zócalo

En la galería de Marktoberdorf se procedió al empleo simplificado del principio del hipocausto romano, sin que por ello el sistema pierda eficacia. En lugar de los conductos laterales de arcilla (*tubuli*) se han colocado dos circuitos de tuberías de cobre que, embebidos en el muro a ras del suelo, rodean todo el espacio y sirven para conducir el agua. Como fuente energética se ha empleado una caldera convencional de fuel.

En consecuencia, la calefacción al nivel del zócalo asume el principio de la radiación de calor dentro del muro macizo. Tanto la fuente energética como el medio de transporte o las medidas dispuestas en obra, se diferencian claramente del hipocausto. La calefacción del muro al nivel del zócalo resulta completa y sorprendentemente efectiva. Debido a la inercia de la masa del muro de fábrica, la radiación de calor graduable es suficiente para mantener una temperatura ambiental controlada. El reparto regular de calor que produce una calefacción radiante permite además emplear temperaturas más bajas en la instalación, lo que revierte en un ahorro energético. Una instalación de estas características es especialmente indicada para galerías de arte y museos, pues hasta ahora era preciso el empleo de elementos técnicos muy costosos para lograr el acondicionamiento necesario en unos edificios que albergan valiosas y delicadas obras de arte. En vez de contar con una complicada instalación y un sistema de aire acondicionado, este edificio dispone tan sólo de dos circuitos de cobre dispuestos en el muro exterior de fábrica sobre el nivel del zócalo. La superficie interior del muro irradia regularmente calor y produce un clima interior equilibrado. Este sistema, en combinación con el muro macizo de una sola hoja, se ha demostrado sencillo y pleno de eficacia.



Fig. 89: Sección y planta de un hipocausto

Fig. 90: Isometría de un hipocausto (etimológicamente *hypocaustum* significa calentar desde abajo)

Vivienda unifamiliar en Grabs, Suiza

Peter Märkli

Thomas Wirz

Situación y descripción

La localidad de Grabs, una población suiza típica con estructura urbana dispersa, se encuentra en la llanura del valle del Rin, en el cantón de Sankt Gallen. La casa se sitúa en una ligera hondonada, rodeado de granjas y casas unifamiliares. Para acceder a la vivienda, orientada al sur, se dispone de un estrecho camino asfaltado sobre el lado norte de la parcela.

Con el objetivo de lograr el bienestar de sus habitantes, desde la fase inicial del proyecto se consideró de gran importancia tanto el lugar como el programa espacial. El proceso del proyecto consistió en reducir los contenidos a unos pocos temas con el fin de que el mismo "se plantease como un todo". Los croquis contienen ya en sí mismos todos los aspectos fundamentales del proyecto.

La respuesta del arquitecto, dado el contexto, fue la de crear un volumen aislado y compacto. En vez de procurar adaptarse a los edificios preexistentes, la casa se distancia en cierto modo de su entorno. El procedimiento para alcanzarlo consiste en la abstracción. No se ha tratado de realizar una obra de "arte minimalista" o una "*neue Einfachheit*" ("nueva sencillez"), sino de conseguir una expresividad rotunda, haciendo que las partes del conjunto aparezcan como un todo.

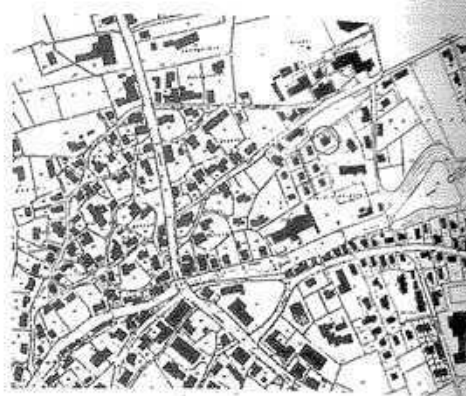


Fig. 91: Plano de situación

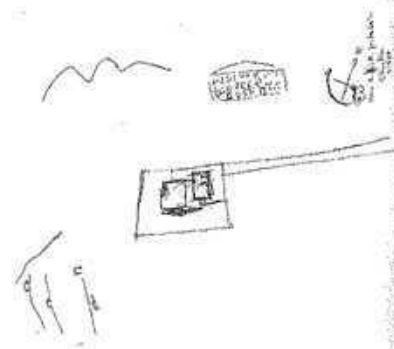


Fig. 92: Croquis de situación y contexto



Fig. 93: El edificio se alza sobre el prado como una escultura

Arquitecto: Peter Märkli, Zürich
Ejecución: 1993-1994
Dirección de obra: Gody Kühnis, Trübbach
Estructura: Kurt Gabathuler, Scuol

Relación con el terreno

El prado sobre el que se alza la casa debe tocarse lo menos posible. Por ello, el cuerpo en voladizo de la veranda del porche se suspende sobre el terreno. Todos los elementos se desarrollan a partir del mismo volumen, lo que confiere a la obra un carácter autónomo, incluso introvertido. El resultado final ha de ser una casa que no compita con las granjas y construcciones colindantes. Esta vivienda se aísla de su entorno o, citando a Ines Lamunière, "posee esa dureza que encierra a las personas bien hacia fuera o hacia dentro". Un jardín privado en el sentido convencional resulta pues impensable. El espacio exterior privado, en este caso la veranda, se inscribe en la casa.

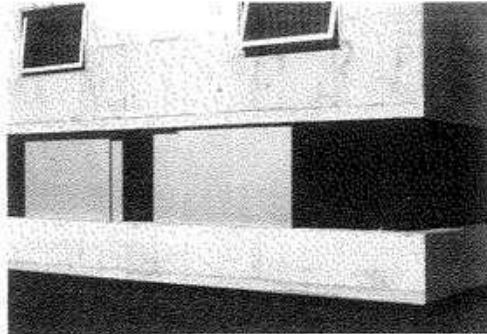


Fig. 94: La veranda se recorta dentro del volumen

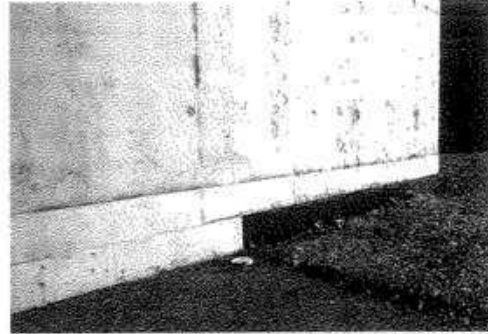


Fig. 95: Vuelo de la veranda sobre el prado



Fig. 96: Veranda: espacio exterior y a la vez cerrado

Estructura espacial

La planta se desarrolla según el principio de capas concéntricas, articuladas a partir de un núcleo. Un par de escalones conducen desde el acceso cubierto al vestíbulo de la vivienda y a la escalera. En torno a este espacio se disponen el salón y la cocina formando una L. Las grandes puertas correderas se abren hacia las bandas de ventanas de la veranda, a través de las cuales se vislumbra el entorno. Además, las contraventanas correderas de aluminio para protección solar y visual refuerzan este efecto. El espacio interior se sostiene apoyado en un ángulo y en el muro que delimita el salón. De este modo, el diáfano espacio interior —liberado del paramento plegable que separa la cocina y el salón— adquiere una sorprendente amplitud, acentuada aún más por el pavimento continuo de cemento.

También la planta primera se articula en torno a la esquina. Desde un distribuidor iluminado con luz cenital se accede a los dormitorios que, conformando también una L, se orientan al sur. Estos vuelan sobre la veranda y presentan tamaños diferentes. Las divisiones interiores se forman con armarios empotrados y paredes de cartón yeso. En el lado norte se disponen los cuartos húmedos, que están alicatados.

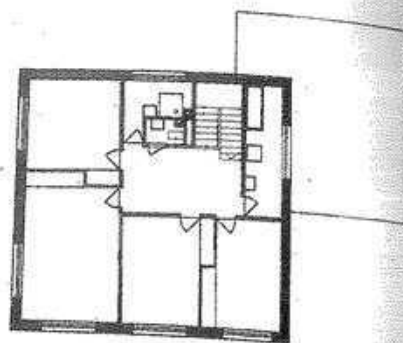


Fig. 97: Planta primera

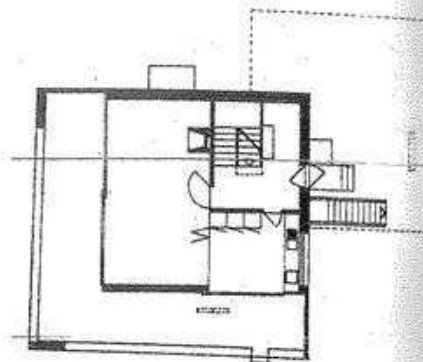


Fig. 98: Planta baja



Fig. 99: Planta sótano

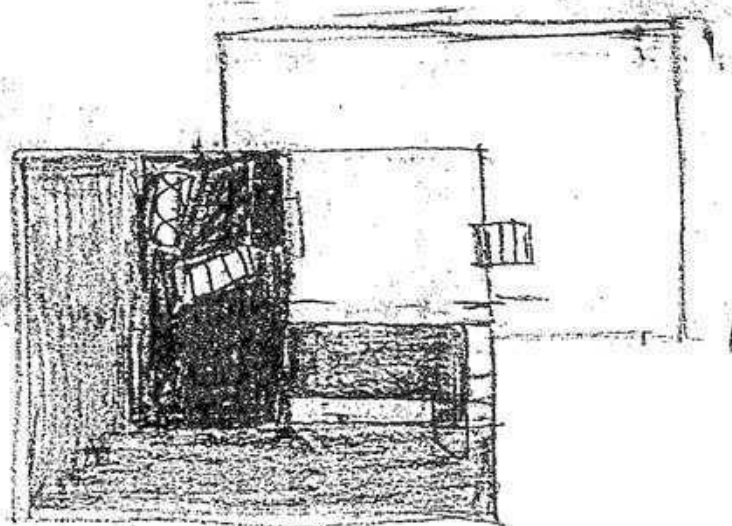


Fig. 100: Croquis de la configuración espacial

Construcción y estructura

El empleo de hormigón in situ está condicionado por la geometría no ortogonal del volumen, "geometría que, por así decirlo, permite reconocer la forma vertida como aproximación ideal". La homogeneidad del cubo se consigue por medio de una división constructiva. Desde el punto de vista estático, la piel exterior de hormigón es independiente. Los esfuerzos se absorben mediante el pretensado y la obra en voladizo. La capa interior es de ladrillo y está enlucida. El paño de hormigón de la planta baja es el único elemento estructural que está libre en el espacio. Además de su función estructural, esta pared articula la planta y delimita la zona de estar.

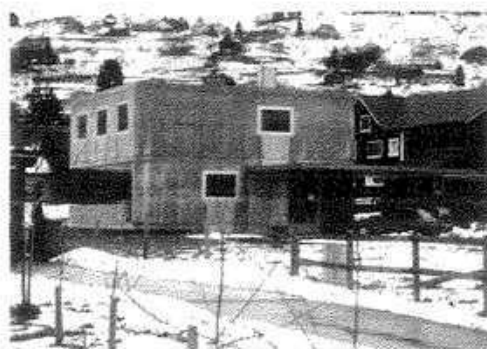


Fig. 101: Frente de acceso

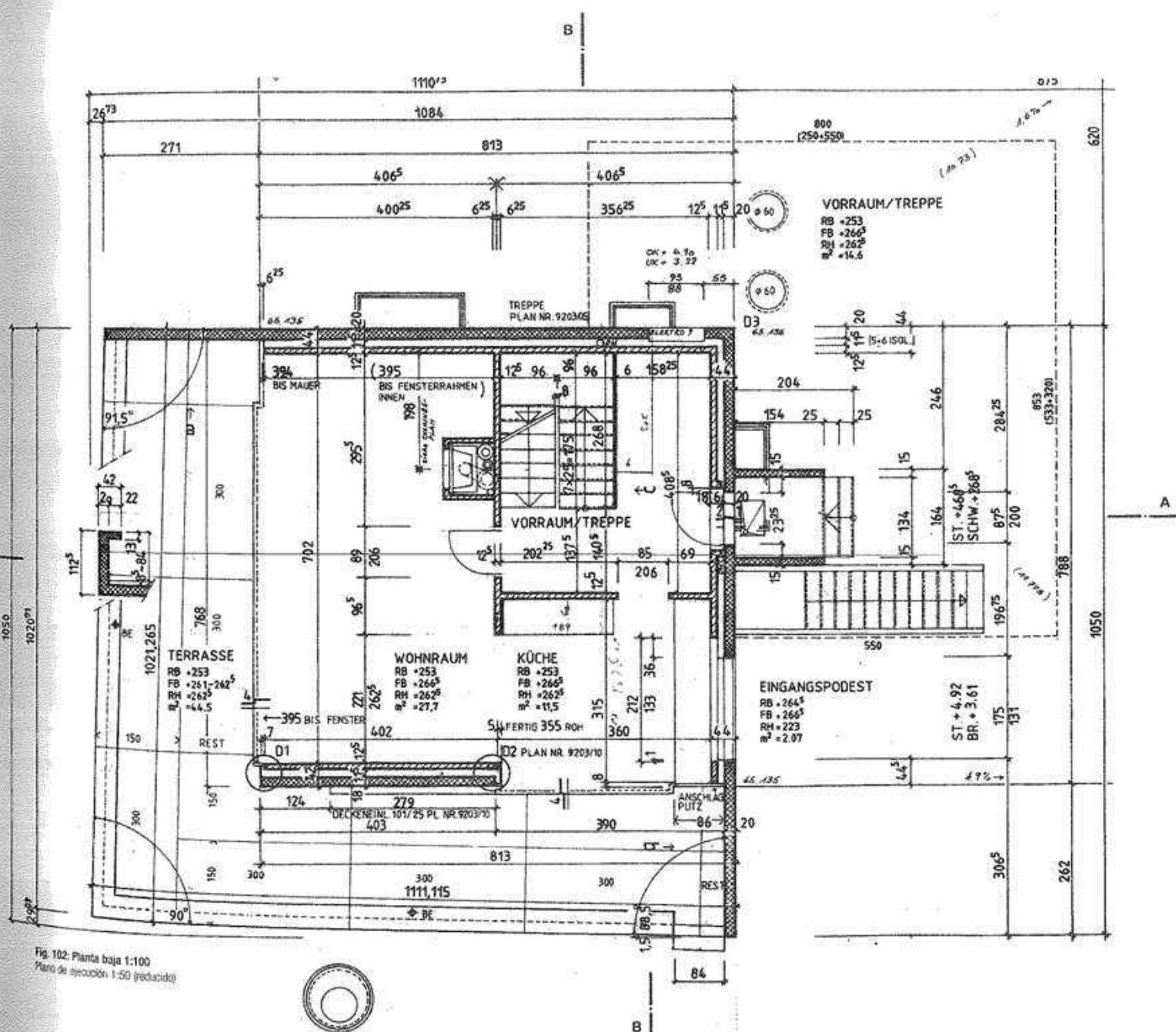


Fig. 102: Planta baja 1:100
Plano de ejecución 1:50 (reducido)

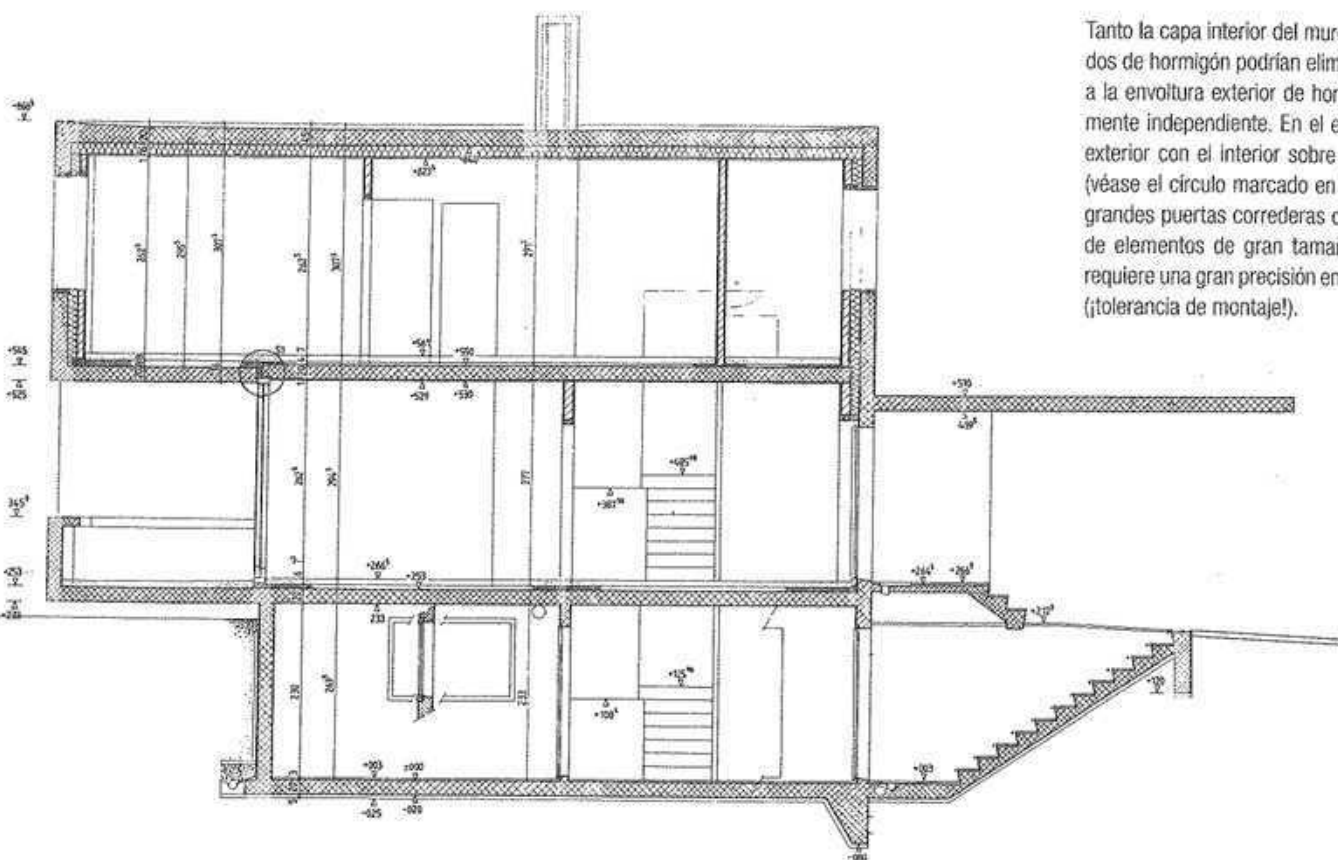


Fig. 103: Sección A-A 1:100
Plano de ejecución 1:50 (reducido)

Cubierta	
Impermeabilización Triflex	
Hormigón	200 mm
Poliestireno extruido	80 mm
Lana mineral entre construcción de metal	80 mm
Barrera de vapor	
Paredes de cartón yeso	15 mm

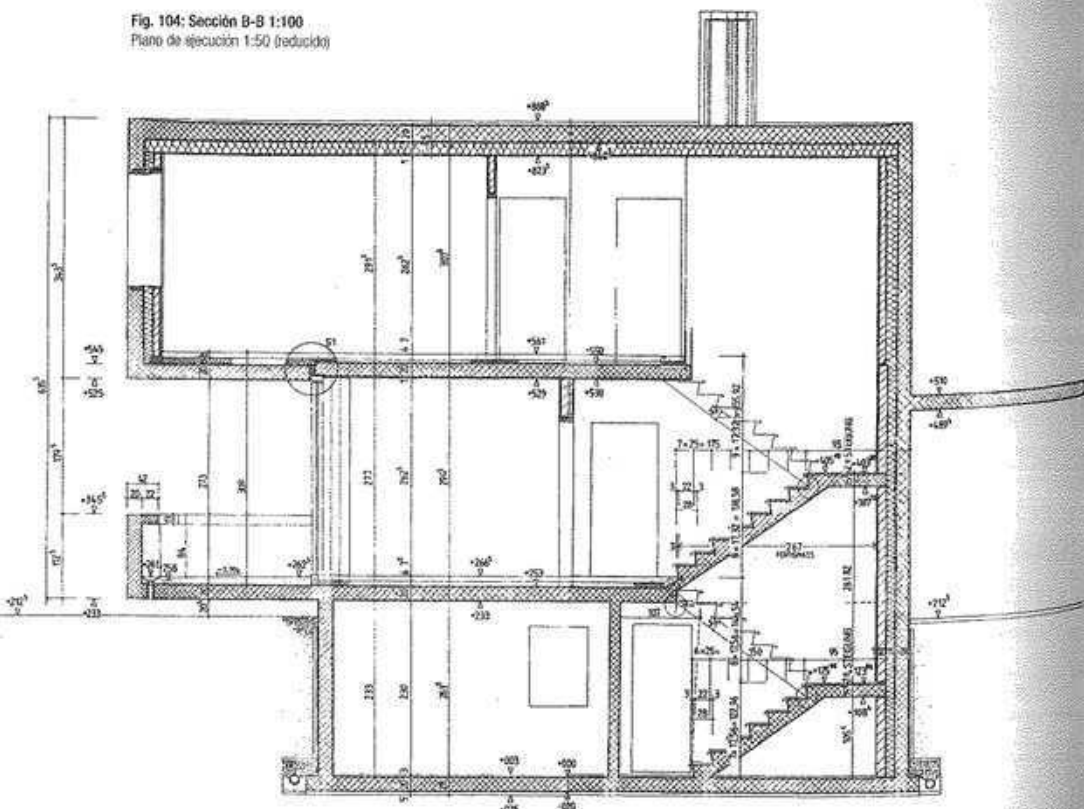
Muro exterior planta primera	
Enlucido de yeso	10 mm
Ladrillo	100 mm
Poliéstereno extruido	140 mm
Hormigón	200 mm

Forjado planta primera	
Recubrimiento de resina sintética	
Cemento	40 mm
Poliestireno extruido	80 mm
Hormigón (al exterior)	200 mm

Muro exterior planta baja	
Enlucido de yeso	
Ladrillo	125 mm
Poliestireno extruido	120 mm
Hormigón	200 mm

Forjado planta baja	
Pavimento de hormigón	
Capa de cemento	75 mm
Poliestireno expandido (suelo radiante)	60 mm
Hormigón	200 mm

Fig. 104: Sección B-B 1:100
Plano de ejecución 1:50 (reducido)



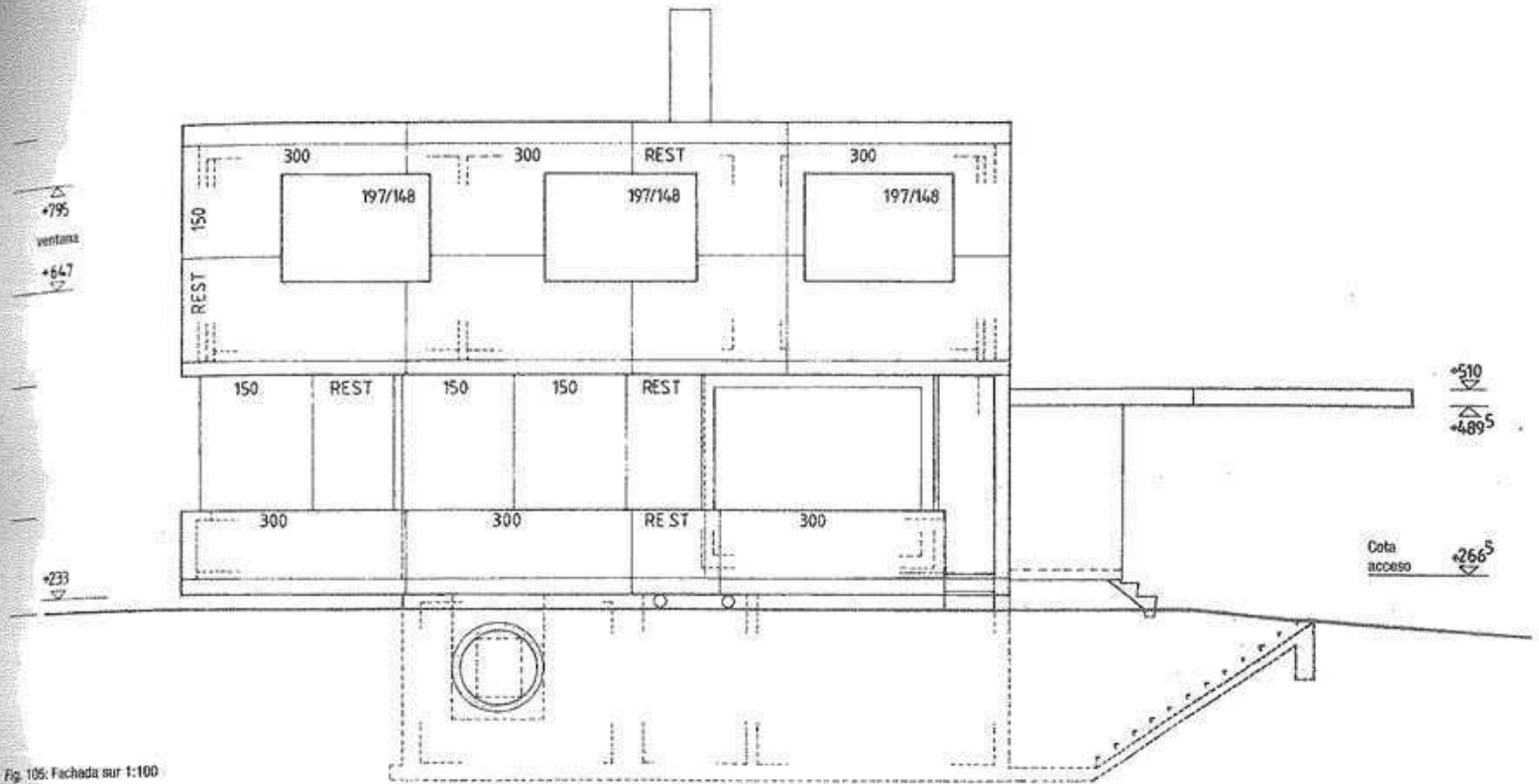


Fig. 105: Fachada sur 1:100

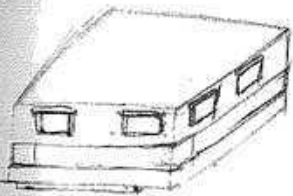


Fig. 106: Croquis: estudio de las proporciones para las fachadas

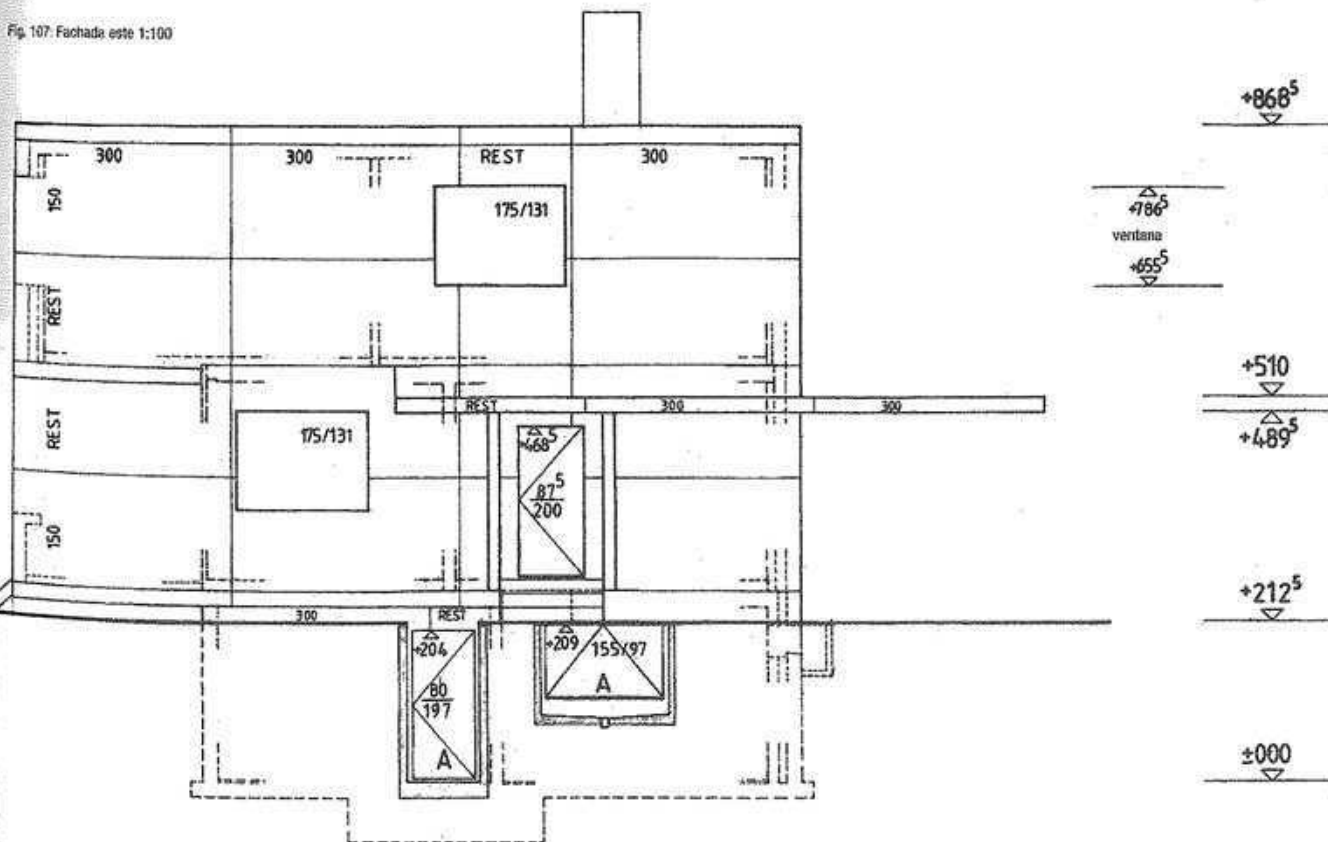
Fachadas

También aquí se establece una clara jerarquía de las partes. Al igual que sucede con las plantas, lo más importante es la relación entre las dimensiones, es decir, las proporciones. La relación de las partes con el todo, de las partes entre ellas, la relación de huecos o vanos con las superficies cerradas; son factores que influyen decisivamente en

el carácter del edificio. También en el interior, Märkli controla, con un sistema de dimensiones continuo, las vistas y posición de los huecos en cada espacio individual. En el escalafón inferior de la jerarquía se encuentran las juntas del encofrado, que se subordinan a la superficie.

Pequeños croquis representan las superficies de dos fachadas y sirven para comprobar esas relaciones.

Fig. 107: Fachada este 1:100



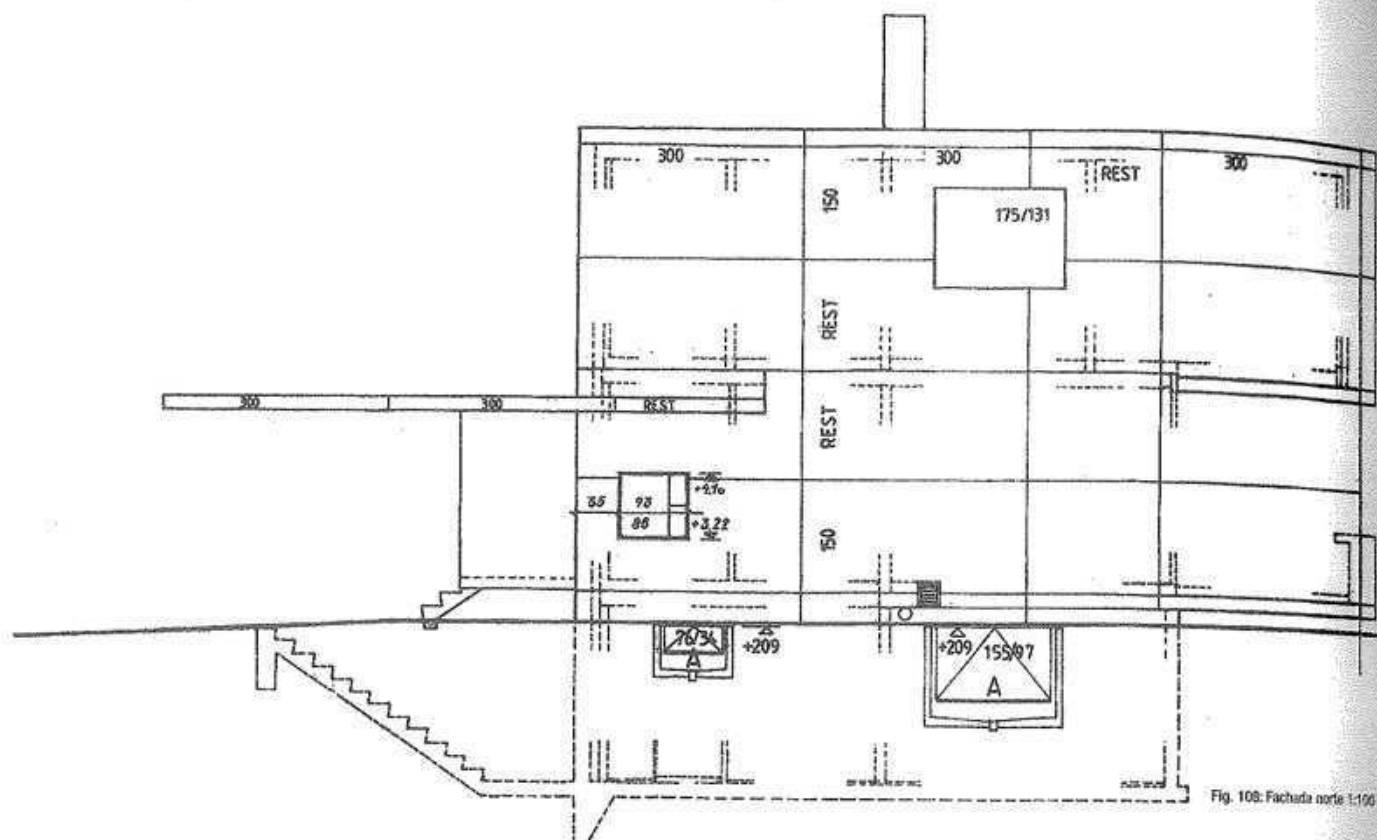


Fig. 108: Fachada norte 1:100

Märkli trabaja siguiendo reglas visuales. La fachada norte, por ejemplo, está dominada por los voladizos contrapuestos de la marquesina y de la veranda, que mantienen la fachada en tensión. Las dos ventanas de esa fachada están colocadas de manera que se restablezca el equilibrio óptico. Esto significa que el "centro de gravedad" que percibe el ojo vuelve a descansar en el interior del edificio (obsérvese la vista transversal).

Un elemento singular, como la marquesina de amplísimo vuelo, cumple a la vez varias funciones. Además de satisfacer los objetivos compositivos enunciados, señala la entrada a la vivienda, protege de las inclemencias meteorológicas en la zona de acceso y sirve además de garaje.

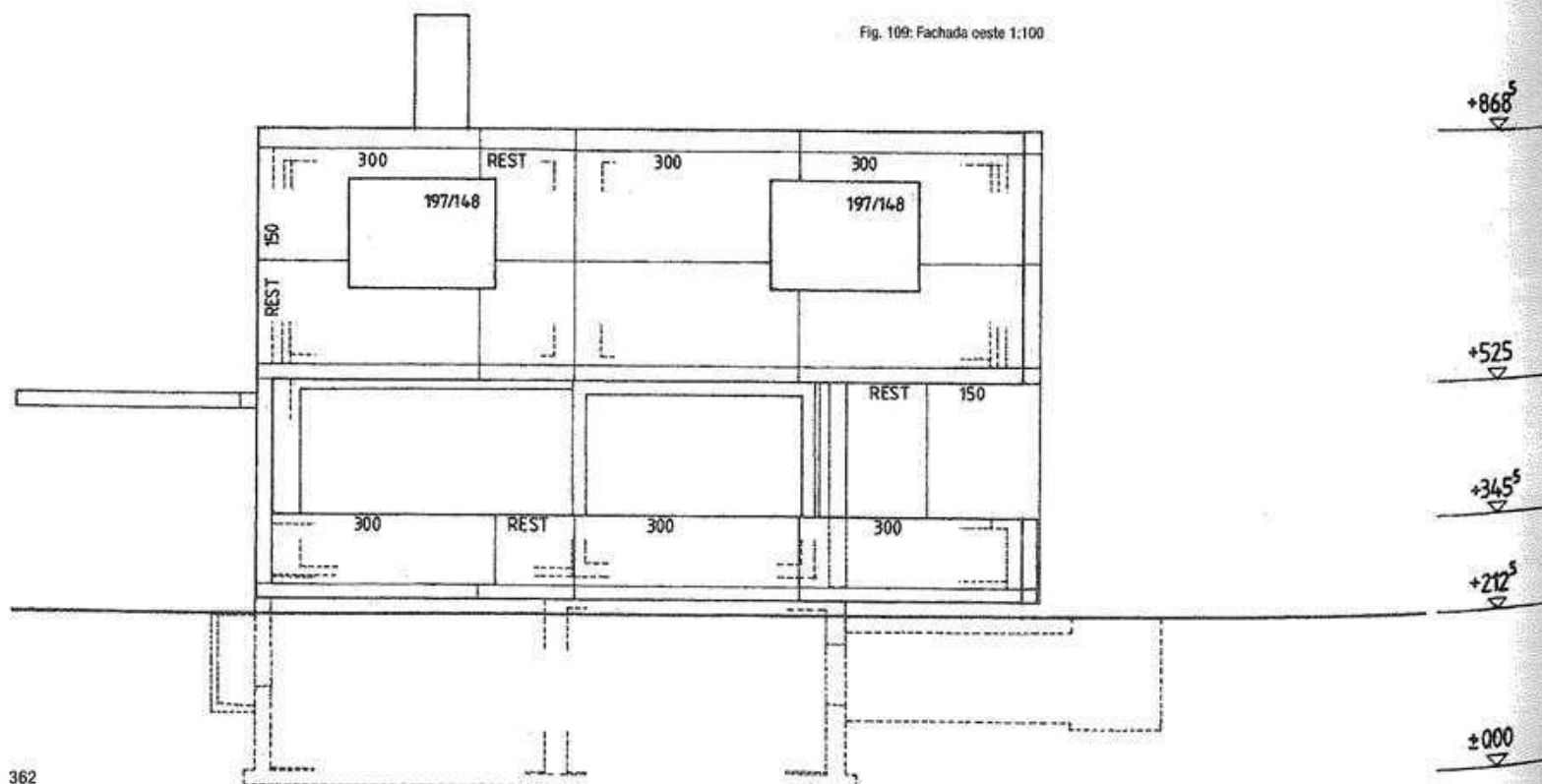
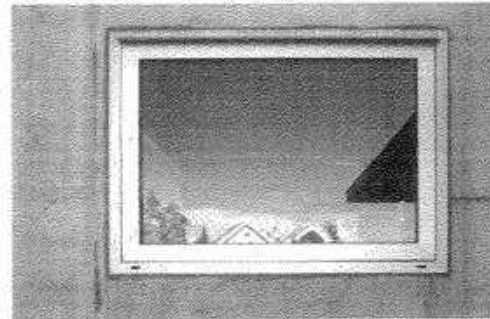


Fig. 109: Fachada oeste 1:100

Huecos

Por motivos tectónicos, las ventanas están enrasadas al exterior, acentuando así el carácter de volumen cerrado que posee el edificio, lo que genera un intradós interior profundo, cuya expresión "arcaica" no se correspondería con el carácter del edificio de la casa. Märkli soluciona el conflicto configurándolo en la cara interior, revestido de madera, como protección solar y visual. Los elementos técnicos se concentran, junto a los elementos de iluminación, por encima de las ventanas. Paredes y techos permanecen intactos, conformando pues un todo continuo.

Hay dos tipos distintos de ventanas. En ambos casos se trata de una ventana de aluminio con hoja abatible. En los dormitorios situados sobre el voladizo de la veranda, las cajas de madera se destacan del muro en el espacio interior, dotadas de mamparas plegables de piel sintética. En las ventanas del lado norte, que alberga la cocina y los cuartos húmedos, estas cajas están enrasadas a la cara interior del muro, que admite mamparas plegables de madera pintada para la protección solar y visual. Todas las mamparas empleadas son productos estandarizados integrados en el conjunto de la obra gracias a una ejecución precisa de su construcción y de los detalles de la misma.

**Fig. 110: Ventana enrasada**

El montaje exterior requiere una ejecución precisa y controlada de los detalles para asegurar la estanquidad frente a las lluvias racheadas y al viento

**Fig. 111: Ventana de aluminio con hoja abatible****Fig. 112: Ventana con mampara fuelle de piel sintética**

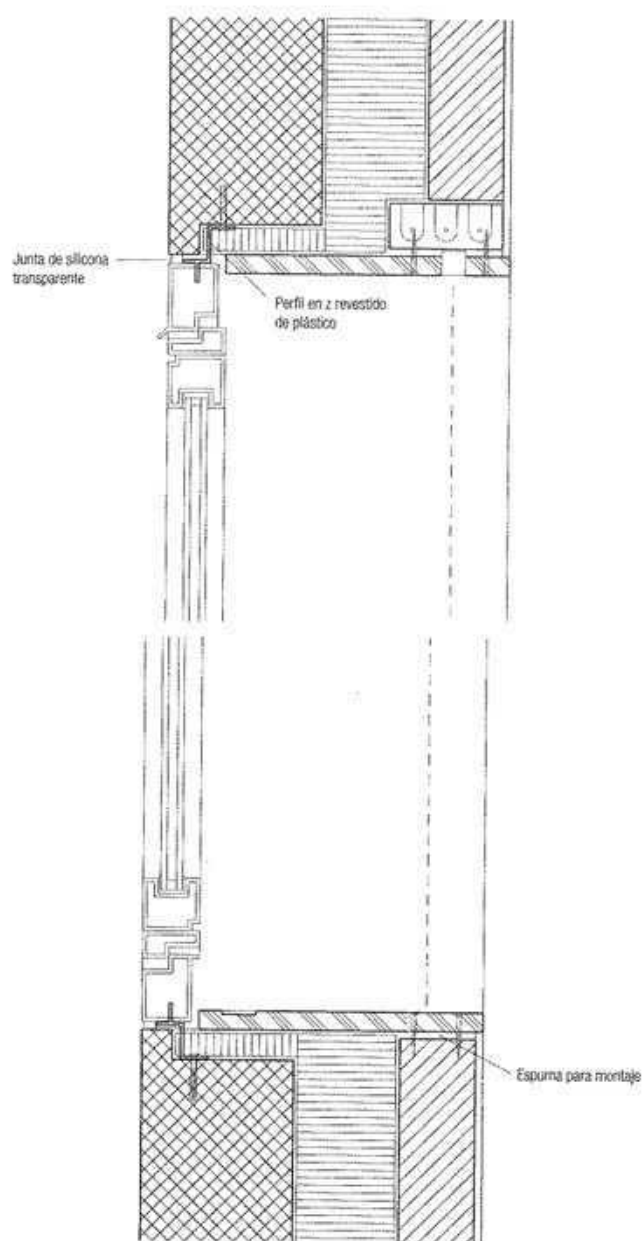


Fig. 113: Sección, escala 1:10

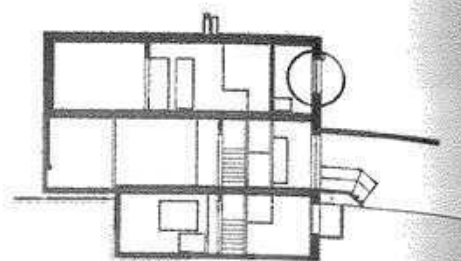


Fig. 115: Ventana tipo I

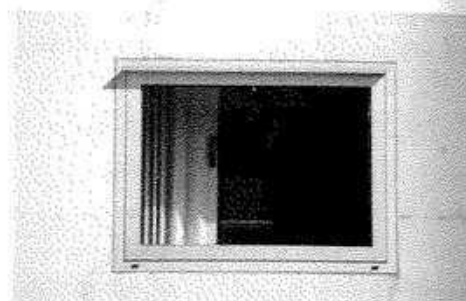


Fig. 116: Mampara fuelle de piel sintética vista desde fuera

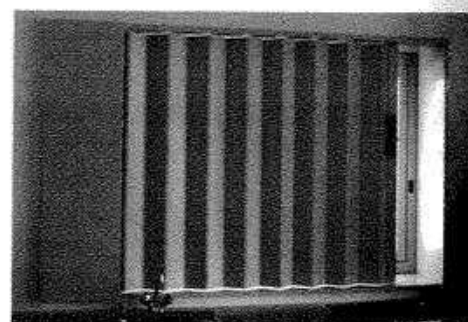


Fig. 117: Mampara fuelle de piel sintética para el oscurecimiento del interior

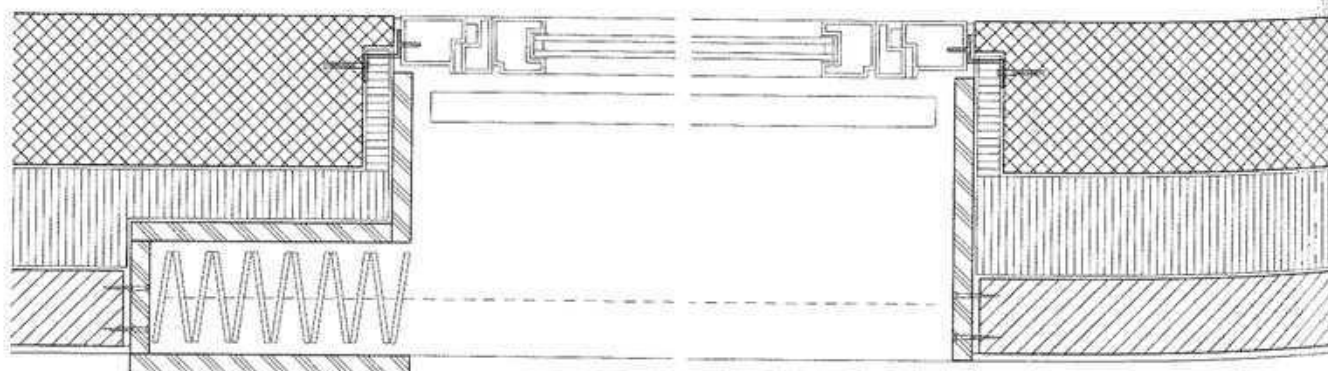


Fig. 114: Planta, escala 1:10

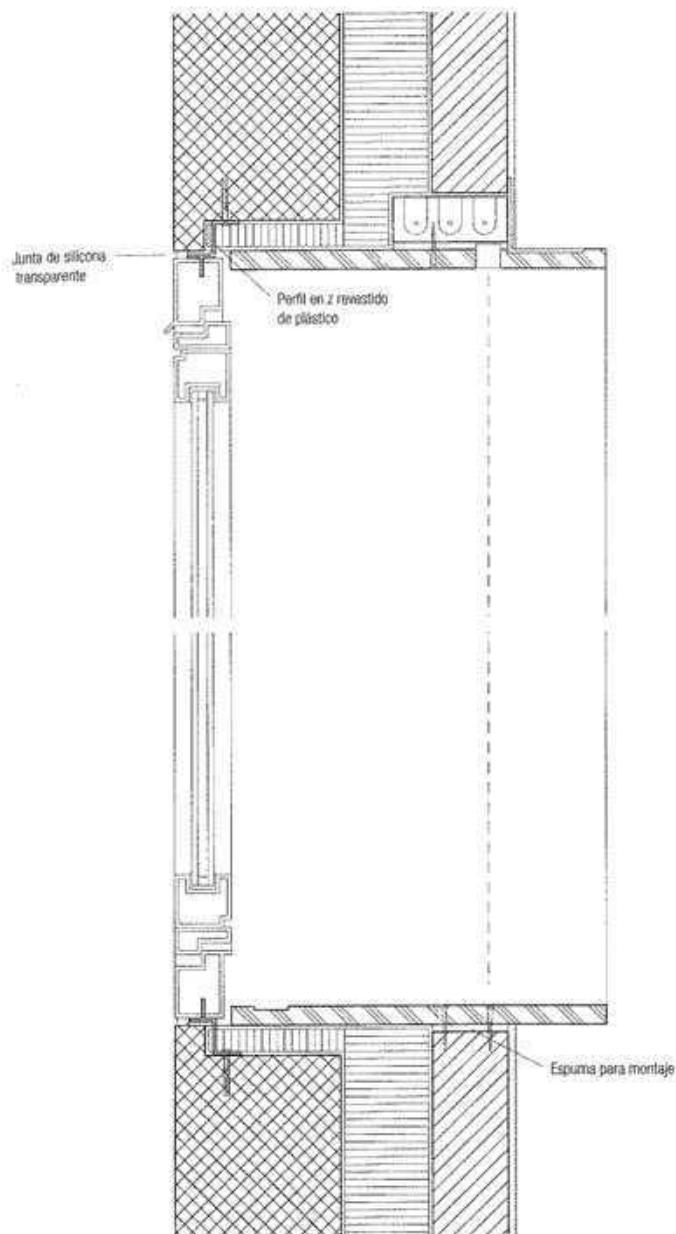


Fig. 118: Sección, escala 1:10

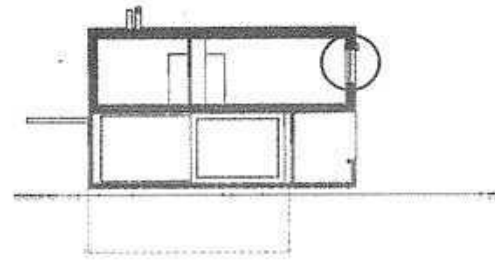


Fig. 120: Ventana tipo II

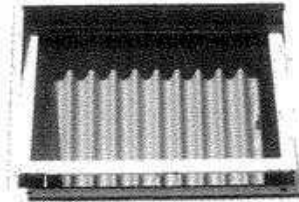


Fig. 121: Ventana abatible vista desde fuera



Fig. 122: Ventana abatible vista desde dentro

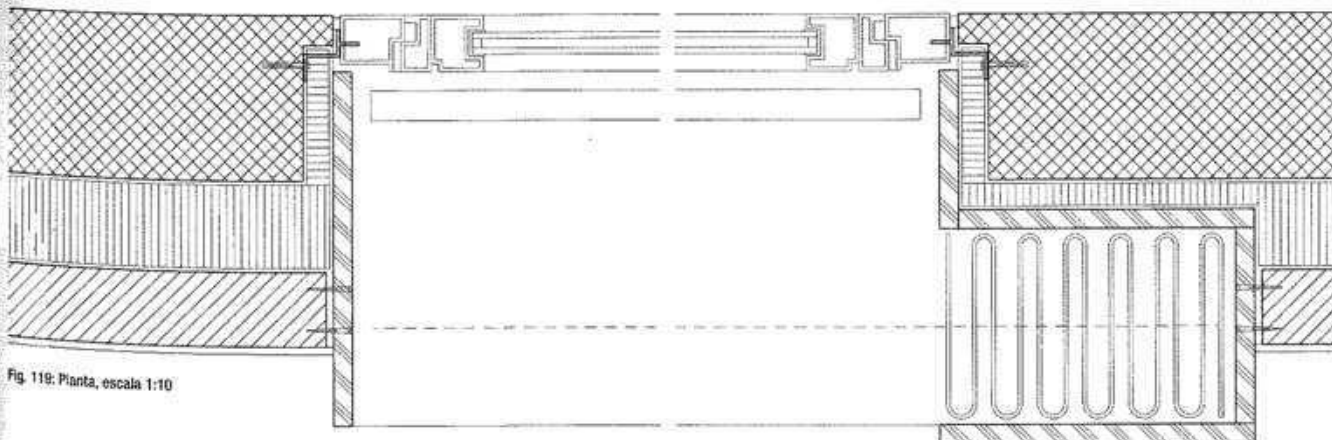


Fig. 119: Planta, escala 1:10

Escuela en Paspels, Suiza

Valerio Olgiati

Martin Tschanz

Escuela en Paspels

La escuela de Paspels se encuentra en el borde superior de esta pequeña localidad suiza, situada en la vertiente sur de una montaña. Los tres cuerpos individuales del edificio, relacionados entre sí, se disponen a lo largo de las curvas de nivel y se adaptan a la topografía local. Se añaden así, sin solución de continuidad, a la dispersa estructura urbana del lugar.

La nueva construcción asume pues esta lógica y se agrega como un elemento solitario en la parte superior de la población. El edificio, de planta cuadrada ligeramente deformada y cuyos lados se desvían unos pocos grados del ángulo recto, tiene una cubierta inclinada paralela a la pendiente y presenta una apariencia extremadamente compacta. Da la impresión de que la escuela estuviera hecha de una materia elástica y resistente que se hubiera conformado por los efectos de la fuerza de gravedad.

Una escalera de un único tramo conduce desde la entrada central, en la planta de acceso, a las dos plantas donde se encuentran las aulas. Estas dos plantas cuentan con tres espacios para las clases y un espacio auxiliar, situados cada uno de ellos en un ángulo y con distinta orientación. Entre las aulas se genera un espacio común cruciforme que, iluminado por todos los lados, se amplía en su brazo noreste para conformar un ámbito de recreo. La luz difusa de esta zona contrasta con la más intensa del sol, cambiante según la hora del día, y que entra por el fondo de los otros tres brazos.

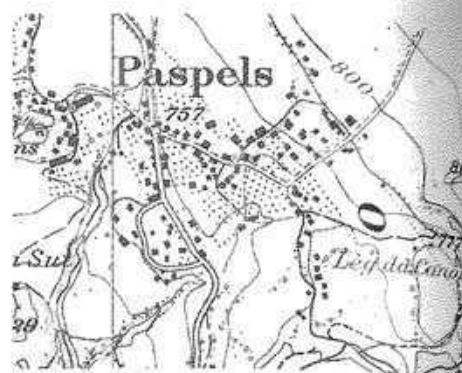


Fig. 124: Paspels: una aldea dispersa

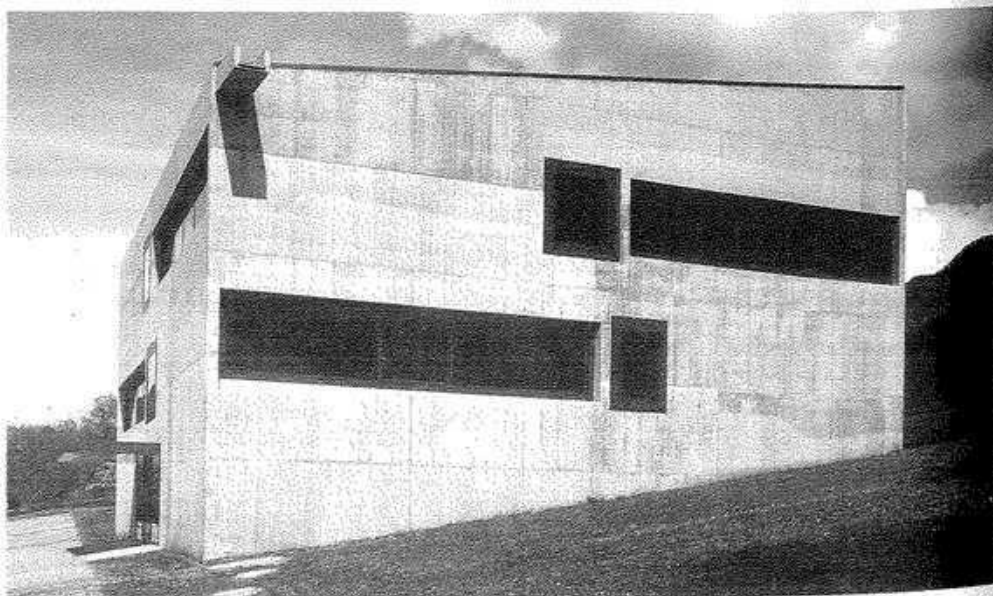


Fig. 123: Dos elementos escultóricos sobresalen del volumen: la gárgola y la marquesina de la entrada

Arquitecto: Valerio Olgiati, Films
 Ejecución: 1996-1998
 Colaboradores: Iris Gätwyler
 Gaudenz Zindel
 Michael Meier
 Raphael Zuber
 Dirección de obra: Peter Diggelmann, Chur
 Estructura: Gebhard Decasper, Chur

Concepto

Fig. 125: Envoltorio exterior

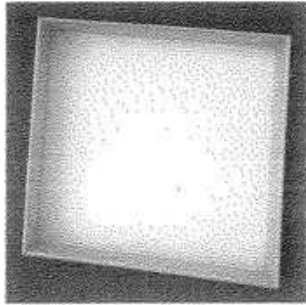


Fig. 126: El revestimiento quebrado interior de las aulas se configura a la manera de un nudo corredizo cerrado

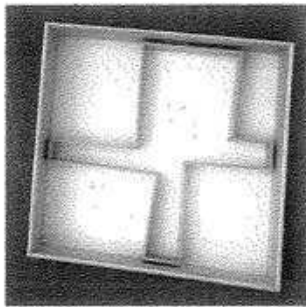


Fig. 127: Nivel del aislamiento en la cara interior

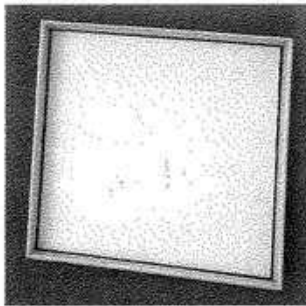


Fig. 128: El sistema estructural elegido permite realizar una nueva distribución en la planta superior

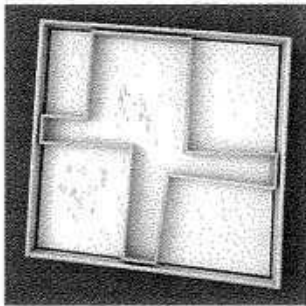
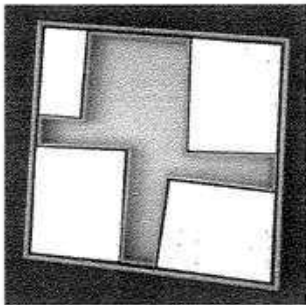


Fig. 129: Las aulas están forradas con un revestimiento de madera



Anteproyecto



Fig. 130: Anteproyecto, planta baja

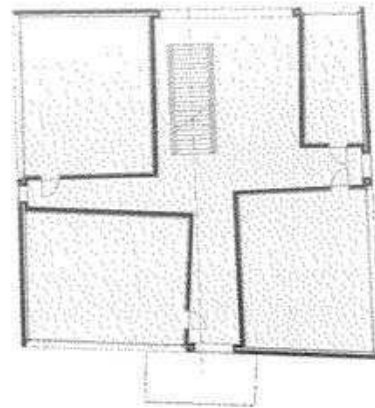


Fig. 131: Anteproyecto, planta primera

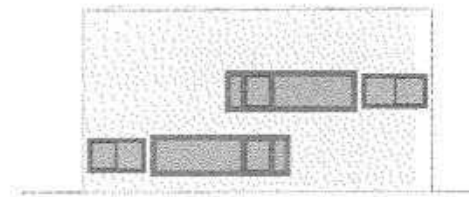


Fig. 132: Anteproyecto, fachada este

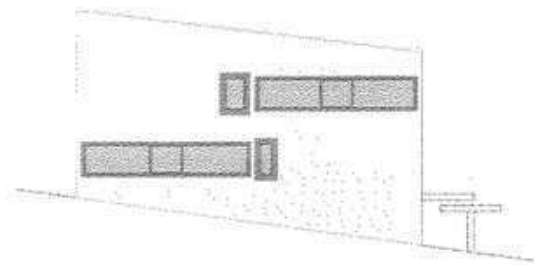


Fig. 133: Anteproyecto, fachada norte

Gebhard Decasper

Estructura y sistema constructivo**Memoria del proyecto de Ingeniería**

Para llevar a cabo satisfactoriamente el concepto arquitectónico, que consiste en separar los volúmenes interiores de la fachada mediante un sólido aislante térmico de 120 mm (sin tener que construir un segundo muro complementario de apoyo para los bordes del forjado), fue necesario encontrar una solución óptima para el soporte de las cargas de las paredes y de los forjados sobre el muro exterior.

Este objetivo pudo lograrse gracias al empleo de elementos metálicos de alta resistencia, compuestos de dos machos o espigas, insertos en la armadura estructural.

En la planta baja, los muros situados a derecha e izquierda de la escalera constituyen el elemento estructural principal del forjado superior. Las paredes interiores de las plantas primera y segunda forman el elemento estructural del forjado que las cubre. Muros y forjados trabajan de forma conjunta (los muros como almas, los forjados como alas). La absorción de los esfuerzos estáticos de apoyo se resuelve a través de los muros exteriores en los extremos de la pared. En las juntas de la fachada se colocaron a plomo piezas metálicas para la absorción de los esfuerzos de cizallamiento, compuestas por dos espigas. El número de piezas metálicas necesario, se dedujo a partir del cálculo a la resistencia de cada una de ellas.

Para eliminar la flexión de los bordes libres del forjado a lo largo de la fachada (luces de entre 8 y 10 m), en el centro de cada zona de borde del forjado y en los ángulos de la fachada se colocaron también los correspondientes puntos de apoyo con ese tipo de piezas metálicas.

La forma de resolver la absorción de los esfuerzos a cizallamiento en la zona de las piezas metálicas fue objeto de una especial atención.

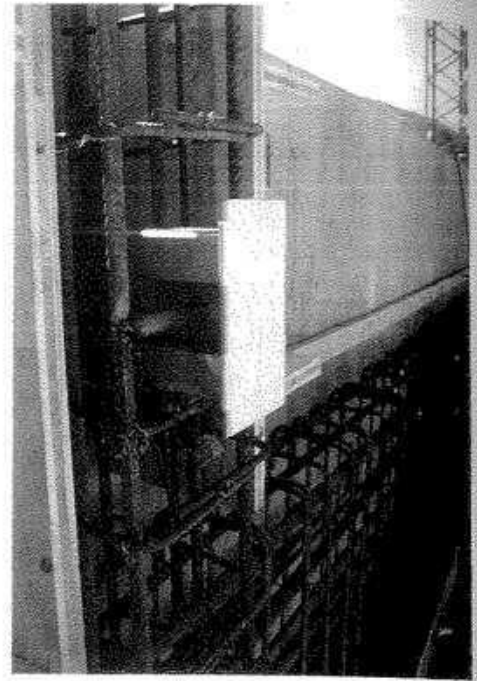


Fig. 136: La armadura estructural con la inclusión de la pieza metálica para la absorción de los esfuerzos a cizallamiento

En la zona de las piezas metálicas el grosor del aislamiento se redujo a 50 mm, una dimensión admisible desde el punto de vista de la física de la construcción. Para evitar en la medida de lo posible la aparición de grietas en la fachada, especialmente junto a las largas ventanas, fue necesario reforzar la armadura a todo lo largo en esa área. El cálculo estructural de esta nueva construcción constituyó todo un desafío para el ingeniero que lo realizó.

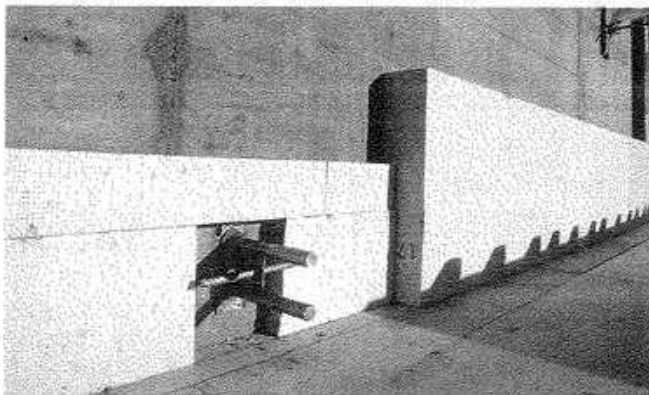


Fig. 134: Reducción del aislamiento en la zona de las piezas metálicas

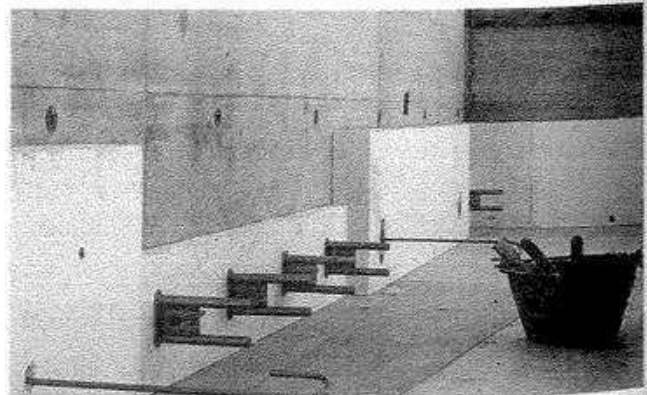


Fig. 135: Hilera de piezas metálicas en la zona de pasillo

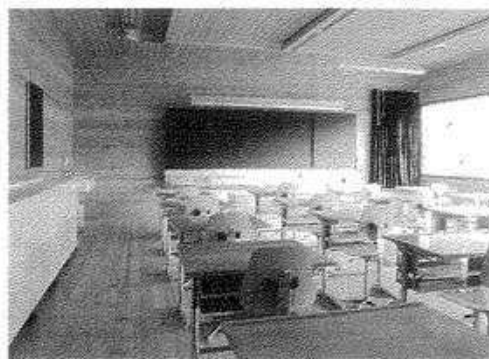


Fig. 137: Planta segunda, aula orientada al sur

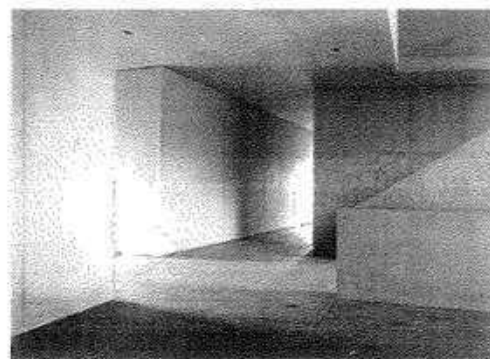
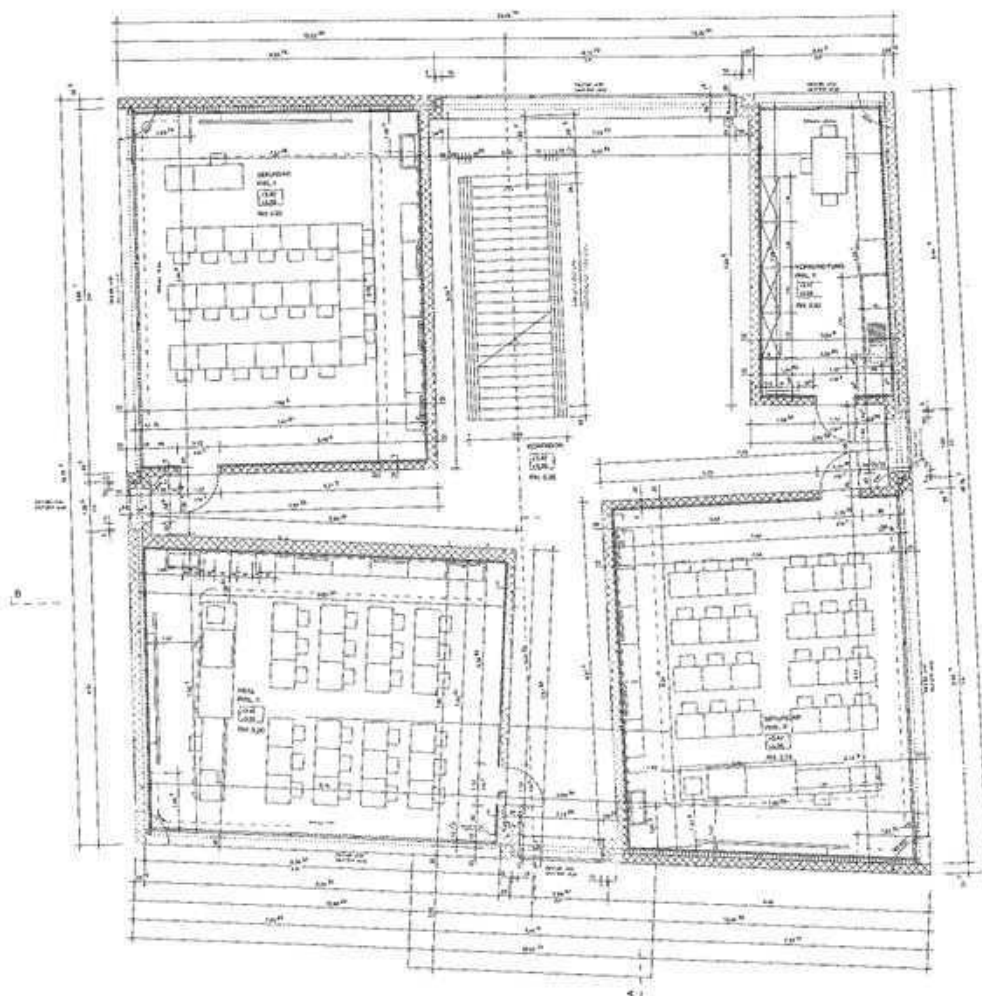


Fig. 138: Zona de recreo en la primera planta

Fig. 139: Planta primera 1:200
Plano de ejecución 1:50 (reducido)

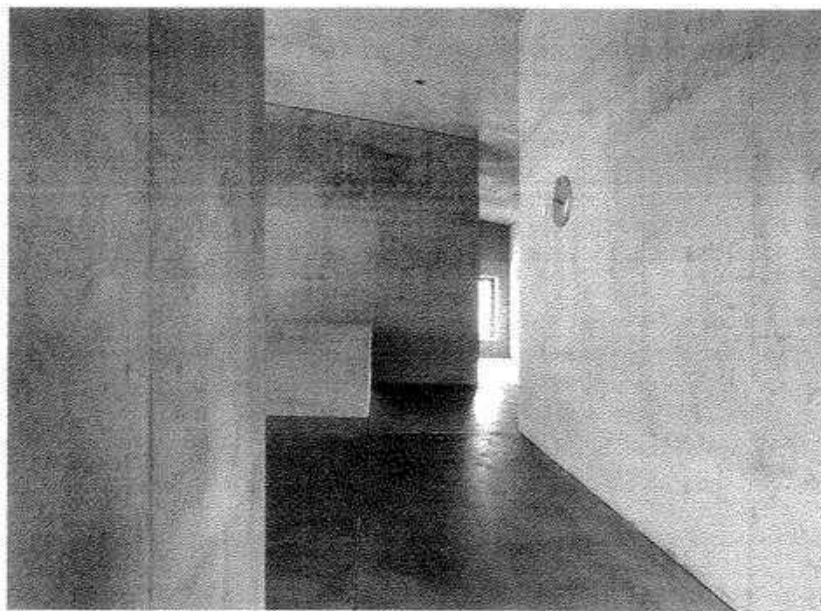


Fig. 140: Zona para pausas en la segunda planta

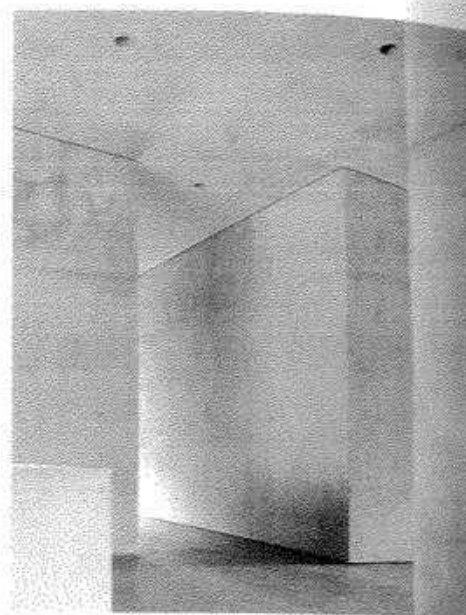
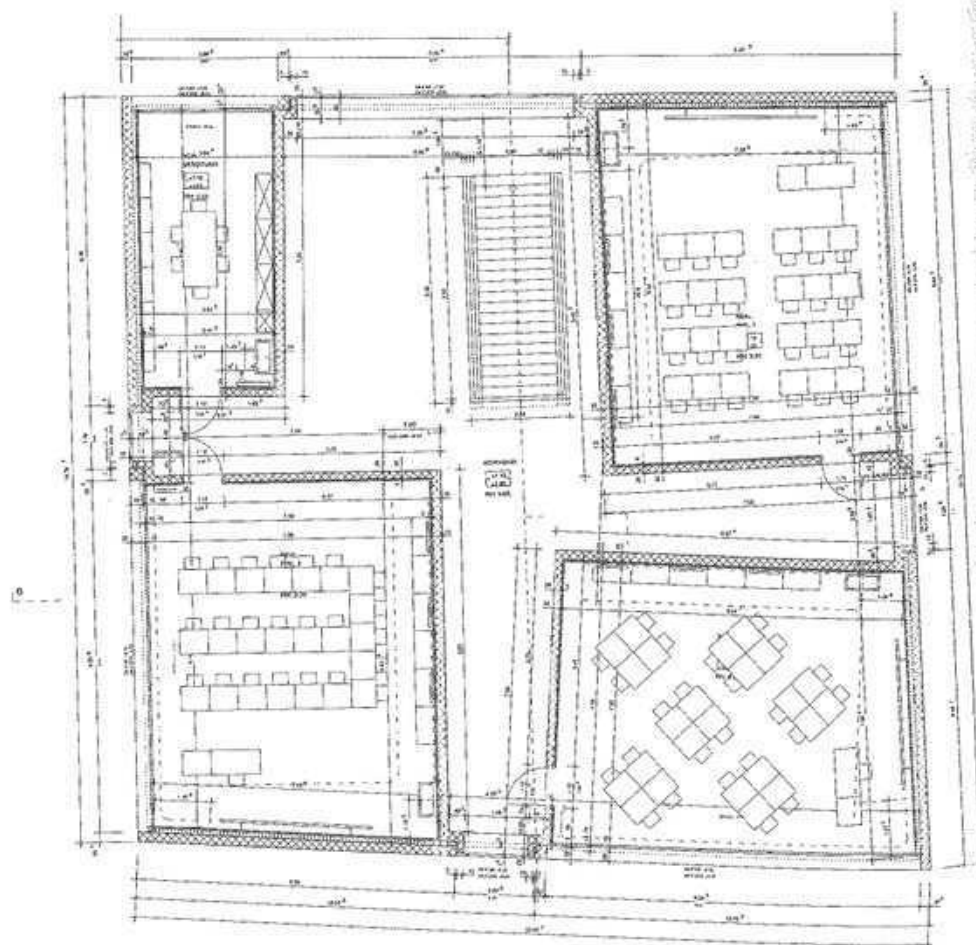


Fig. 141: Pasillo en la segunda planta

Fig. 142: Planta segunda 1:200
Plano de ejecución 1:50 (reducido)

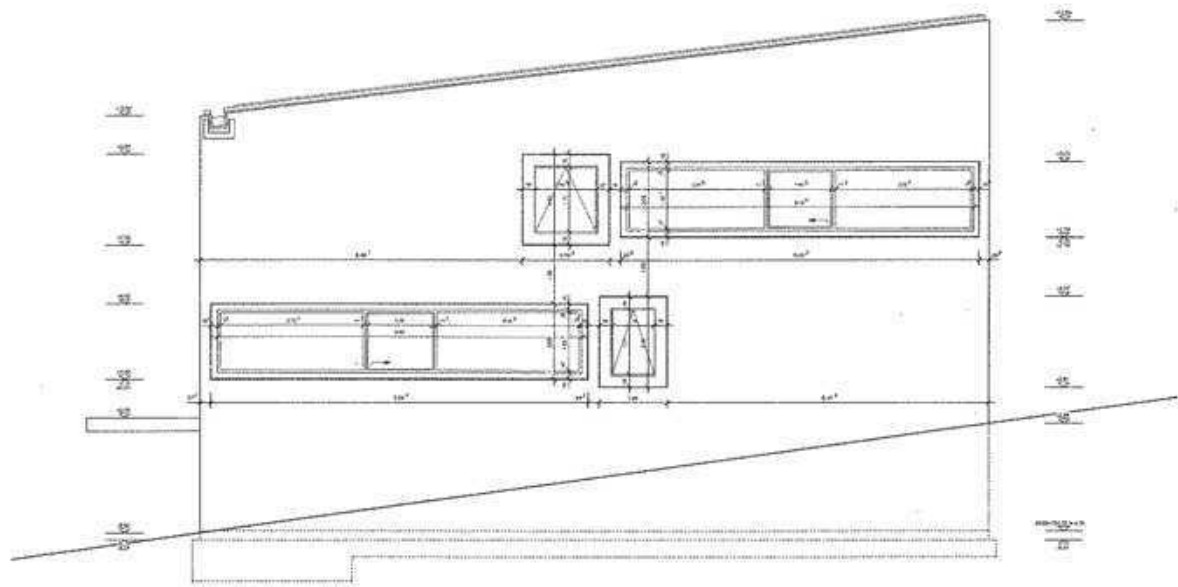


Fig. 143: Alzado sur 1:200
Plano de ejecución 1:50 (reducido)

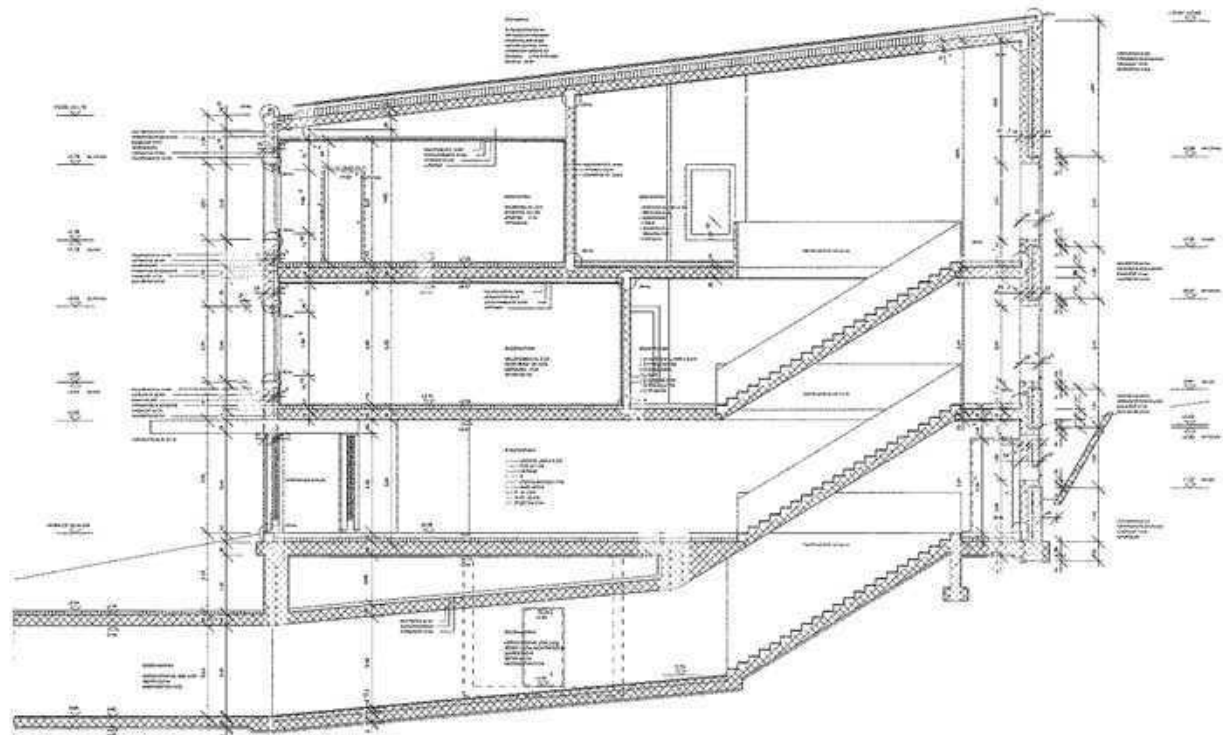


Fig. 144: Sección 1:200
Plano de ejecución 1:50 (reducido)

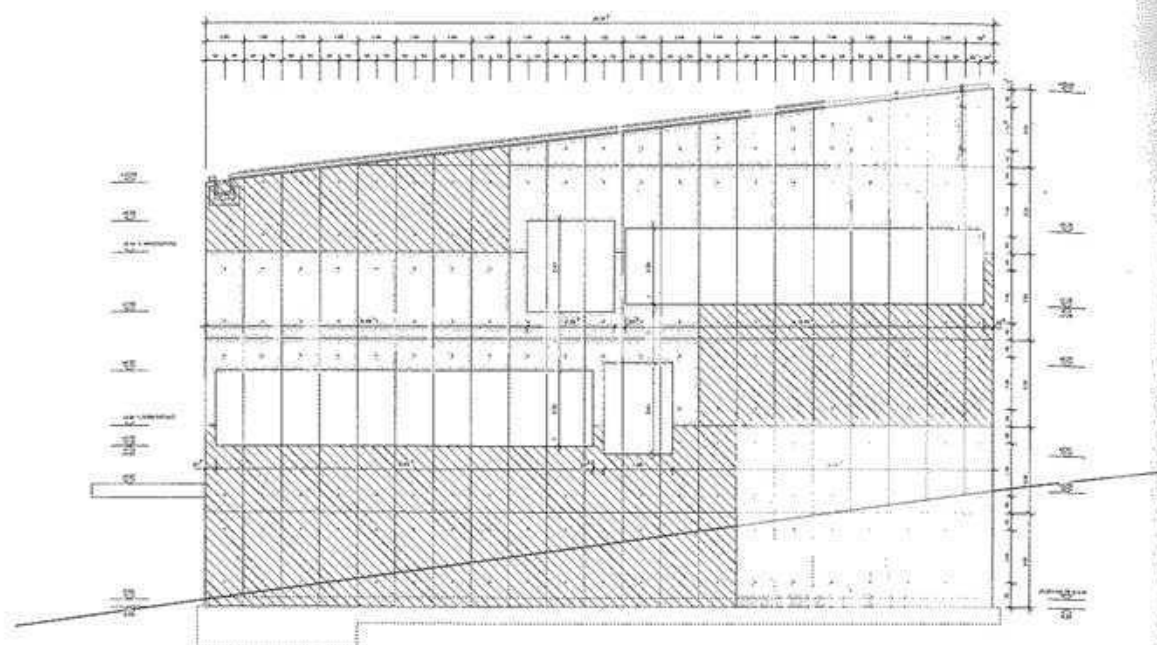


Fig. 145: Alzado sur, plano de encofrado 1:200
Plano de ejecución 1:50 (reducida)

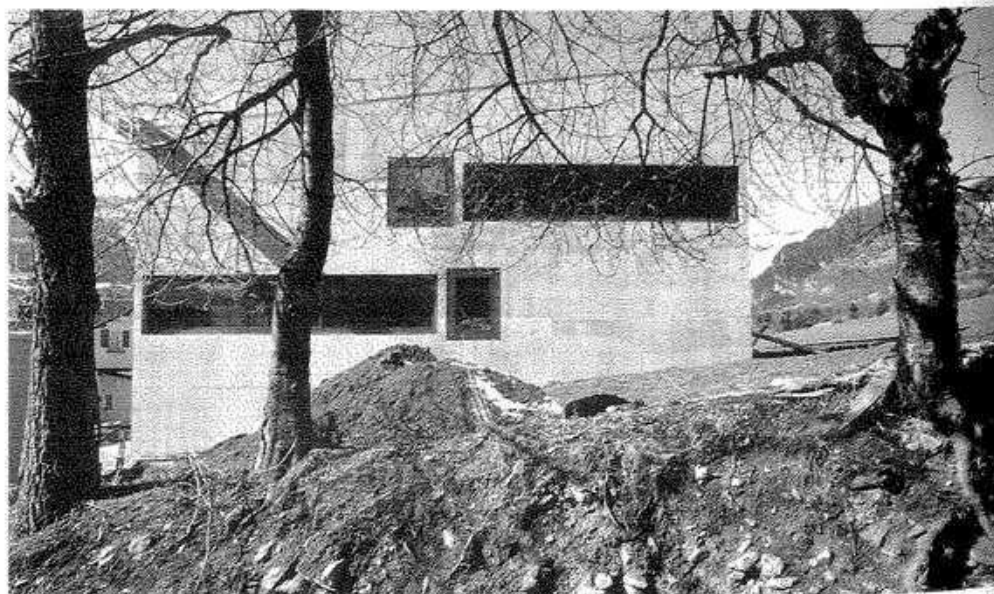


Fig. 146: Fachada sur

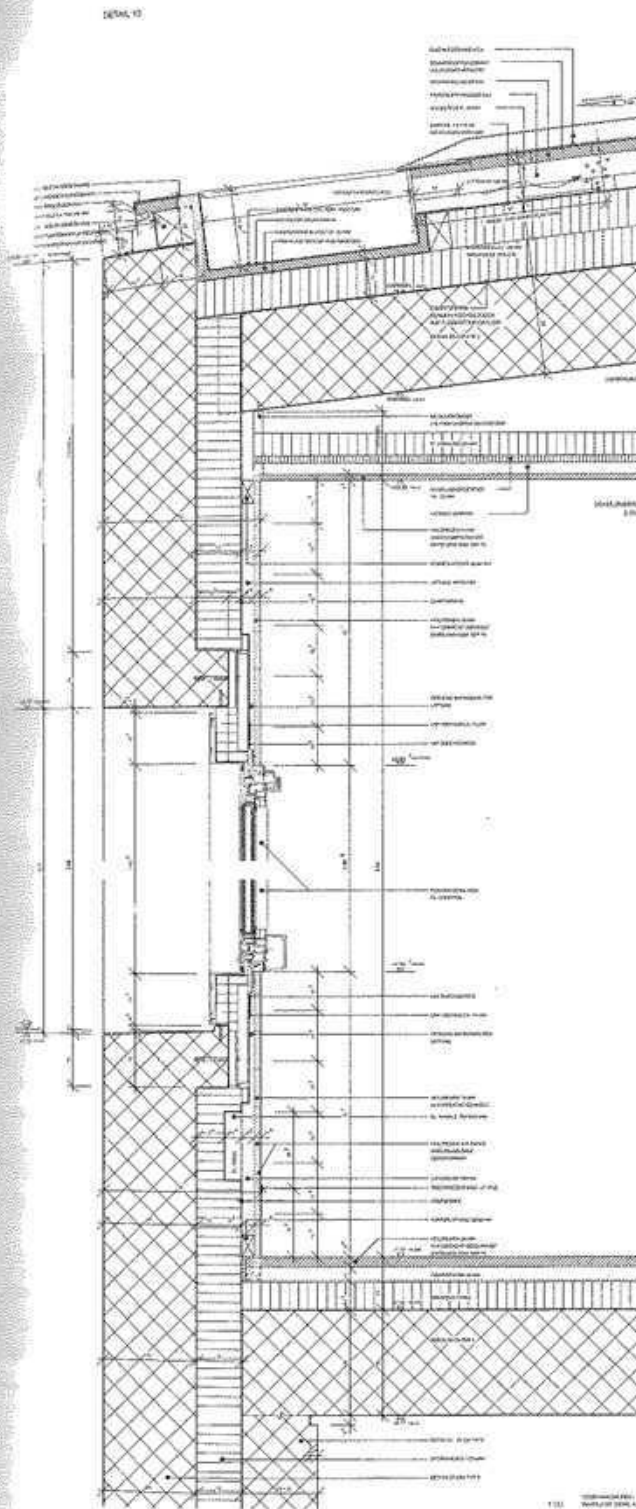


Fig. 147: Ventana de un aula 1:20
Diseño de detalle 1:5 (reducido)

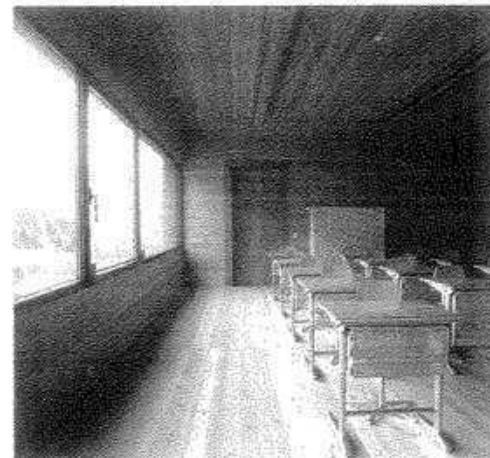


Fig. 148: Ventana de un aula enrasada interiormente

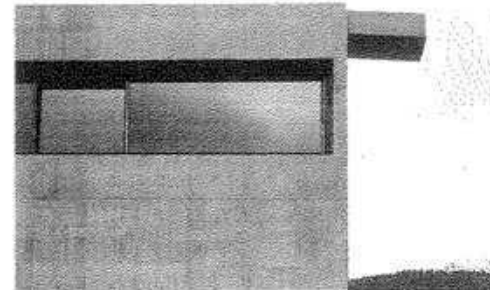


Fig. 149: Ventana de un aula enrasada interiormente

Construcción de forjado

Tarima de tablas machihembradas con fijación oculta	26 mm
Pavatherm NK	40 mm
Aislamiento	74 mm
Hormigón, tipo 6	280 mm

Construcción del muro

Hormigón, tipo 5	250 mm
Aislamiento	120 mm
Barrera de vapor	
Rastrel	30/60 mm
Revestimiento de madera, Tablas machihembradas con fijación oculta	18 mm

Construcción de la cubierta

Tejado de chapa de cobre	
Tela asfáltica pegada en toda su superficie	
Entablado	29 mm
Rastrel	60/60 mm
Tabla delgada, ripia	40 mm
Sarnafil TU122/08 pegado en toda su superficie	
Aislamiento térmico, colocado solapado	2 x 100 mm
Barrera de vapor	
Hormigón, tipo 2	260 mm

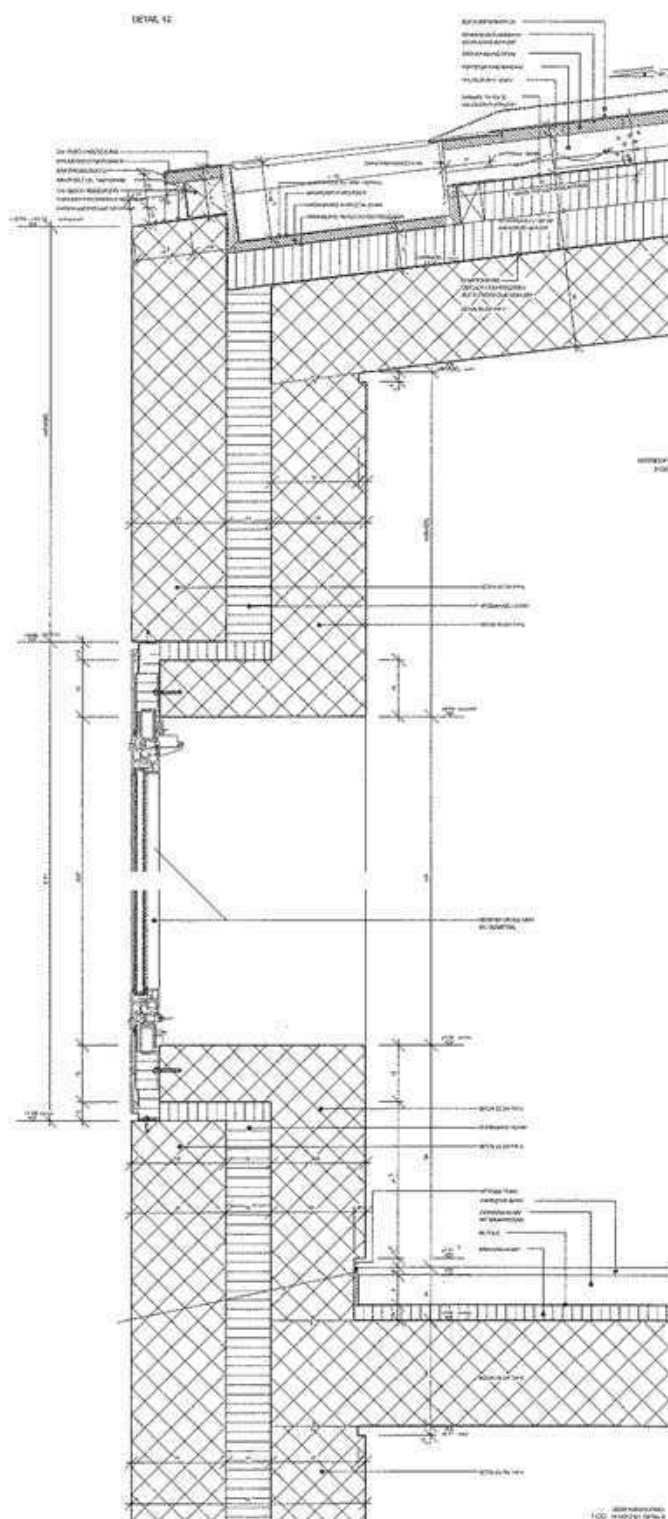


Fig. 150: Ventana de pasillo 1:20
Plano de detalle 1:5 (reducido)

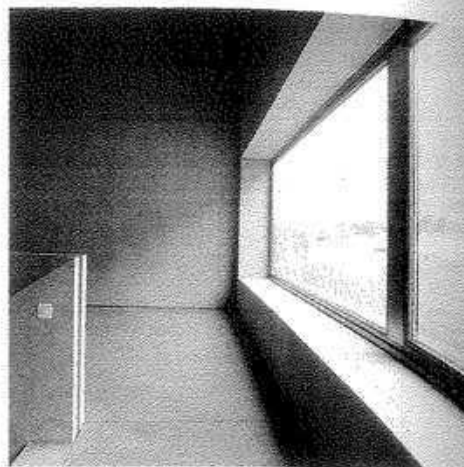


Fig. 151: Ventana de pasillo en el ámbito de la zona de recreo enrasada exteriormente

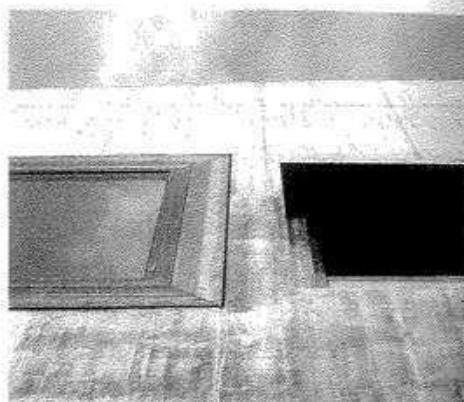


Fig. 152: Alternancia de las ventanas a haces interiores y exteriores

Construcción del forjado

Hormigón	20 mm
Suelo radiante	80 mm
Lámina de PE	
Aislamiento	40 mm
Hormigón, tipo 6	280 mm

Construcción del muro

Hormigón, tipo 5	250 mm
Aislamiento	120 mm
Hormigón, tipo 5	250 mm

Construcción de la cubierta

Tejado de chapa de cobre	
Tela asfáltica, pegada en toda su superficie	
Entablado	29 mm
Rastrel	60/60 mm
Tabla delgada, ripia	40 mm
Sarnafil TU122/08 pegado en toda su superficie	
Aislamiento térmico colocado solapado	2 x 100 mm
Barrera de vapor	
Hormigón, tipo 2	260 mm

Escuela Volta, Basilea, Suiza

Miller + Maranta

Judit Solís

Situación y descripción

En el barrio de St. Johann de Basilea chocan entre sí, con una gran tensión, distintas escalas urbanas. Los edificios de viviendas y la enorme área industrial de Novartis se encuentran muy próximos entre sí; además de la circunvalación norte y el puerto fluvial del Rin. Y entre ambos polos, un bloque de enormes dimensiones y desarrollo ininterrumpido, el poderoso volumen del que fuera en tiempos almacén de carbón y, desde la década de 1960, depósito de carburante para una central térmica cercana.

A consecuencia de la reforma escolar de Basilea y del gran aumento de la población en este barrio durante los últimos años, fue necesario dotar a la zona de más escuelas. En 1996 el cantón de Basilea convocó un concurso para la realización de una escuela equipada con doce aulas, espacios adyacentes específicos y un gimnasio doble.

Lejos de intentar reparar la estructura urbana del barrio, el proyecto construido resalta por el contrario el carácter de ruptura que aquella posee en este lugar de la ciudad. Con gran sensibilidad, el edificio actúa como elemento de mediación entre los distintos usos y las diversas escalas constructivas que aquí coinciden.

El rotundo volumen del almacén, edificación que dota de un carácter especial al barrio, sirvió como punto de partida del proyecto. El nuevo colegio ocupa el lugar del primitivo depósito de gasoil, se adosa al edificio aún existente del almacén y se alinea con él; únicamente le supera en altura. La excavación de unos 6 m de profundidad, resultante de la extracción del tanque de carburante, se aprovechó para alojar el gimnasio. Con su pavimento de grava y su arbolado, el patio de recreo cumple también la función de plaza urbana.



Fig. 154: Plano de situación

Las fachadas contribuyen a hacer que la escuela se entienda como elemento de articulación entre la zona residencial y la industrial. Son de hormigón armado y, a pesar de albergar grandes huecos en sus lados este y oeste, las divisiones de las placas del encofrado confieren al edificio un carácter monolítico. Dicha compacidad, unida a las ventanas de aluminio y madera enrasadas con la cara exterior, aluden a la construcción industrial más cercana, en particular a la central térmica, sin que por ello se pueda hablar de una estética fabril banal: el hormigón ligeramente amarillento de la fachada tiene una apariencia cálida y patinada, al igual que en el almacén colindante, pero, a la vez, su carácter liso se destaca como un material con una textura esencialmente distinta.

Extrado de *Architese*, enero de 2001.

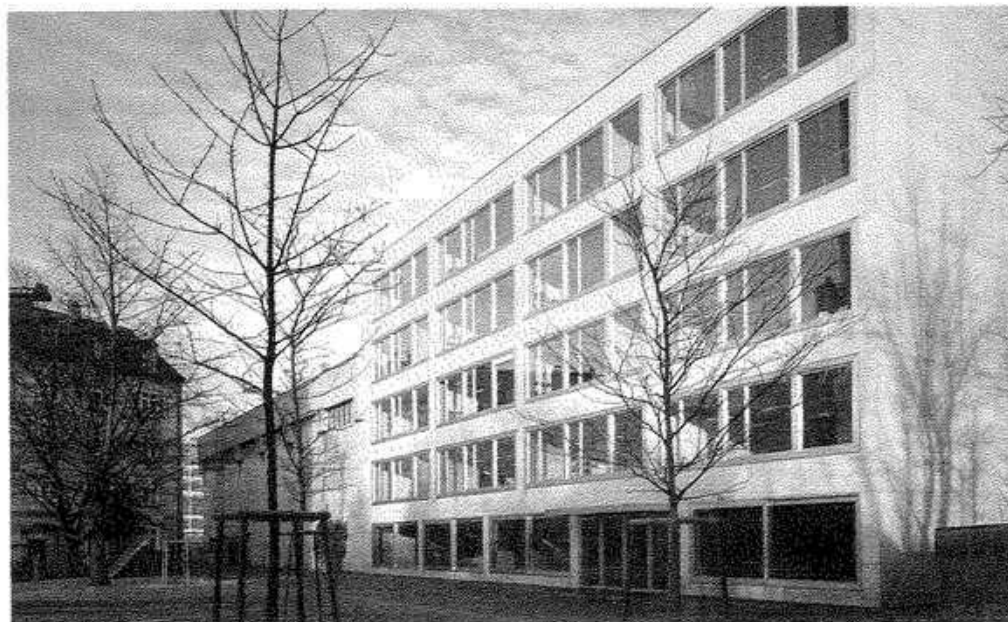


Fig. 155: Fachada de acceso con el patio de recreo

Arquitectos: Miller + Maranta, Basilea
 Ejecución: 1997-2000
 Colaboradores: Peter Baumburger,
 Ottmar Brögger,
 Michael Meier,
 Marius Hug
 Estructura: Concert Bronzini Gartmann, Chur

Jürg Conzett

Estructura espacial

La entrada principal del colegio está orientada hacia el patio de recreo, que se desarrolla de un extremo a otro del edificio para abrirse en toda su extensión al patio. En uno de los ángulos del vestíbulo se sitúa la escalera que conduce al primer sótano, donde se encuentra la galería del gimnasio y los vestuarios. A partir de este nivel, otra segunda escalera lleva al segundo sótano. En el otro extremo se encuentra la escalera de acceso al primer piso, planta que aloja los espacios comunes de la escuela. Dos cajas más pequeñas de escaleras conducen a las plantas superiores.

La articulación de estas plantas está determinada en gran medida por la profundidad de la edificación y por las placas estructurales. La articulación de los cuatro niveles espaciales es sencilla: en la fachada de cada uno se encuentra un aula, ligada a un patio interior, mientras al otro lado del mismo se sitúa una sala para clases especiales. El resultado es, con todo, complejo: la laberíntica trama desarrollada en torno a los patios interiores permite siempre interesantes vistas sobre los patios, el entorno, las aulas y, con frecuencia, a través de las diferentes capas espaciales. Con ello no sólo se garantiza la orientación, sino que el específico carácter de esta parte de la ciudad —determinado por la industria y la vivienda— se evidencia nitidamente.

La entrada al edificio se sitúa sobre el lado residencial del barrio, caracterizado por edificios más bien pequeños,

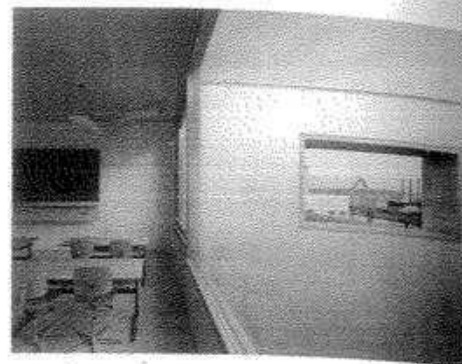


Fig. 156: Área de conexión y patio interior

a excepción de la central térmica que, con su chimenea de casi 100 m de altura, permite reconocer el sorprendente cambio de la estructura urbana operado en la vecindad. A medida que se asciende por el edificio, la vista se abre cada vez más hacia el otro lado de la ciudad, hacia el área industrial y las grúas del puerto, que con su inesperada dimensión parecen apretarse contra la escuela. Estas escenografías contribuyen a mostrar el sorprendente salto de escala y abren, en el sentido más real de la palabra, nuevas perspectivas para el barrio.

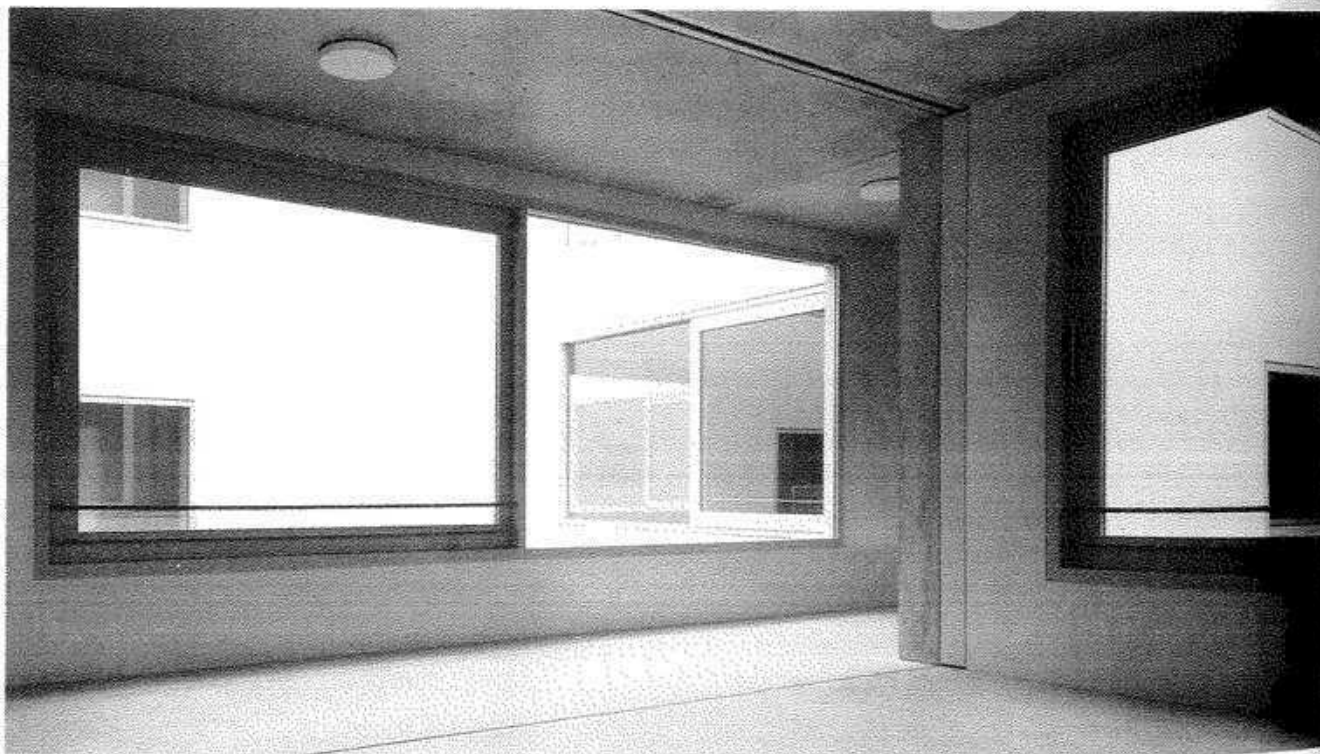


Fig. 155: Aula y patio interior con vistas al puerto del Rin

Estructura espacial

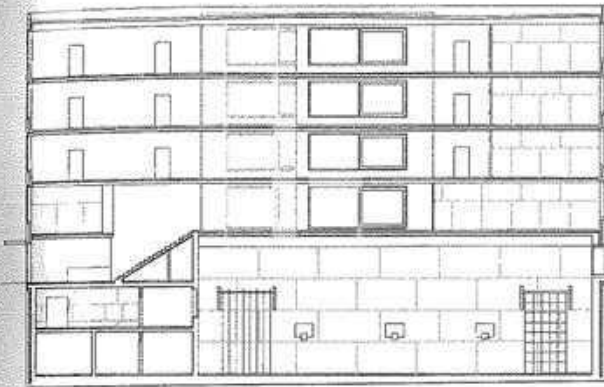


Fig. 157: Sección transversal 1:500

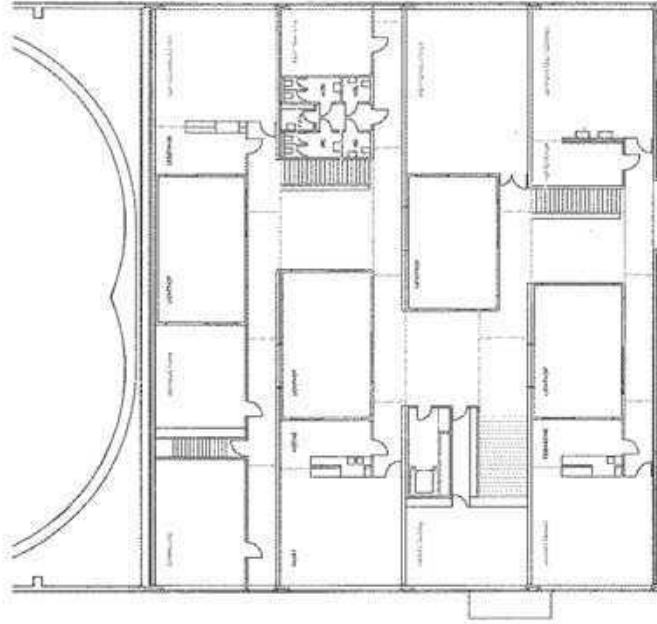


Fig. 158: Planta primera 1:500

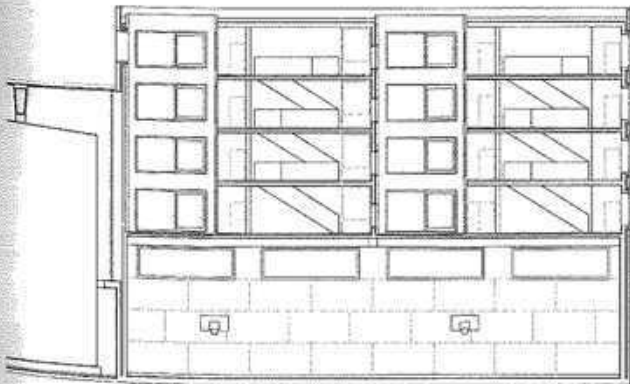


Fig. 159: Sección longitudinal 1:500

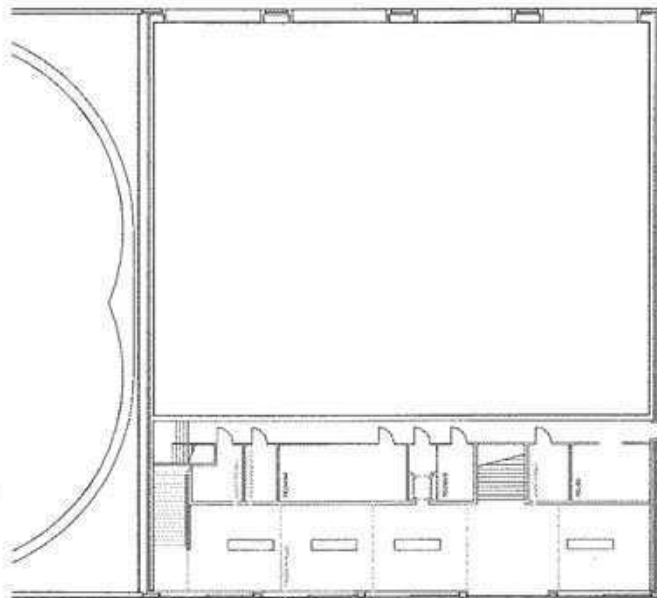


Fig. 160: Planta baja 1:500

Estructura, sistema estático

El uso mixto del edificio —sobre el gran espacio del gimnasio se sitúan varias plantas con ámbitos espaciales más pequeños— y la gran profundidad del mismo, de aproximadamente 40 m, conducen a una reinterpretación inusual de la construcción maciza. El estudio de ingeniería Conzett Bronzini Gartmann desarrolló un sistema estructural que consiste en la unión de losas y placas de hormigón que puede prescindir de vigas de apoyo. En dos de los muros paralelos del gimnasio se apoya una losa que salva una luz de 28 m y vuela 12 m. Sobre esta losa se colocan placas estructurales que dividen el edificio en cuatro capas espaciales. Los momentos de torsión se amortiguan gracias al pretensado.

En la construcción maciza propiamente dicha, la utilización de elementos que cumplen a la vez la función de dividir el espacio y de llevar a cabo tareas estructurales adquiere una especial significación; especialmente en casos como éste, cuando la estructura espacial y la estática se han desarrollado como un concepto unitario. Lo interesante es que el principio constructivo experimentado aquí, con placas apoyadas en un único lugar, abre nuevas posibilidades de configuración espacial en la construcción maciza, susceptibles de ser investigadas.

El principio constructivo sobre el que descansa el edificio resulta claramente legible pero, en todo caso, no resulta llamativo. Aunque no sean portantes, las fachadas contribuyen a rigidizar el edificio en toda su longitud y se unen a la estructura portante sólo puntualmente. Este hecho se pone de manifiesto, entre otros detalles, en el desplazamiento de los ejes en la fachada oeste. La con-

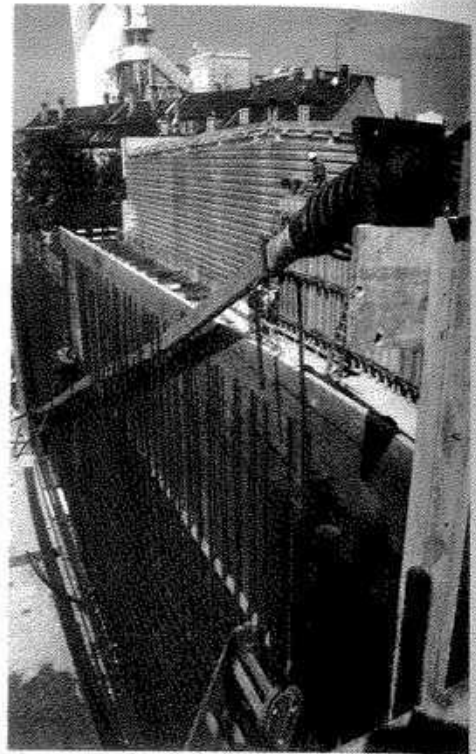


Fig. 162: Placa con armadura y cable de pretensado

figuración material hace referencia igualmente a la función estática: los elementos portantes —forjados y placas— están realizados con hormigón visto, mientras que los no portantes son de material ligero.

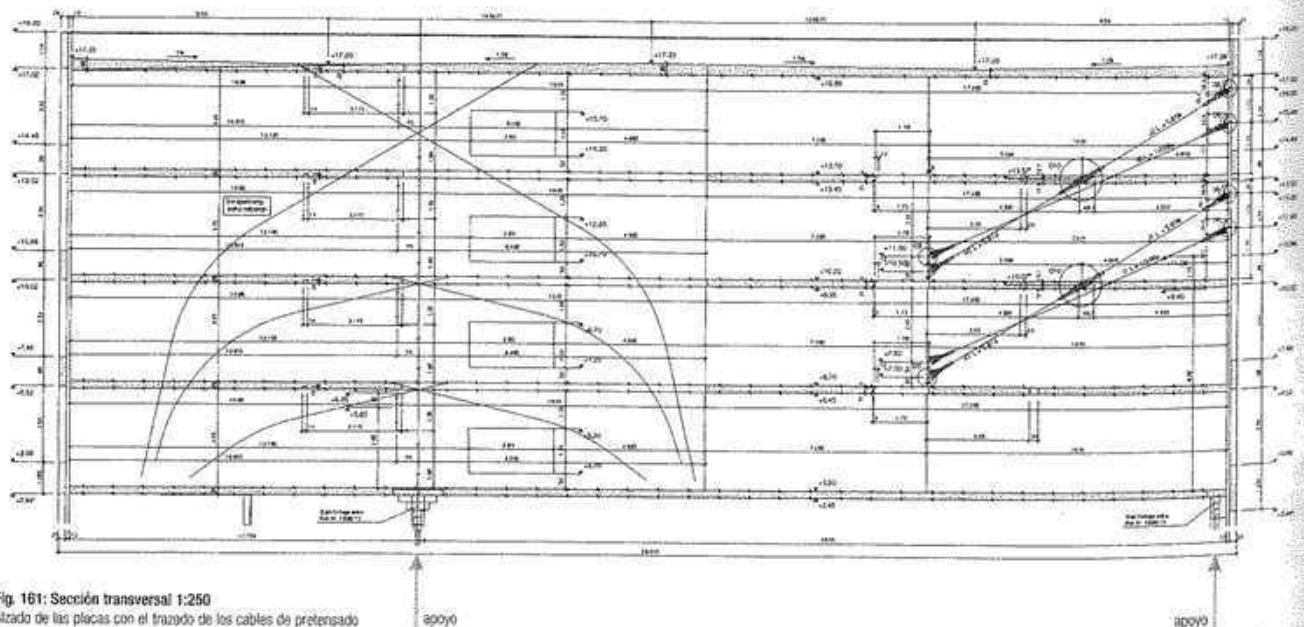


Fig. 161: Sección transversal 1:250
Alzado de las placas con el trazado de los cables de pretensado



Fig. 163: Fachada este



Fig. 164: Patio de luces

Fachadas exteriores y a patios de luces

Fachadas exteriores

La fachada se organiza con amplia independencia de la estructura espacial, con paños concebidos como una construcción pretensada de una capa, unida tan sólo puntualmente a las placas portantes. La fachada, estáticamente autónoma y construida sin juntas de dilatación, abraza el sistema constructivo de losas y placas como una envoltura independiente. Envoltura y placas estructurales se han construido con el mismo material, evitando así una percepción ambigua y fragmentada del edificio.

En la fachada de hormigón visto, articulada con bandas de ventanas metálicas, no se adivina ni la organización espacial ni la enorme profundidad espacial del edificio.

En el interior, la contraposición entre estructura y concepto constructivo se reduce a una sencilla complementariedad entre caparazón y revestimiento.

Fachadas a patios de luces

Los patios de luces, revestidos con paneles de madera aglomerada nacarados y ventanas de madera enrasadas a los mismos, dan la impresión de ser elementos pulidos y compactos, insertos dentro de un monolito de hormigón.



Fig. 165: Alzado este con la configuración del encofrado 1:500

Fachadas exteriores y a patios de luces

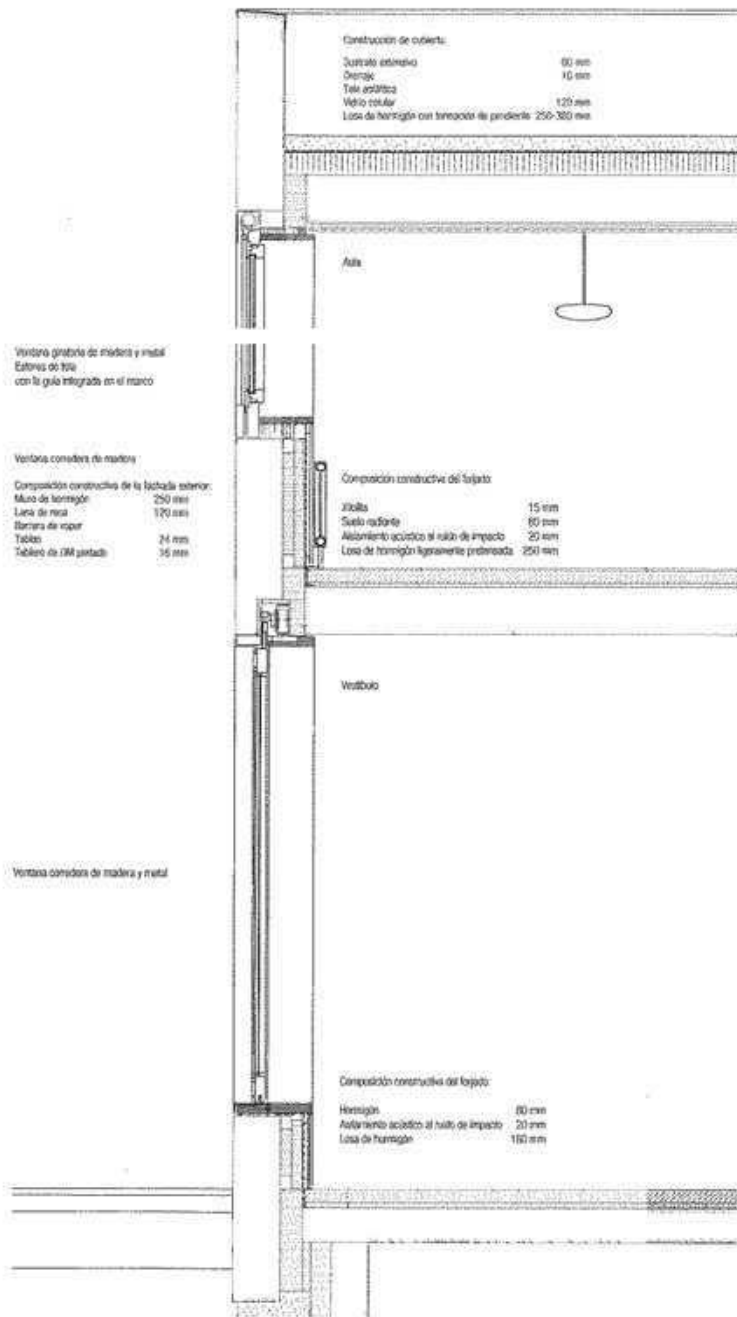


Fig. 166: Sección constructiva de la fachada

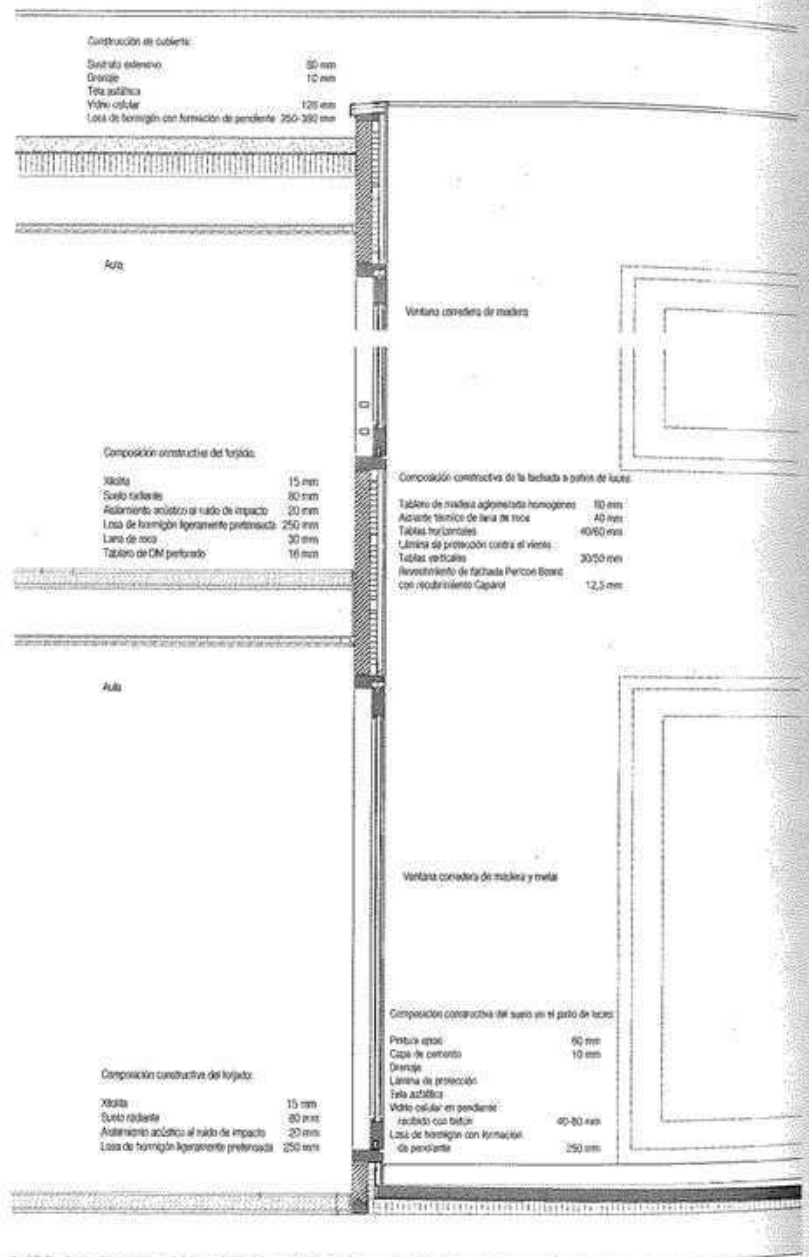


Fig. 167: Sección constructiva del patio de luces



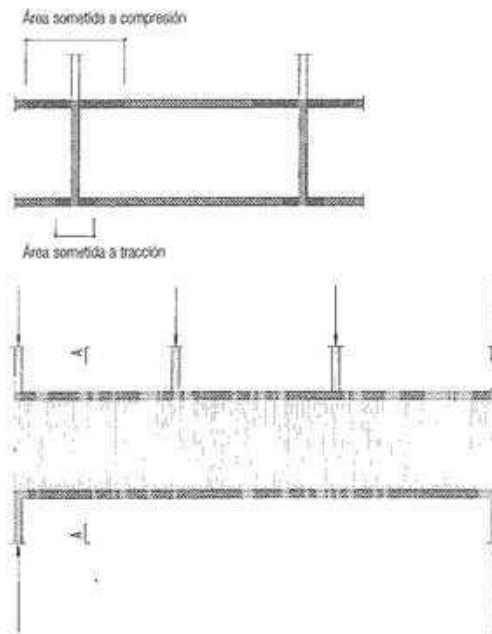


Fig. 168: Esquema en sección

Losa portante que recoge los esfuerzos de una línea de pilares (sección transversal y longitudinal)

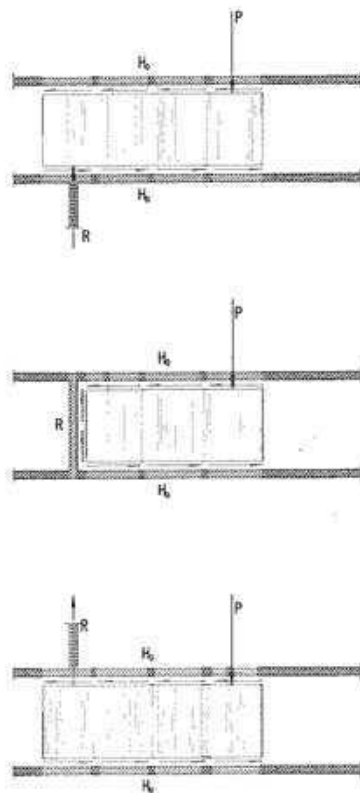


Fig. 169: Esquema en sección

Placa apoyada puntualmente como elemento estructural fijo. La torsión producida por la carga P y el apoyo R se contrarresta con el par de fuerzas H_1 y H_2 generado en los forjados.

Apéndice sobre la estructura portante Las placas estructurales en la construcción en altura

La idea del empleo combinado de forjados y paredes estructurales dentro de la edificación en altura no es nueva. Por lo general, este principio se emplea la mayoría de las veces sólo localmente cuando no funcionan otras posibilidades, como sucede, por ejemplo, en el caso de apuntalamientos o voladizos de plantas sometidas a grandes esfuerzos. No obstante, empleado como un principio constructivo sistemático, en edificios con complejos programas espaciales, puede convertirse en una interesante alternativa a la construcción con armazón o esqueleto.

Como punto de partida de nuestras observaciones, tomamos una placa de hormigón unida rigidamente a los forjados superior e inferior. Una placa así puede emplearse, por ejemplo, como una viga con sección en doble T que transmite los esfuerzos de una hilera de pilares a los muros exteriores (fig. 168). Si aprovechamos el hecho de que los forjados de un edificio en la mayor parte de los casos están apoyados de forma fija en los núcleos interiores y las paredes exteriores, es posible realizar aplicaciones mucho más variadas e interesantes. Cuando se da esa circunstancia, es suficiente con apoyar la pantalla en un lugar cualquiera y único para hacer de ella un elemento estable (fig. 169). De este modo, la placa como elemento estructural de la fig. 168 puede dividirse en dos placas de diferente tamaño, sin reducir por ello su capacidad portante (fig. 170).

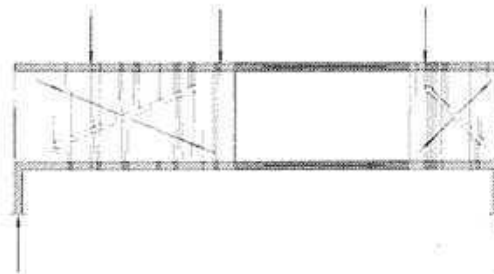


Fig. 170: Esquema en sección

Sistema compuesto por dos placas de distinto tamaño

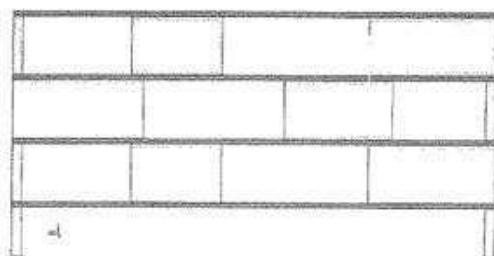


Fig. 171: Sistema de placas rígidas colocadas en un plano (sistema A)

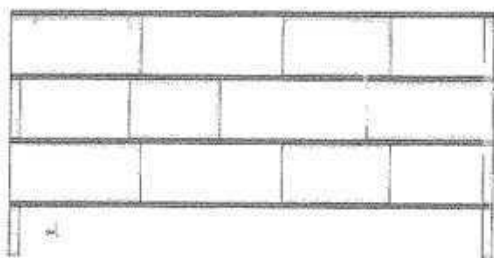


Fig. 172: Sistema de placas rígidas colocadas en un plano (sistema B)

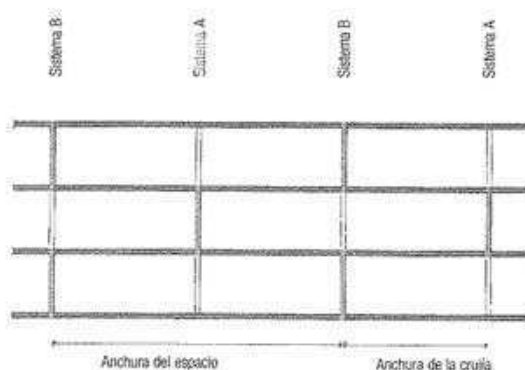


Fig. 173: Sección B-B a través de varios sistemas, situados uno tras otro, de las figs. 171/172

Los esfuerzos horizontales desiguales que deben transmitirse desde las placas verticales a los forjados —siempre con la condición de que los apoyos entre placas y forjados sean fijos— se conducen a la cimentación a través de las fachadas o de los núcleos interiores. Los forjados están sometidos a dos tipos de esfuerzos diferentes: por una parte actúan como losas estructurales que reparten los esfuerzos de las diferentes cargas a la fachada (esta es la función estructural convencional de los forjados), y, por otra, actúan en combinación con las placas adquiriendo una función similar a la de las alas de un perfil laminado. Los forjados se convierten así en una especie de elementos estructurales sintéticos e interactivos que ejercen varias funciones al mismo tiempo. Desde hace tiempo es frecuente el empleo de elementos interactivos en la construcción de puentes. La losa de la calzada de un puente con estructura de vigas tipo cajón tiene que transmitir los esfuerzos del tráfico a las almas transversalmente, mientras que en el sentido longitudinal actúa como elemento de unión entre las vigas. En la edificación en altura las solicitaciones procedentes de las placas son por lo común tan pequeñas que el dimensionado convencional a flexión determina por sí solo el grosor de la losa. Las solicitaciones de la placa deben considerarse tan sólo a la hora de calcular la armadura.

Una placa empotrada puede servir para el apoyo o punto de suspensión de otra placa. De este modo, es posible construir sistemas enteros de mamparas rígidas (figs. 171 y 172). Como ya se ha explicado, es suficiente con que las placas entren en contacto en un único punto. Los forjados descansan entonces en las placas o se suspenden de las mismas. La colocación por encima o debajo de las placas no afecta a su función estructural; mediante el empleo de sistemas de placas complementarios se pueden reducir las luces del forjado incluso a la mitad de la longitud del espacio (fig. 173).

Los sistemas de placas empotradas no tienen por qué limitarse a un solo plano. Cada placa puede plegarse o girarse una contra otra sin que ello perjudique su capacidad portante ni dificulte su fabricación (fig. 175). Siempre y cuando se den las condiciones de que el forjado sea inalterable a los esfuerzos horizontales y la placa se una al mismo en al menos un punto, existen múltiples combinaciones posibles. Empleando elementos constructivos como los citados para la transmisión de esfuerzos, puede prescindirse de otros elementos estructurales como nervaduras, vigas o barras.

Varios ejemplos examinados en detalle muestran que con este sistema es posible salvar sin gran esfuerzo luces de hasta 40 m en edificios de tres o más alturas. El grosor de las placas varía entre 20 y 35 cm. Aunque el planeamiento y ejecución del sistema es sencillo y económico, exige una estrecha colaboración entre arquitectos e ingenieros desde el inicio mismo del proyecto, y deja poco espacio para la improvisación.

Extraído de *Werk, Bauen + Wohnen*, septiembre de 1997

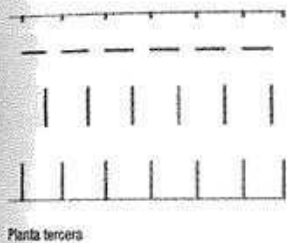
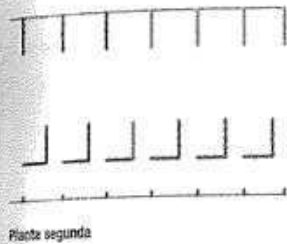
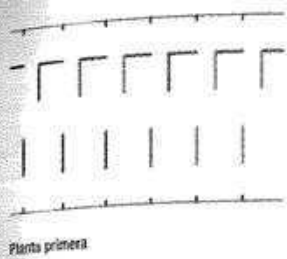


Fig. 174: Esquemas en planta para la axonometría (que figura abajo)

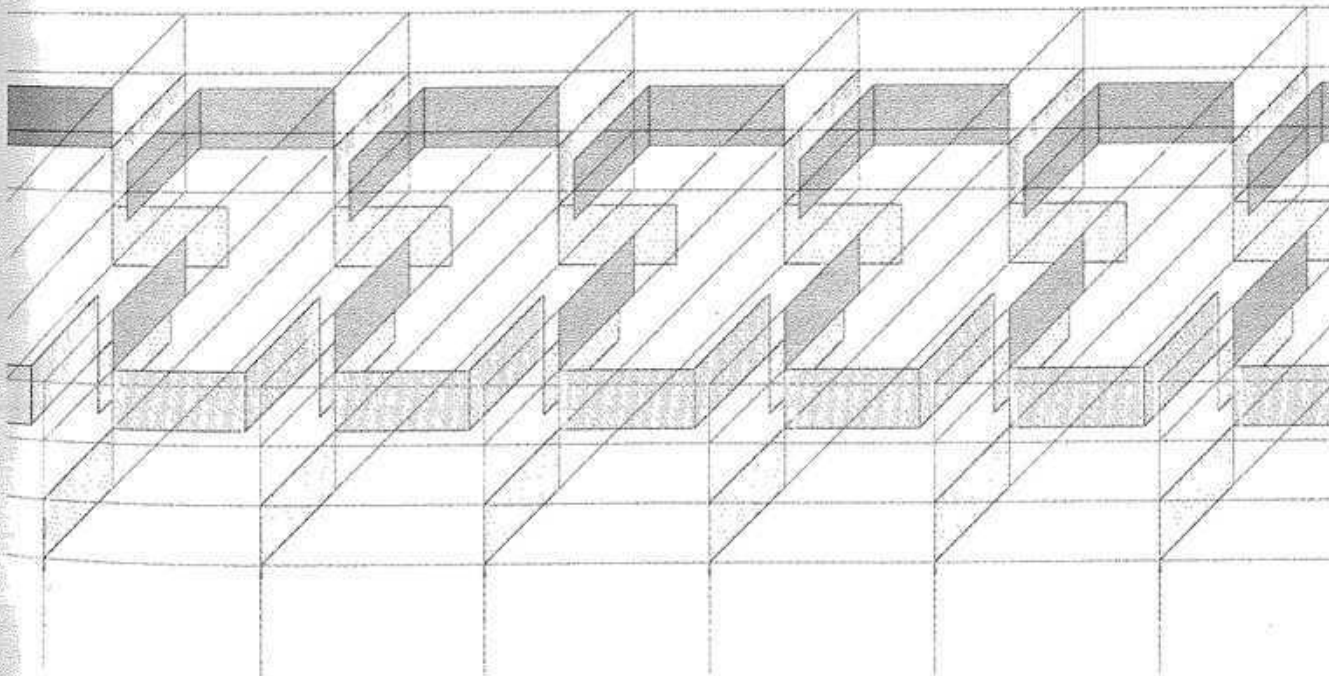


Fig. 175: Axonometría de un esbozo básico para un sistema espacial de placas empotradas.

Facultades Sihlhof, Zúrich, Suiza

Giuliani Hönger

Lorenzo Giuliani, Christian Hönger,
Patric Allemann

Concepto, urbanismo

El concepto de este edificio se caracteriza por la gran complejidad del tema: dos escuelas distintas, con un programa amplio y no del todo establecido en los inicios del proyecto, debían alojarse en un único edificio situado en el centro de Zúrich. A fin de no prolongar las fases de proyecto y ejecución, este nuevo edificio se ajusta desde el principio a la normativa vigente, pues no se disponía del tiempo necesario para proceder a un plan parcial de modificación que, además, hubiera resultado costoso. También se trataba de formular una postura arquitectónica y urbanística convincente.

Partiendo del volumen máximo permitido, los volúmenes edificatorios se conforman en función del entorno, diferenciándose en cada uno de sus frentes. En la calle principal surge una fachada de cinco a siete plantas que, mediante una solución a modo de "junta", se anexiona respetuosamente al edificio de la esquina: un bloque de oficinas de la década de 1950, acogido a la ley de protección de monumentos. El edificio desciende escalonadamente para adaptarse a la escala de los edificios colindantes más pequeños, situados del lado del patio. El edificio está concebido como una serie de volúmenes cada vez más bajos que destacan del volumen principal para ajustarse a la normativa; de este modo, adquiere una forma continua y un carácter escultórico.

Arquitectos: Giuliani Hönger, Zúrich
Ejecución: 2001-2003
Dirección de proyecto: Lorenzo Giuliani
Christian Hönger
Marcel Santer
Organización de la obra: Bosshard + Partner, Zúrich
Estructura: Dr. Lüscher + Meyer,
Zúrich

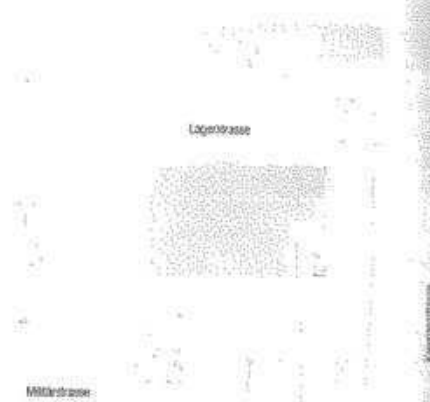


Fig. 177: Plano de situación

Gracias a un exhaustivo aprovechamiento de la edificabilidad, el volumen es el mayor posible, imprescindible para alojar un programa espacial tan amplio.

Al igual que la forma del edificio, la fachada interpreta también el contexto urbano. Por un lado, el color beis de la misma la integra en el entorno y, por otro, las sutiles variaciones de la anchura de vanos y huecos caracterizan su imagen como fachada de estructura no demasiado convencional, confiriendo por ello su autonomía a este edificio universitario.



Fig. 176: Fachada a la Kasernenstrasse
La entrada principal se acentúa con el vuelo del pararrayo. A la izquierda, la unión a modo de "junta" con el edificio colindante

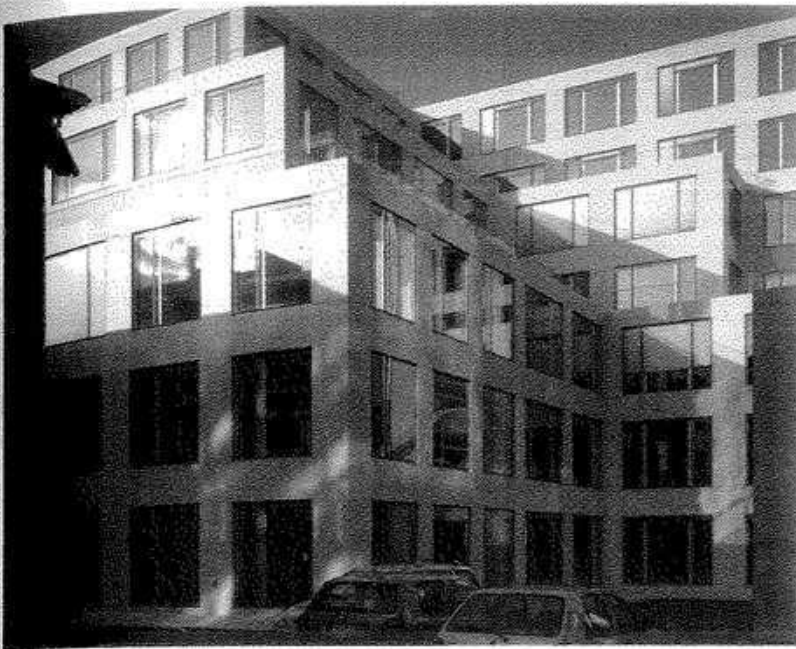


Fig. 178: Vista del edificio desde el lado del patio

Estructura espacial

Como puede observarse en la sección, la enorme profundidad del edificio se atenúa gracias a la introducción de dos patios de luces superpuestos y desplazados uno respecto del otro. Al contactar en una "superficie de corte", los patios configuran una imagen espacial interconectada, que —de modo semejante al patio de la Universität Zürich y al vestíbulo central del edificio principal de la ETH— crea una fuerte identidad. Dependiendo de la posición del observador y del ángulo de visión, la imagen espacial se percibe como un espacio interior continuo, "doblado" o como dos patios separados espacialmente: mientras la facultad de Economía y Administración de Empresas se articula en torno al patio superior, iluminado cenitalmente, la de Pedagogía se dispone en torno al inferior, donde la luz entra de forma difusa desde el lateral. Debido a las generosas dimensiones en altura, surge un espacio interior de carácter urbano, idóneo para el funcionamiento de un edificio universitario.

El gran y único paraninfo situado sobre la entrada, al que se puede acceder independientemente desde ambas facultades, está disponible también para usuarios externos; vuela ligeramente sobre la línea de fachada para acentuar el ingreso principal del edificio y definir el espacio de acceso, antes de que el patio interior se extienda en altura. Si bien el paraninfo, como ámbito singular, se incrusta en la planta del edificio como un trabajo de marquetería, las aulas y salas de trabajo se distribuyen a lo largo de la fachada. Su desarrollo, los patios y los espacios secundarios anexos generan la forma construida, que se modifica a consecuencia del estrechamiento de edificio a medida que crece hacia arriba y del despla-



Fig. 179: Patio de luces inferior
A la derecha, sobre la entrada, el vestíbulo del paraninfo

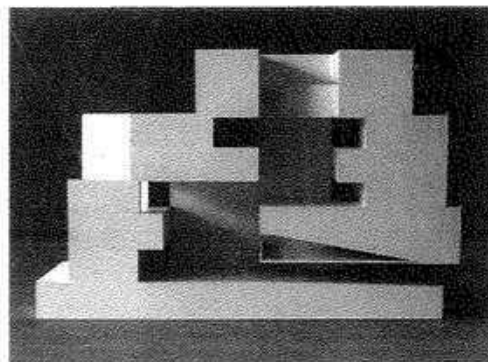


Fig. 180: Maqueta seccionada
Los patios interiores inferior y superior se conectan conformando una figura espacial

zamiento de ambos patios, producido a la altura de la segunda planta en común. No obstante, la orientación dentro del complejo edificio es sencilla y clara, ya que cualquier referencia conduce al espacio del patio interior. Como consecuencia de la economía espacial, las tres escaleras no se destacan dentro de la forma general del edificio y sirven como escaleras de evacuación.

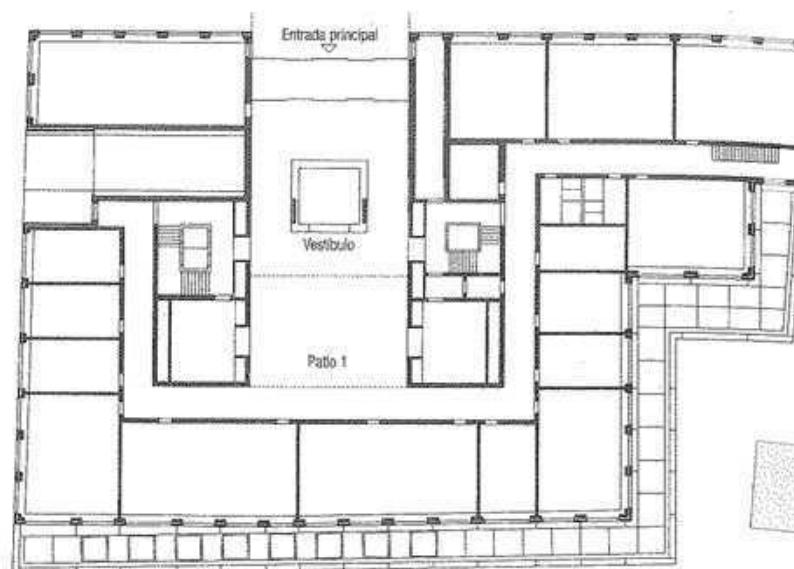


Fig. 181: Planta baja 1:600

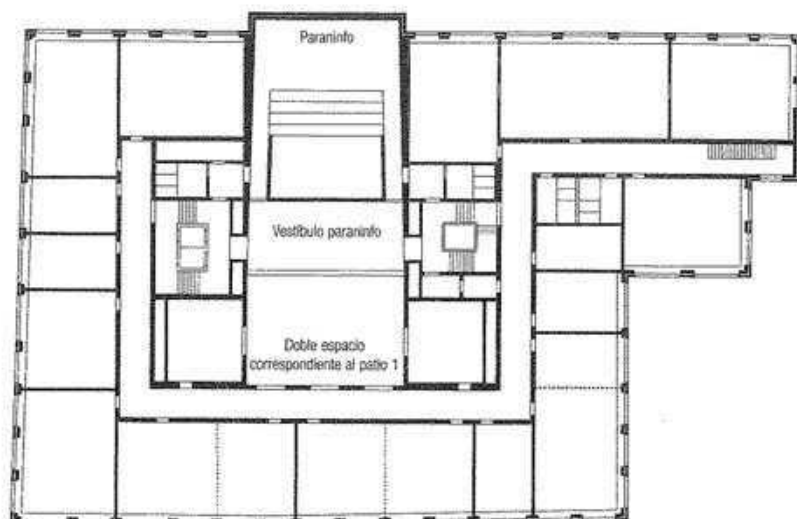


Fig. 182: Planta primera 1:600

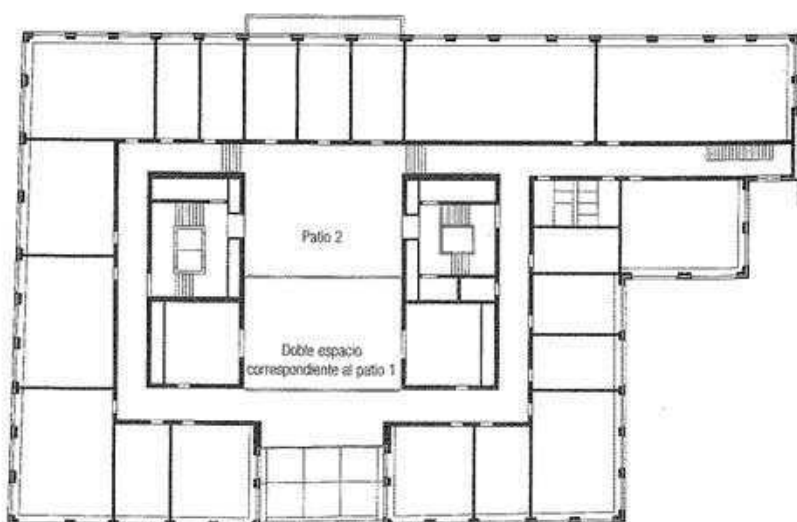


Fig. 183: Planta segunda 1:600

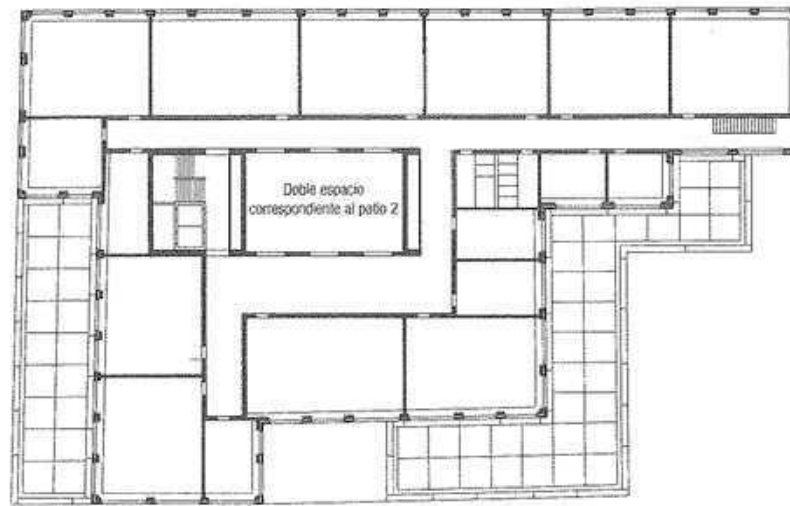


Fig. 184: Planta tercera 1:600

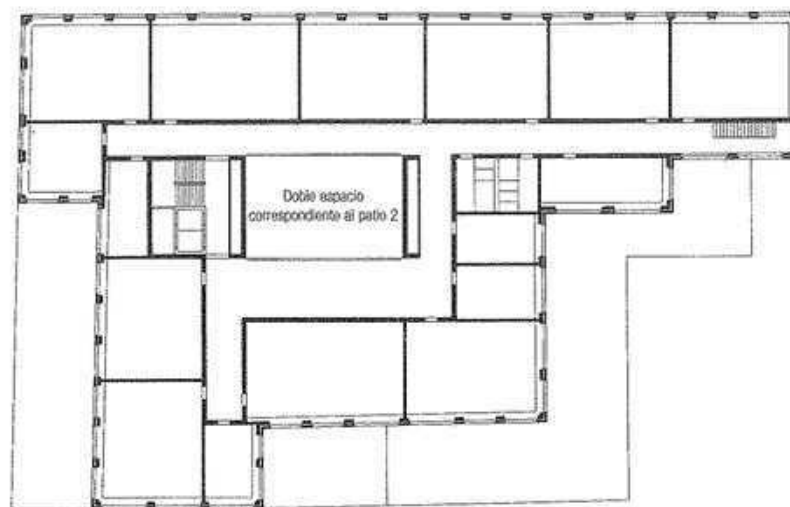


Fig. 185: Planta cuarta 1:600

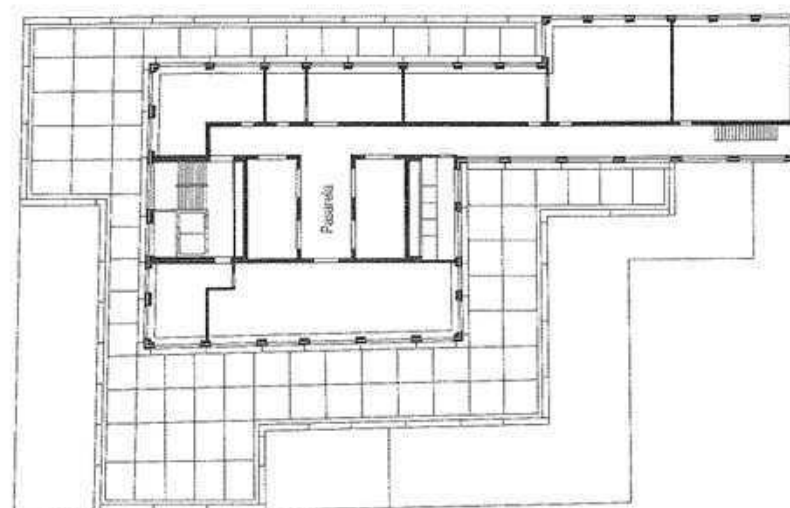


Fig. 183: Planta quinta 1:600

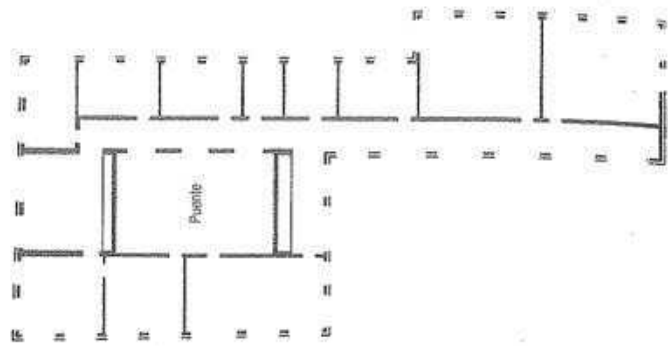


Fig. 187: Planta sexta 1:600

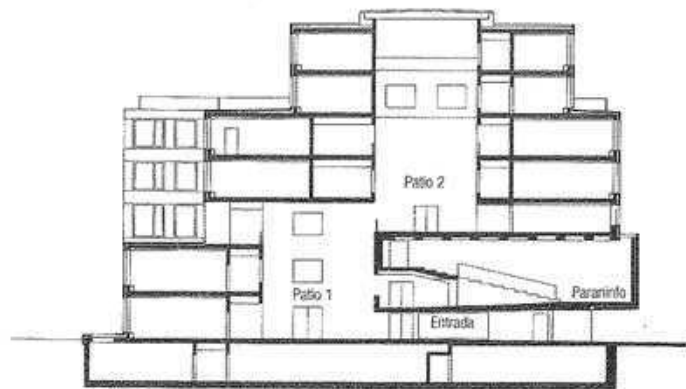


Fig. 188: Sección transversal 1:600

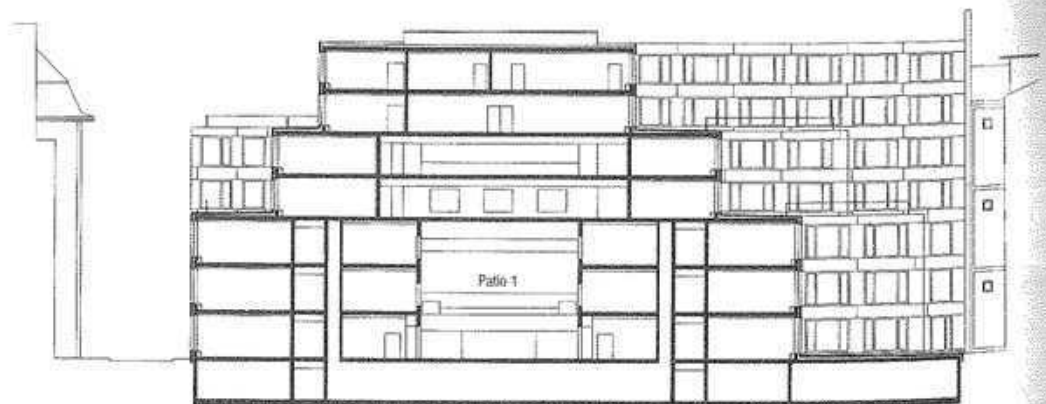


Fig. 189: Sección longitudinal 1:600

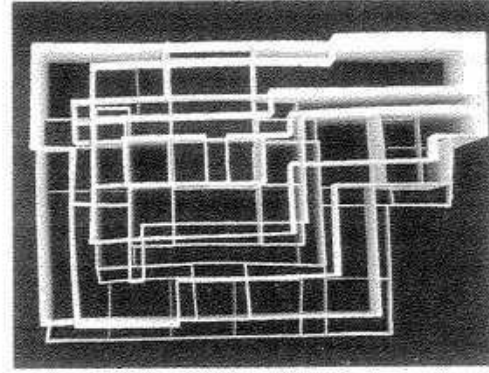
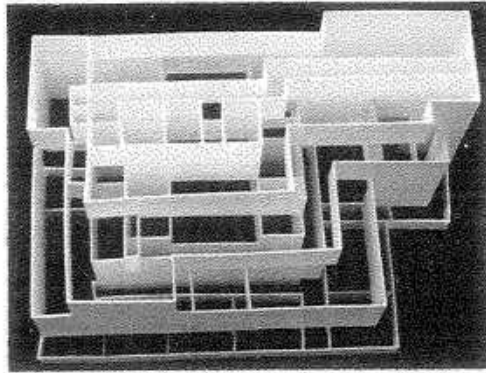


Fig. 190 y 191: Maqueta principal de la estructura portante vertical
Las placas se apilan en diferentes posiciones y se cruzan en las distintas plantas

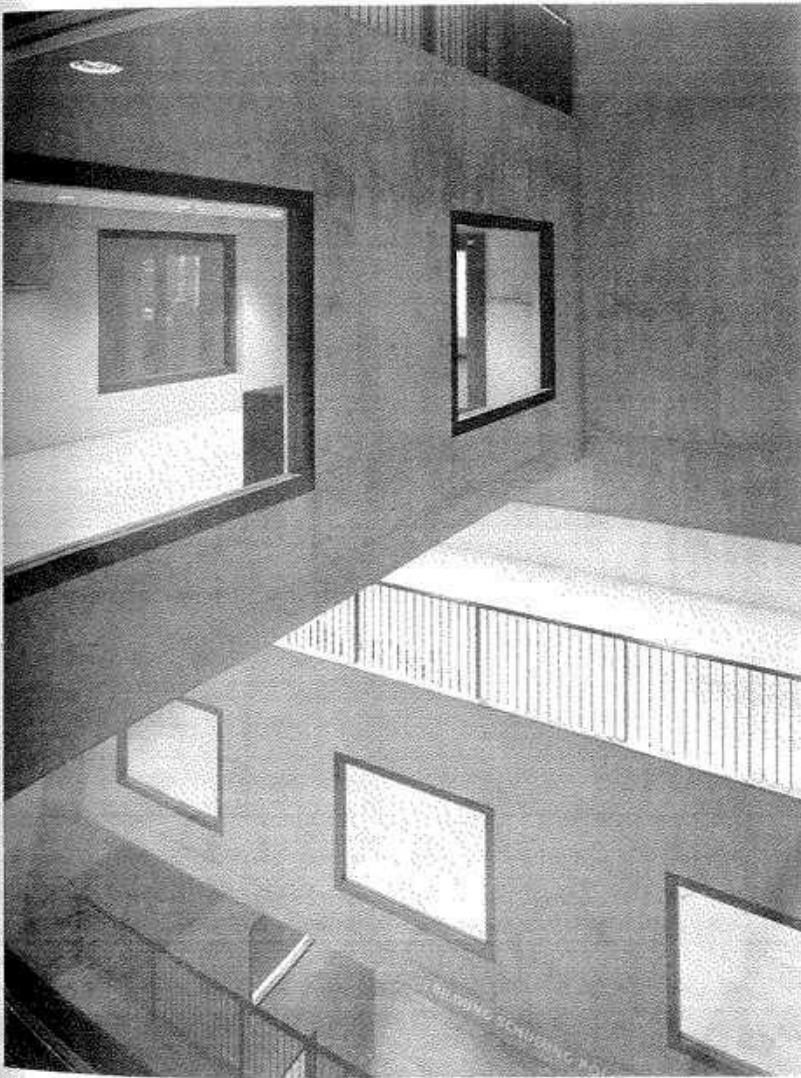


Fig. 192: Patio superior, vista hacia el nivel de la entrada
Las placas portantes, suspendidas libremente, actúan como vigas con una altura de suelo a techo

Estructura portante

Como consecuencia del escalonamiento lateral del patio y del desplazamiento de los patios interiores, el edificio presenta pocos muros portantes que sean continuos y discurren a lo largo de todas sus plantas. Los elementos estructurales verticales principales están formados por placas portantes de hormigón armado que se apilan y cruzan en las distintas plantas. Estas paredes constituyen simultáneamente la fachada y los muros de hormigón visto del volumen construido (confróntense las figs. 190 y 191). Las cargas que se recogen en las placas portantes se concentran en los puntos de cruce y se conducen hacia abajo.

En un sistema de este tipo, la perforación de las placas con puertas y ventanas representa un problema: para lograr la capacidad portante necesaria es necesario colocar zunchos superiores e inferiores (en antepechos, dinteles y batientes de puertas y ventanas) y/o losas suficientemente dimensionadas. En consecuencia, las placas portantes muy perforadas de la fachada escalonada del patio funcionan en combinación con las sólidas losas de hormigón armado de 30 cm de grosor. En torno a los patios interiores, las placas de hormigón presentan una superficie menor de huecos y pueden, por tanto, salvar luces mayores. Algunos de los forjados —como el del patio inferior o el del suelo del paraninfo— están colgados de dichas placas.

A pesar de la audaz estructura proyectada, pudieron satisfacerse las estrictas exigencias formales en lo que se refiere a la imagen del encofrado y a la calidad superficial de las paredes interiores vistas de hormigón.

Dentro de los límites establecidos por la retícula de ventanas y las puertas practicadas en los muros del pasillo, los diferentes niveles de aulas y salas de trabajo se han podido compartimentar de forma flexible, a pesar de tratarse de una construcción maciza.

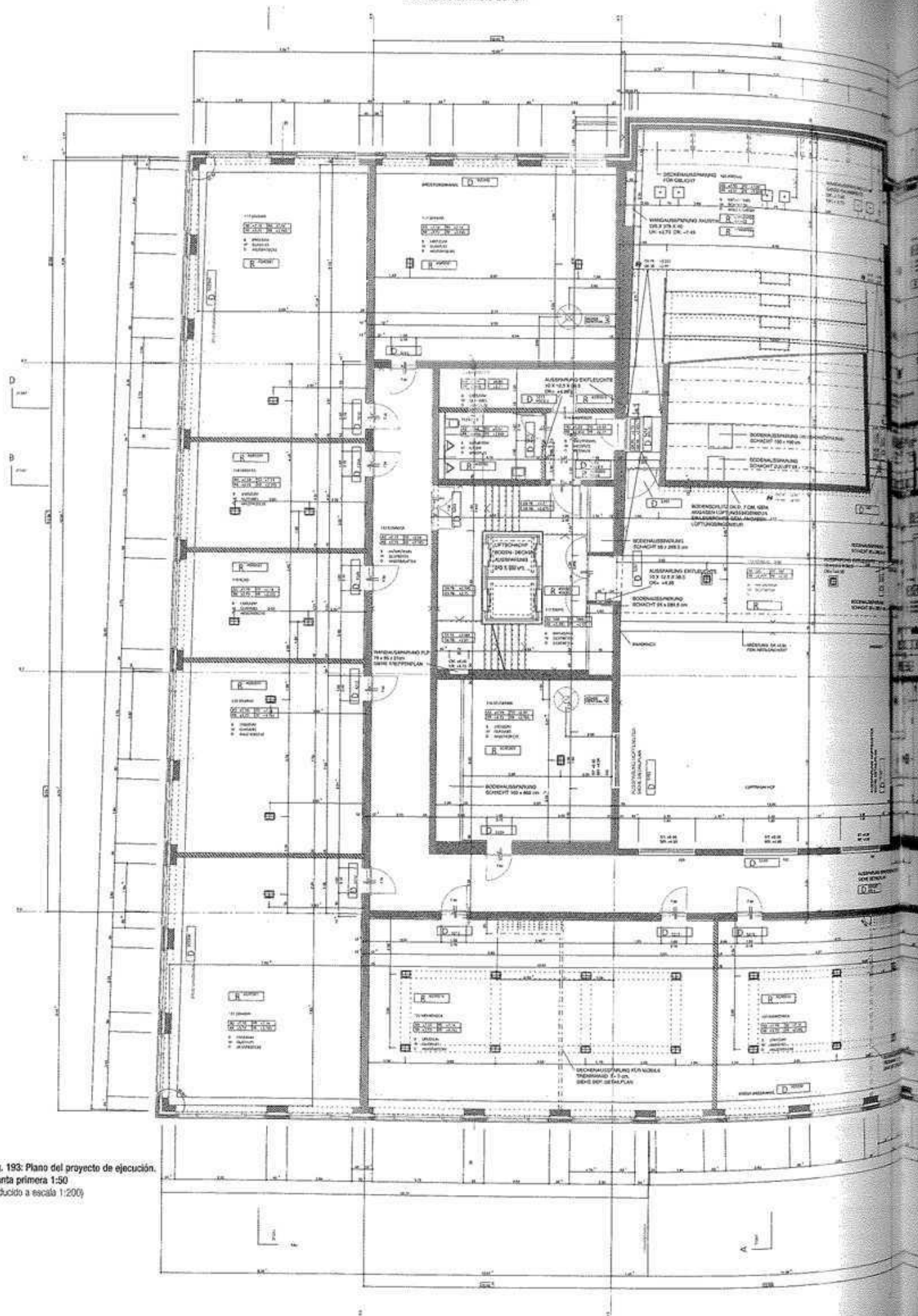
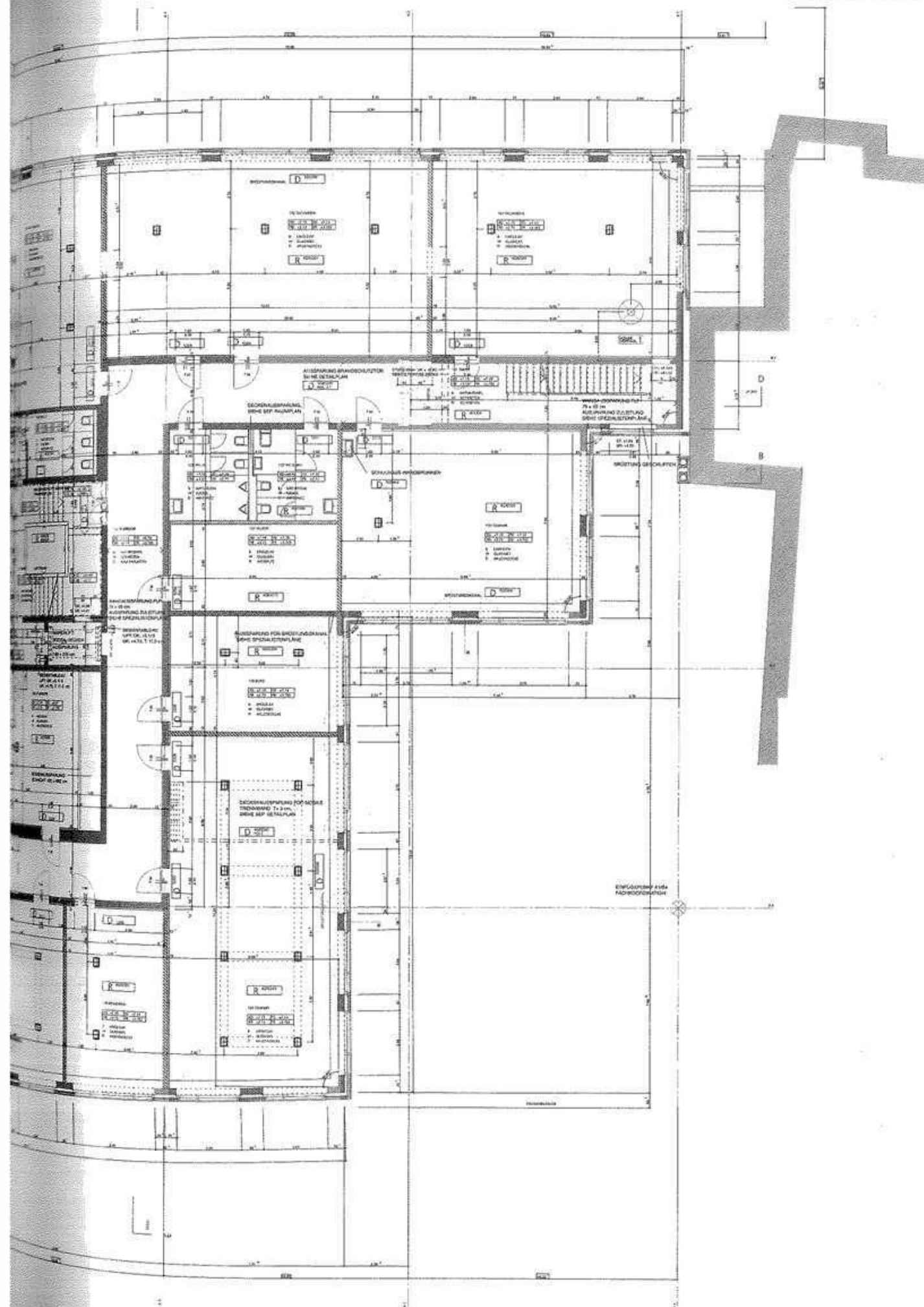


Fig. 193: Plano del proyecto de ejecución.
Planta primera 1:50
(reducido a escala 1:200)



Construcción y materiales

Tanto las fachadas como las terrazas están revestidas con piezas prefabricadas y de piedra artificial pulida. La coloración beis amarillenta de las piezas, que mediante el pulido hace visible la calidad calcárea de las montañas del Jura, sintoniza con los edificios vecinos, como el Sihlpost o el bloque de oficinas de la esquina acogido a la ley de protección de monumentos. La fachada se compone de entrepaños verticales colgados y antepechos horizontales semejantes de un grosor parecido. Las juntas del aplacado están selladas. En un primer golpe de vista, la fachada se lee como una estructura a gran escala. Por razón de las variaciones que experimentan los entrepaños verticales entre las diferentes plantas —cambios determinados por la organización del espacio inte-

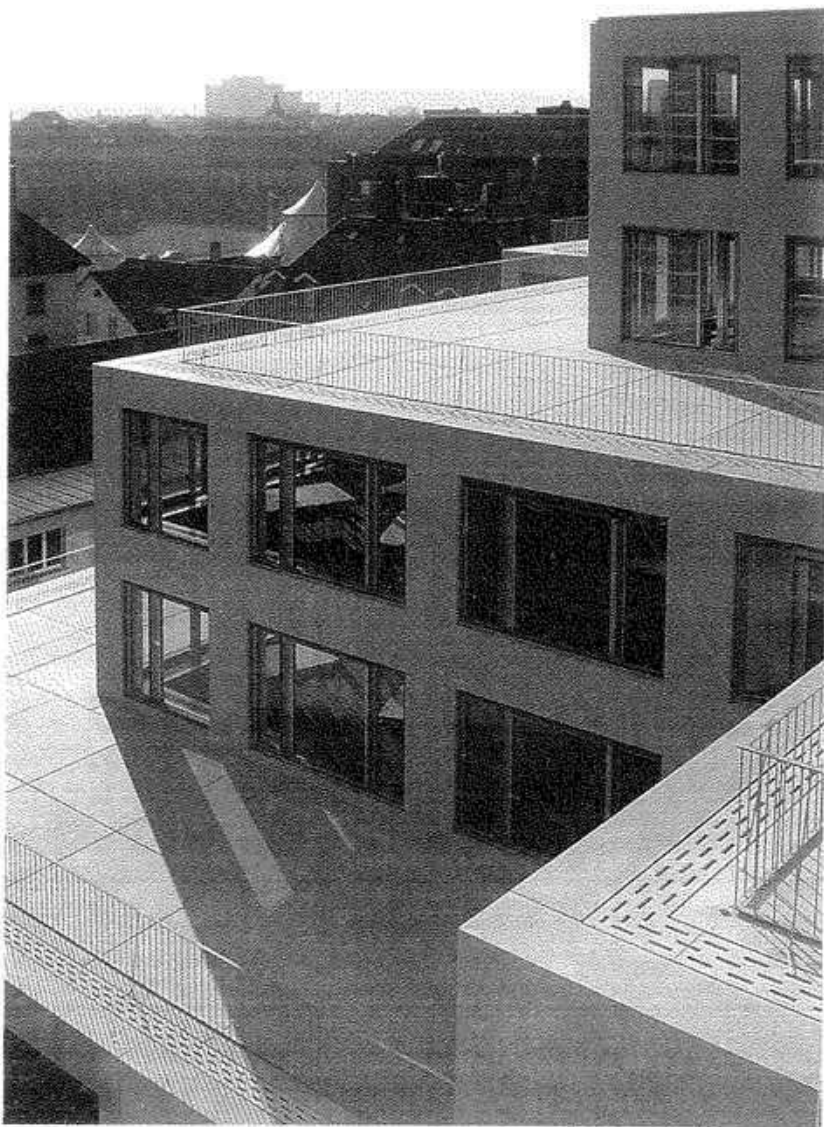


Fig. 194: Terraza hacia el patio
Terrazas y fachadas están revestidas con placas pulidas de piedra artificial.
Las piezas en esquina y de canto están configuradas en tres dimensiones.

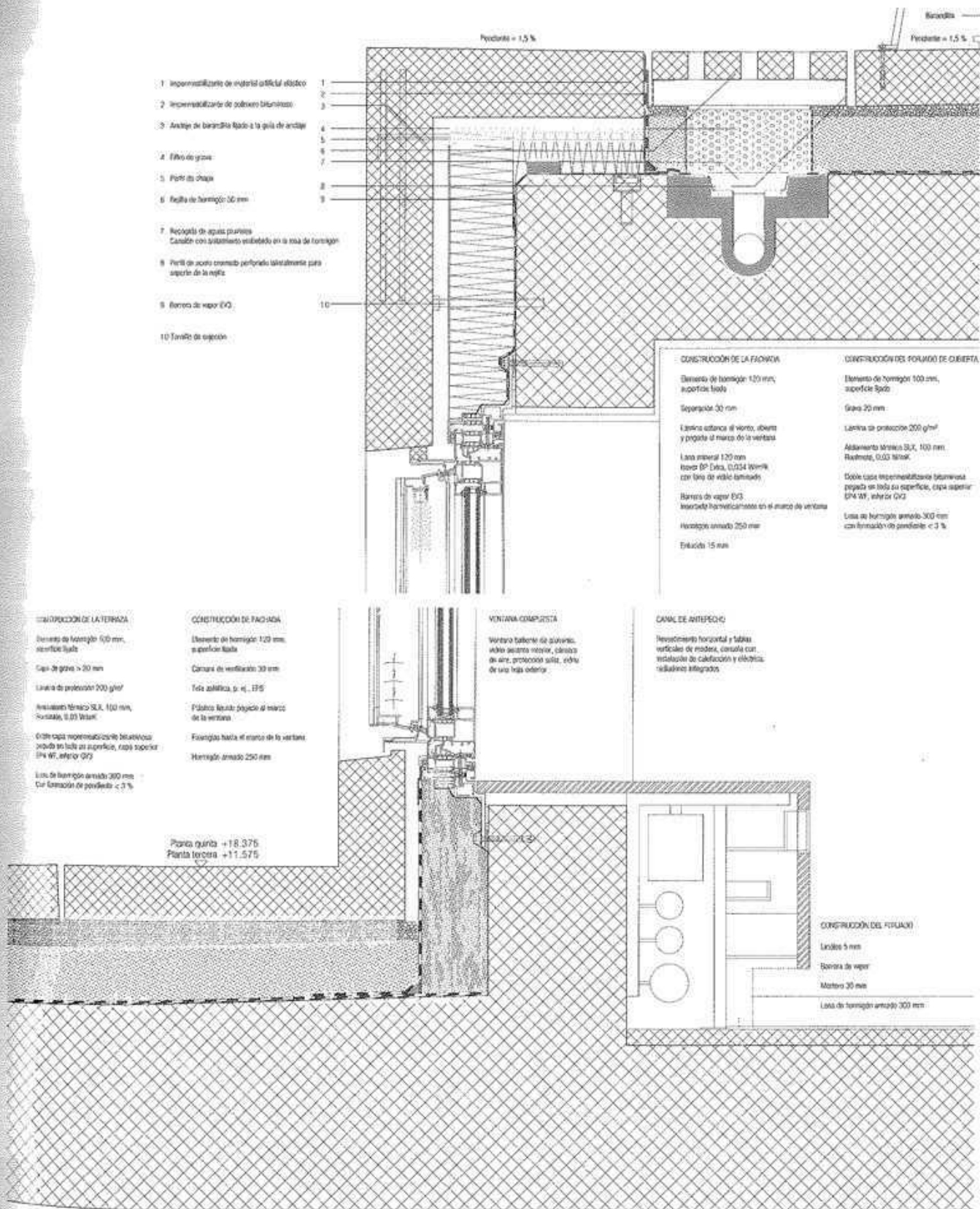


Fig. 195: Aula

rior—, una segunda apreciación proporciona una nueva imagen del edificio, que pierde esa considerable rigidez habitual de las fachadas en retícula. Los frentes del aplacado de piedra artificial de 12 cm de grosor nunca quedan vistos; todos los bordes y esquinas se configuran plásticamente con elementos tridimensionales, reforzándose así el carácter sólido del edificio.

Los tres tipos diferenciados de ventanas se han construido siguiendo el principio de una ventana de cajas. Mientras la ventana interior proporciona aislamiento térmico y la exterior o anteventana el acústico, un estor intermedio protege contra el sol. El leve retranqueo de la ventana exterior con respecto al aplacado genera un fino relieve, envolviendo así la fachada en un sutil juego de sombras.

La claridad de los muros de hormigón visto y del pavimento de piedra (de traquita veneciana) muestran nítidamente las intenciones de los arquitectos; los patios de luces y las áreas de comunicación se tratan como espacio público urbano. Conforme a esta lógica, el paraninfo, como lugar de reunión, está construido con los mismos materiales. En las aulas —con pavimento de linóleo o moqueta, papel de fibra de vidrio pintado de blanco en las paredes, así como bancos de ventanas y puertas de madera— se consigue conscientemente una atmósfera confortable. El grosor de las losas solicitadas estáticamente (30 cm) hace posible colocar el pavimento y la base de asiento del mismo directamente sobre el hormigón, sin aislamiento contra el ruido de impactos. Al suprimirse el tiempo de fraguado del mortero se ha reducido sustancialmente la duración del proceso constructivo.



Instalaciones

La construcción con forjados macizos aumenta la capacidad activa de acumulación de calor y con ello mejora el confort interior de los espacios en todas las estaciones del año. Por motivos también de confort (elevado nivel de ruido de la calle), todas las aulas están provistas de un sistema mecánico de ventilación, siendo no obstante posible la ventilación natural abriendo las ventanas. El paraninfo y las aulas de informática están climatizados. El sistema de protección solar, compuesto por estores de lamas, se controla en función de la luz solar, lo que opti-

miza además el consumo energético. Tanto la generación de calor como su sistema de distribución son convencionales. Dado que la utilización de las aulas requiere una regulación de la temperatura rápida y adecuada, el calentamiento de las aulas se produce mediante radiadores instalados en los antepechos de las ventanas.

En los falsos techos de las áreas de comunicación se alojan los conductos de salida y entrada de aire, mientras que los de la corriente eléctrica y de calefacción, así como los de la red informática, discurren por los canales de los antepechos a lo largo de la fachada.

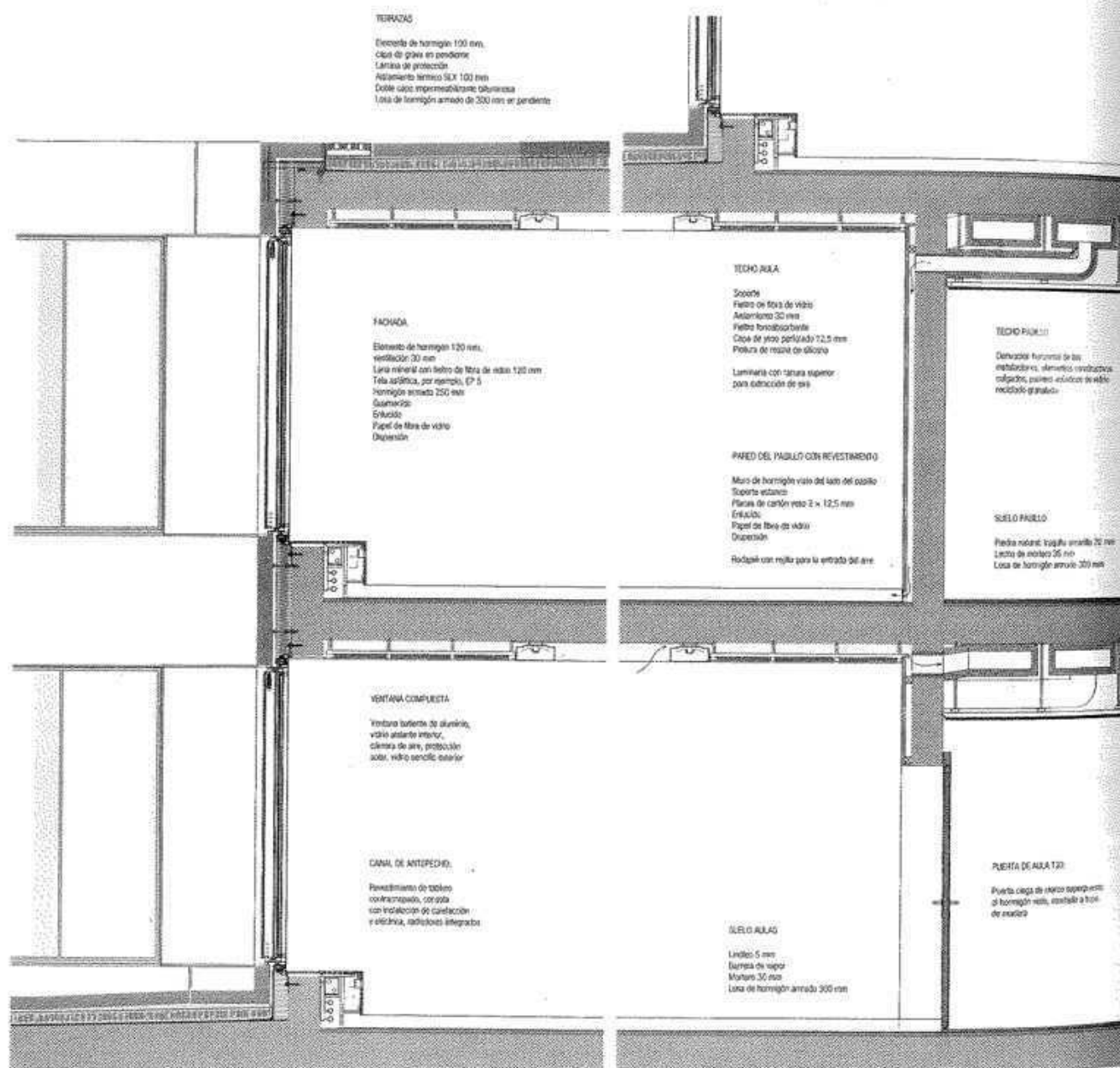


Fig. 197: Sección a través de un aula y de un pasillo
Las instalaciones se alojan en los conductos de los antepechos
a lo largo de la fachada y en los falsos techos de los pasillos

Escuela en Birch, Zúrich, Suiza

Peter Märkli

Marius Hug

Zentrum Zürich Nord

El origen de la fulminante transformación operada en este distrito de 60 ha está en la reestructuración de las fábricas situadas en Oerlikon. Las pautas formales fundamentales a tener en cuenta para lograr una reforma urbana continua fueron, por una parte, la gran escala y disposición de los edificios fabriles conservados y, por otra, el emplazamiento de cuatro parques de diferente tamaño destinados a articular el espacio libre. Estas pautas se establecen en las bases de un concurso urbanístico convocado en 1992 para el planeamiento Zentrum Zürich Nord, un barrio nuevo que debía alojar a 5.000 habitantes y 12.000 puestos de trabajo.

Situada en el borde norte del área de intervención, la escuela de Birch es el centro escolar de mayor tamaño de Zúrich. El colegio, con capacidad para 700 alumnos, ocupa dos parcelas en las que se había fijado la altura máxima edificable. Tanto el tamaño como la complejidad de las exigencias de uso de los diferentes niveles de enseñanza reunidos en el edificio (educación infantil, primaria, secundaria, comedor, espacios comunes y gimnasio), plantean grandes exigencias en la articulación espacial del conjunto. Al mismo tiempo, fue necesario proponer un sistema adaptable a posibles necesidades futuras que contemplara los diversos aspectos pedagógicos de los actuales métodos de enseñanza.



Fig. 198: Foto de maqueta
Zentrum Zürich Nord. Estado final. Maqueta 1:1000, vista desde el sur

Fig. 199: Vista del complejo



Arquitectos: Peter Märkli, con Gody
Kühni, Zúrich
Ejecución: 2001-2004
Diseño de proyecto: Jakob Frischknecht
Christof Anzorge
Arquitectos de paisaje: Zulauf Seippel
Schweingruber, Baden
Estructuras: Bänziger + Bacchetta +
Fehlmann, Zúrich
Pasaport: Die Bauengineering AG,
St. Gallen

Ubicación

El edificio de Peter Märkli ocupa el espacio edificable con dos volúmenes de diferente altura: uno escalonado y otro compacto y más elevado. Debido a su ubicación y a las "sustracciones" volumétricas, ambos bloques se interrelacionan e interpretan como una figura plástica coherente. El edificio situado al norte se articula mediante el retranqueo en planta del cuerpo de cuatro plantas con respecto al gimnasio. En este volumen se aloja la escuela primaria y los espacios comunes (biblioteca, comedor y sala de usos múltiples).

La guardería y la enseñanza secundaria se alojan en el segundo edificio que —con una altura de plantas de 3,5 m, en contraposición con los 3 m del edificio norte— delimita, junto con la marquesina para bicicletas, el espacio libre del lado sur. Esta plaza, prevista en el plan urbanístico, conecta el parque Oerliker con el Friedrich-Traugott-Wahlen, situado al este. Las grandes losas de

hormigón in situ constituyen un pavimento homogéneo que, por su materialidad y configuración, se diferencia claramente de la red de vías colindantes. De este modo, el complejo del colegio adquiere un carácter de espacio público dentro de Zentrum Zürich Nord.

La articulación volumétrica del conjunto define, junto con la edificación y los parques colindantes, diferentes zonas libres: una estrategia que permite al mismo tiempo la disposición de entradas diferentes para cada nivel escolar (con sus patios correspondientes), y la fusión del conjunto con el entorno.

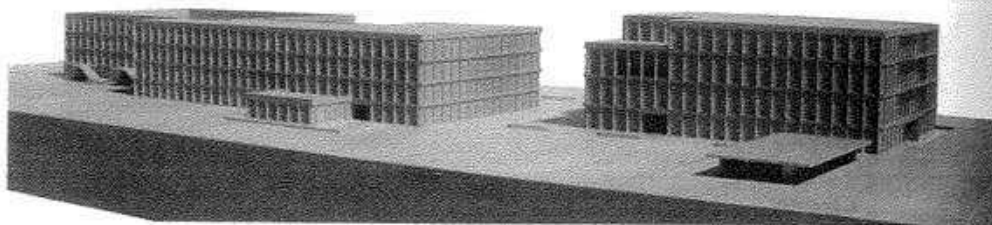


Fig. 200: Maqueta 1:500

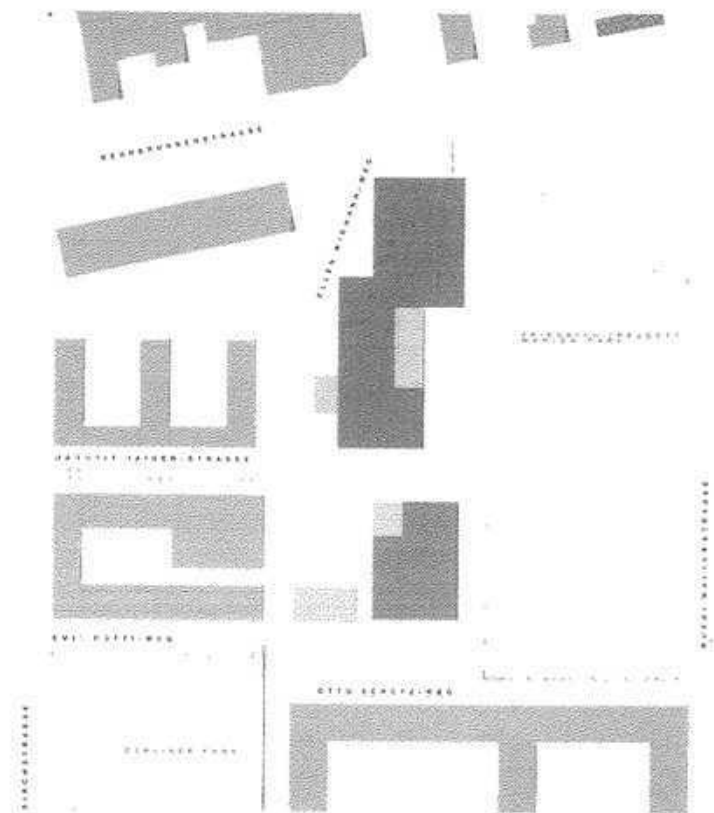


Fig. 201: Plano de situación 1:3000

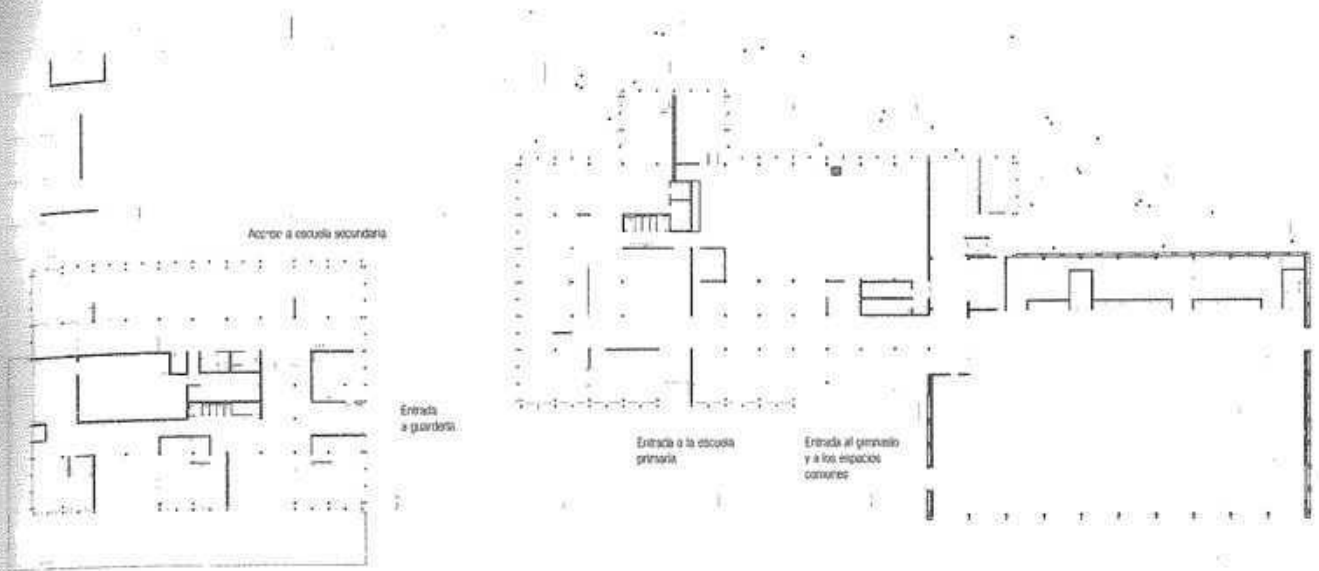


Fig. 202: Planta baja

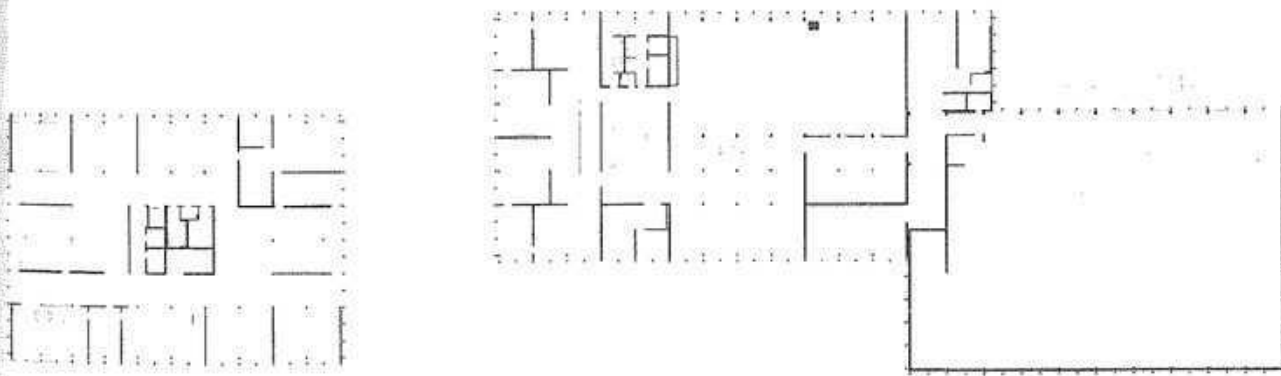


Fig. 203: Planta primera



Fig. 204: Alzado este

1:1000

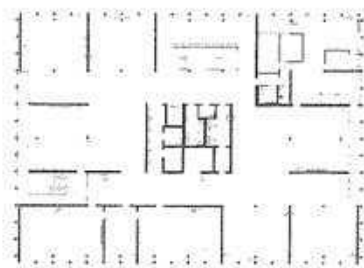


Fig. 205: Planta segunda

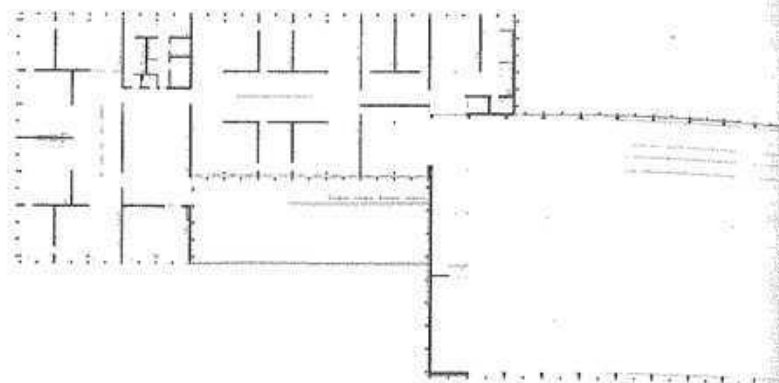


Fig. 206: Planta tercera

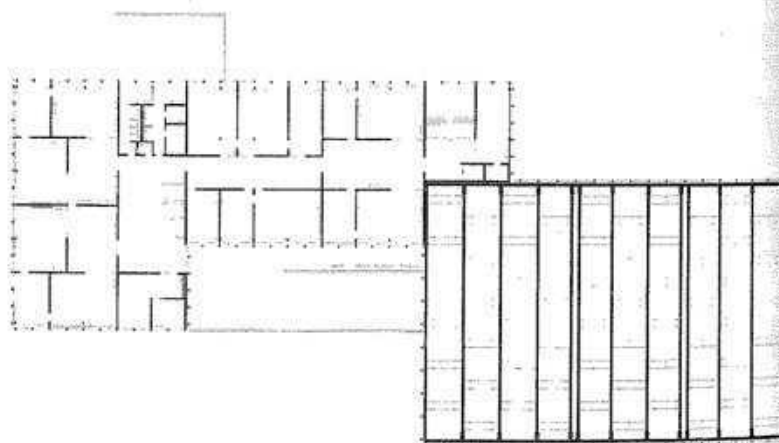


Fig. 207: Sección transversal, enseñanza superior

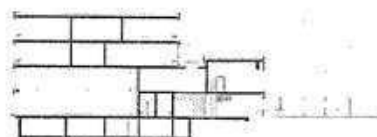


Fig. 208: Escuela primaria y ámbitos comunes

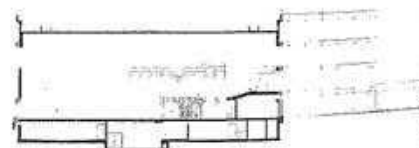


Fig. 209: Gimnasio

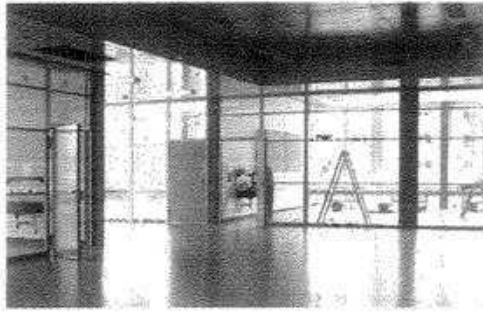


Fig. 210: Antesala en la zona de enseñanza superior

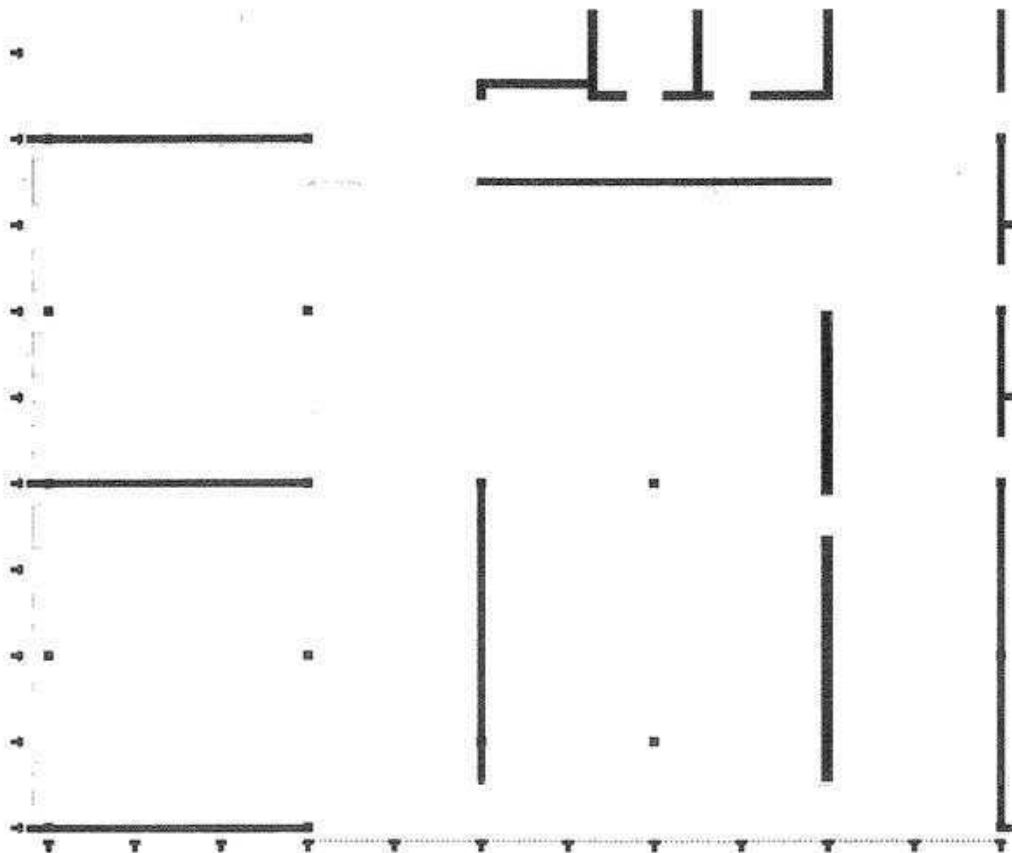
Tipología y organización espacial

El concepto de la agregación de un espacio libre a cada nivel escolar es llevado también al interior del edificio: cada curso se organiza en agrupaciones que conforman ámbitos propios dentro del conjunto. Entre dos o cuatro aulas y una o dos estancias comunes constituyen, junto a su correspondiente antesala, una agrupación, una especie de pequeña escuela dentro de la grande.

Con su vestíbulo interior y las aulas reunidas en torno al mismo, la estructura espacial de las agrupaciones precisa una gran profundidad edificable. Para que las estancias interiores estén suficientemente iluminadas, las

paredes que dan al vestíbulo están acristaladas en toda su altura. Transparencia y distribución espacial permiten una enseñanza clara, extensiva a todas las clases y, con la incorporación del vestíbulo común, diversos modelos docentes. La visión en el interior de las aulas está regulada con cortinas móviles.

Esta estructura espacial, caracterizada por un vestíbulo o antesala común, se diferencia de la tipología habitual en edificios de enseñanza, donde las aulas dan directamente a un corredor. Con este sistema innovador se produce una mayor identificación de los alumnos con su espacio, pues crea lugares para cada curso. Otro aspecto fundamental de este sistema es la "desconcentración": cada aula dispone de una tercera vía de emergencia que permite la evacuación sin atravesar el vestíbulo en caso de incendio, con lo cual la disposición de muebles en el mismo es del todo flexible.

Fig. 211: Planta de una agrupación 1:200
Zona de enseñanza secundaria

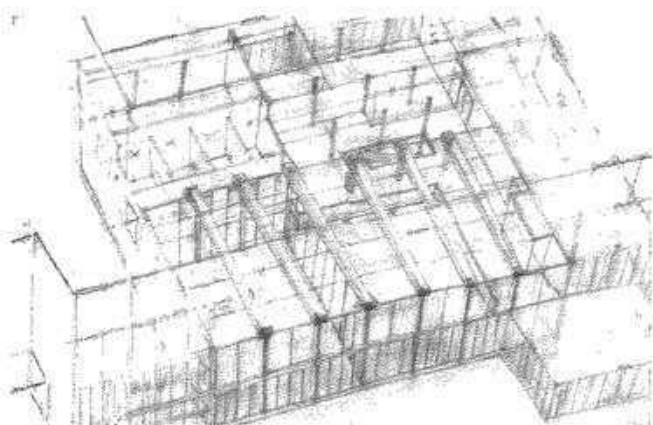


Fig. 212: Isometría
Comprobación de las estructuras portante y espacial en el área de la sala de música, comedor y biblioteca.
Croquis

Sistema constructivo y estructura portante

La estructura está compuesta por pilares y losas con pantallas adicionales de hormigón visto que recogen los esfuerzos horizontales. Paredes ligeras, de fábrica y de pavés, constituyen los elementos no portantes.

La articulación racional de la fachada mediante pilas tras permite deducir la posición de los pilares estructurales. En un examen más minucioso se ponen de manifiesto las variaciones de los pilares y las pantallas portantes. La estructura experimenta modificaciones debido a la articulación espacial de las agrupaciones, la interacción de estructuras y los espacios de tamaño diferente (como en el ámbito de la sala de música y del gimnasio). En especial en la planta baja, el sistema portante está determinado por el vínculo con el espacio exterior y por la posición de las entradas. Tanto en el acceso a los espacios comunes y el gimnasio como en las zonas exteriores cubiertas de la guardería, las cargas de los pilares superiores se recogen y transmiten a través de vigas.

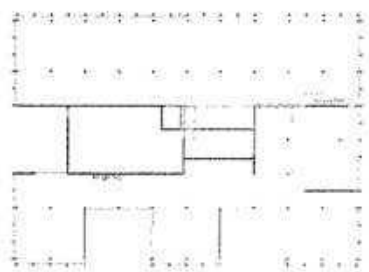


Fig. 213: Estructura portante planta baja 1:1000
Plano del proceso de trabajo con anotaciones a mano

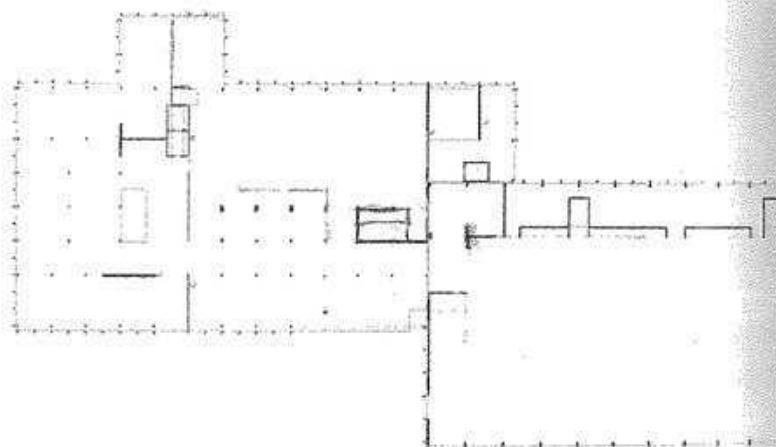


Fig. 214: Estructura portante de las plantas segunda y tercera 1:1000

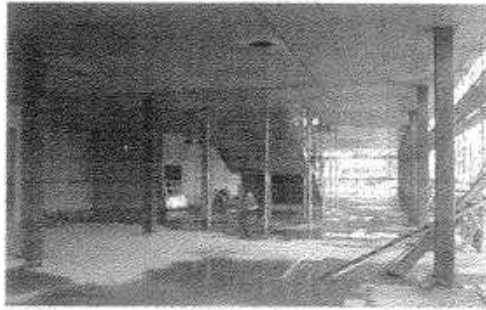


Fig. 215: Construcción 1
Vestíbulo del área de enseñanza superior, losa sobre la planta baja y pilares prefabricados.

En las zonas de grandes luces, los forjados precisan un grosor de 34 cm. Por motivos de índole práctica, este grosor también se ha empleado en las zonas de luces menores. La gran sección del hormigón permite prescindir del aislamiento al ruido de impacto.

La coloración oscura de los esbeltos pilares prefabricados de hormigón visto (25 × 25 cm) se debe a la natu-

raleza del árido y al gran contenido de cemento. Este hormigón altamente resistente satisface las elevadas exigencias a compresión. La transmisión vertical de cargas al terreno tiene lugar a través de pilotes de hormigón que alcanzan hasta 27 m de profundidad.

La superficie de las eficaces mamparas de hormigón está determinada por el encofrado tipo 2 empleado, de ahí que se consiga una estructura tan plana y homogénea. El tamaño de los paneles no es preceptivo, aquí se ha optado por un encofrado de grandes superficies. Los arquitectos sólo determinaron; su posición y el modo de repartirlos fueron fijados por el maestro de obra.

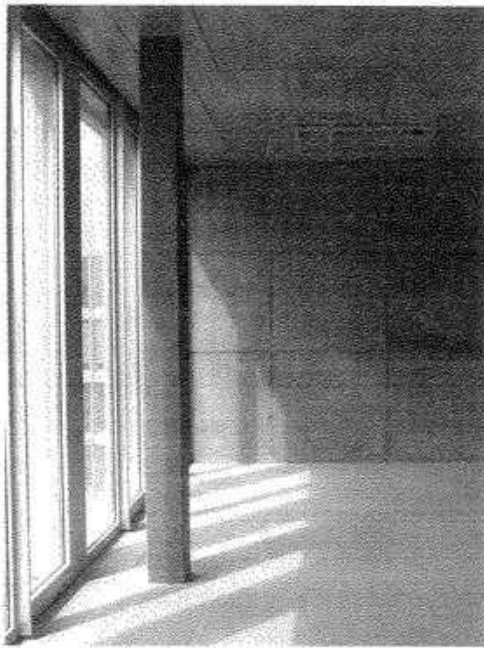


Fig. 216: Pilar y pared
Pilaro en el área de enseñanza superior, pared de hormigón visto con encofrado tipo 2 y pilar prefabricado de hormigón

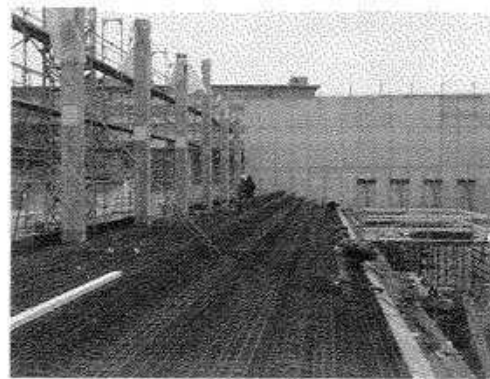


Fig. 217: Construcción 1
Pilares de hormigón in situ y pared de hormigón visto en el gimnasio, colocación de la armadura en la tribuna



Fig. 218: Pilastras (Lisenen)

En alemán, *Lisenen* son elementos verticales que se destacan levemente de la pared o muro de un edificio y que, semejantes a una pilastra, tienen un canal de base y de capitel. En este caso se trata de una "pilastra" prefabricada de hormigón.

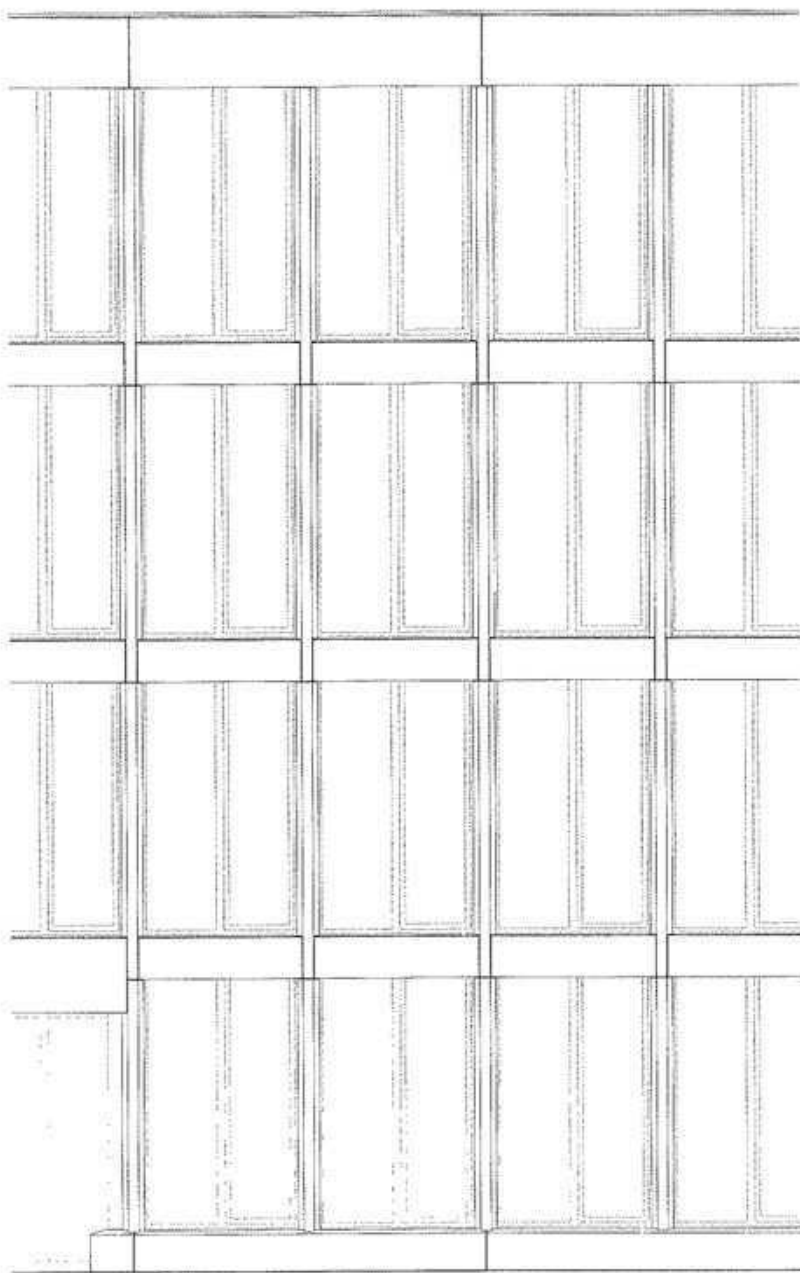


Fig. 219: Alzado 1:50

Construcción I

El carácter de la fachada está marcado por las pilastras verticales de hormigón prefabricado. Este elemento no es una aplicación, sino un componente constructivo del muro cortina para el montaje de ventanas. El sistema se extiende a lo largo de todas las fachadas, tanto en las del colegio como las del gimnasio.

Mediante la configuración diferenciada de los distintos elementos prefabricados de hormigón —comisa, pilastras, frentes de forjado o zócalo— se crea una composición equilibrada y estática de la fachada que resulta casi clásica. La retícula de las pilastras surge de la división de la estructural en dos partes y permite el empleo de diferentes materiales en los paños de fachada: acristalamientos, enfoscados, otros elementos de hormigón o construcciones de acero (barandillas en los balcones de evacuación). Los distintos materiales de relleno establecen también diversos vínculos con el espacio exterior.

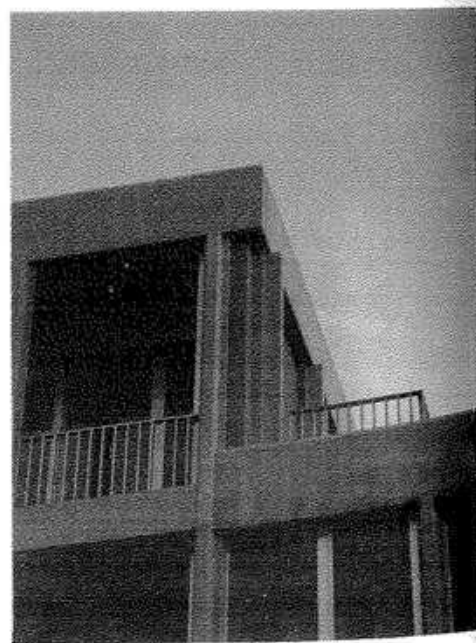


Fig. 220: Esquina y remate de cubierta

Barandilla para balcón de evacuación, acristalamiento y muro enfoscado de altillo

Fig. 222: Ala de la escuela primaria con el gimnasio al fondo

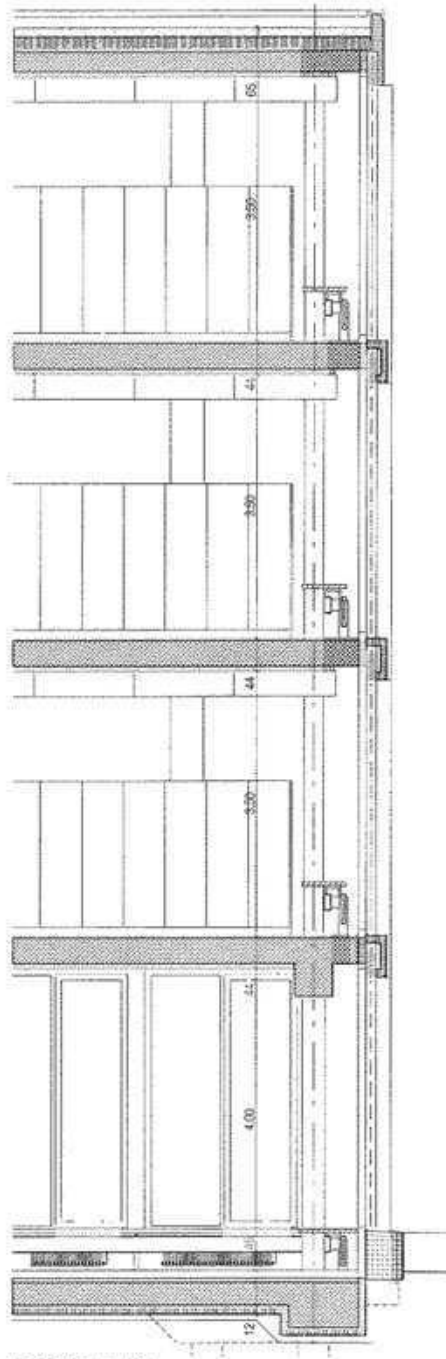
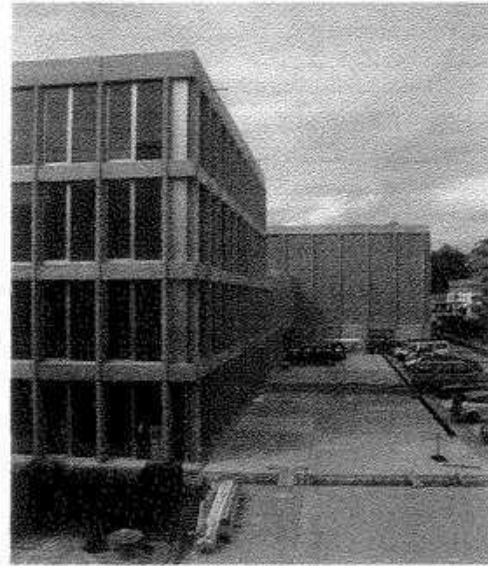


Fig. 221: Sección 1:50

Construcción de cubierta

Sustrato, cubierta ajardinada natural	100 mm
Capa de drenaje	
Lámina antirraíces	
Cubrición EP4 WF	10 mm
Aislante de fibra mineral	200 mm
Barrera de vapor VA 4, en toda la superficie	10 mm
Losa de hormigón con formación de pendiente	260 mm
Panel fonoabsorbente	70 mm
Total	650 mm

Construcción de forjados superiores

Linóleo/pegamento	5 mm
Si es preciso, barrera de humedad	
Capa armada con fibra	25 mm
Losa de hormigón	340 mm
Panel fonoabsorbente	70 mm
(placas perforadas de yeso pintadas)	
Luminarias	
Total	440 mm

Construcción de solera

Linóleo/pegamento	5 mm
Mortero armado con fibras,	85 mm
o gres cerámico (12 mm),	
pegamento mortero (78 mm)	
Capa de separación	20 mm
Aislamiento al ruido de impacto	40 mm
Aislante térmico de poliestireno expandido (F20)	10 mm
Barrera de humedad	300 mm
Losa de hormigón, estanca al agua	
Lámina de polietileno 0,2 mm	
Aislante térmico de poliestireno extruido	120 mm
Capa de nivelación, hormigón de limpieza	
Total	580 mm

Construcción II

A diferencia de otros edificios conocidos que emplean un sistema constructivo de pilares y losas (como, por ejemplo, las casas Dom-Inó de Le Corbusier), en esta escuela el arquitecto no utiliza ni la independencia compositiva de la fachada ni la planta libre. El sistema constituye aquí un esquema neutro para la articulación de la fachada.

La colocación clara y sencilla de los elementos de hormigón está marcada por la prefabricación y la logística del proceso de montaje. En primer lugar son aislados los frentes de forjado y colocados los angulares para la posterior incorporación de ventanas. Los elementos prefabricados que componen el zócalo en planta baja se apoyan en ménsulas ($44 \times 33 \times 30$ cm) montadas junto a la solera. Las pilastras (*Lisenen*) se fijan a la estructura en los cantos del forjado. Los elementos horizontales que cubren la caja de persianas y sirven de vierteaguas a la ventana superior se apoyan sobre las pilastras. Para la sujeción de los elementos que configuran la cornisa se

ha colocado un anclaje omega; para los elementos situados en el frente de forjados, anclajes portantes con tornillos separadores. Tras colgar los elementos prefabricados se procede al relleno de fábrica en los paños correspondientes. Después se coloca el aislamiento térmico, compuesto, en los paños ciegos, por paneles de poliestireno expandido de 22 cm de grosor, pegados directamente sobre el ladrillo y enfoscados. Las ventanas se montan sobre los angulares mencionados al principio y son fijadas a las pilastras. La configuración de todos los elementos prefabricados de hormigón, así como la lógica de su acoplamiento, permite dejar las juntas abiertas, pudiéndose prescindir del relleno de las mismas.

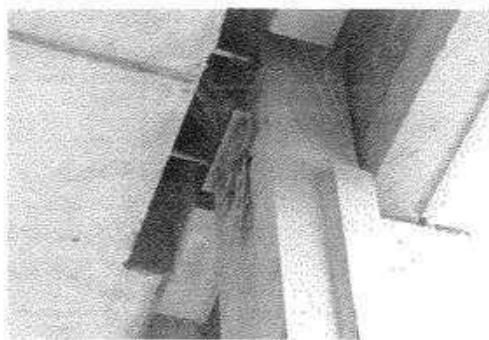


Fig. 223: Sujeción de las pilastras (*Lisenen*).
Cara inferior de la losa, pilastra con anclaje de fachada con tornillos separadores y elemento para frente de forjado apoyado

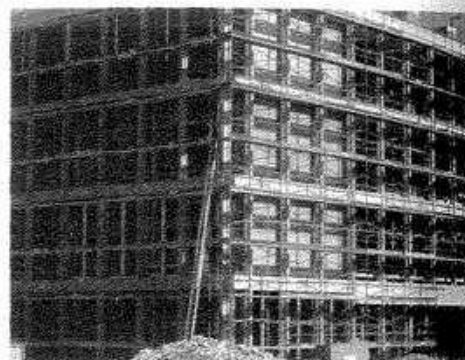


Fig. 224: Construcción I.
Pilastras (*Lisenen*) y elementos de frente de forjado, muro de fábrica para el relleno de los paños

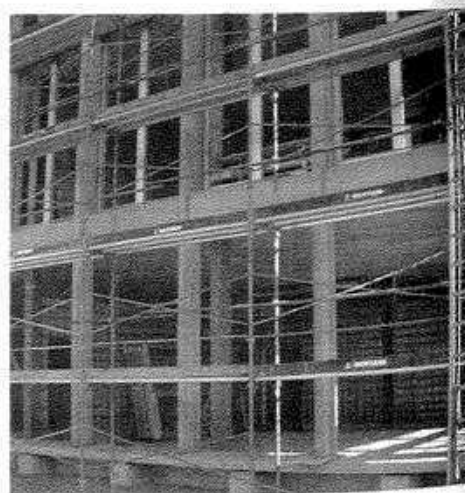


Fig. 225: Zócalo.
Zócalo apoyado en ménsulas

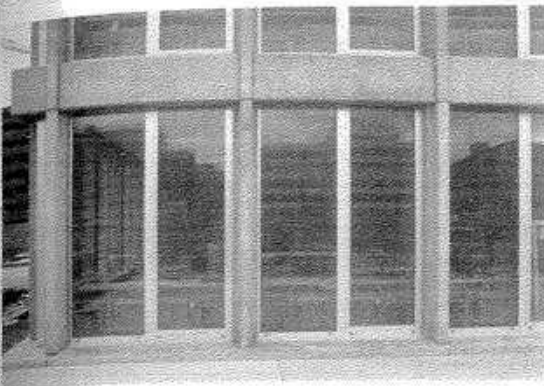


Fig. 226: Detalle de fachada del edificio de enseñanza superior
Ventana con acristalamiento fijo y hoja basculante, mesas fijas y radiadores

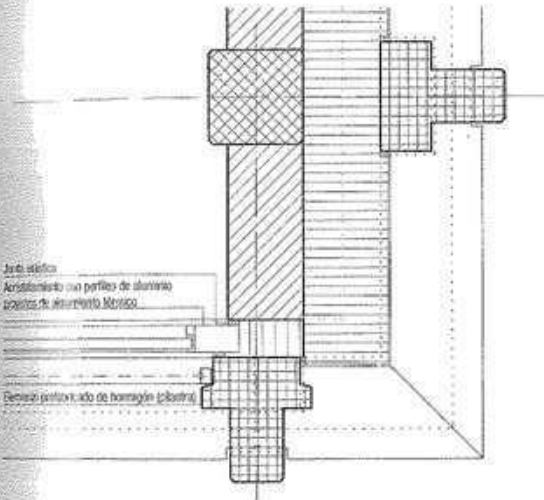


Fig. 227: Detalle en planta 1:20
Esquina con encuentro de la pared de fábrica y el aislamiento exterior entosado

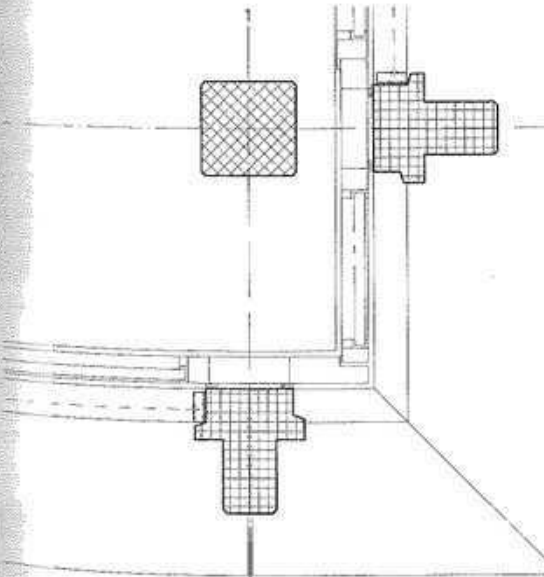


Fig. 228: Detalle en planta 1:20
Esquina planta baja con zócalo y disposición asimétrica de pilstras

En su altura de suelo a techo, los huecos se cierran con ventanas de dos hojas: una fija y otra basculante. También se ha dispuesto una instalación de ventilación adicional con recuperación de calor, que precisa una energía mínima. Cada aula cuenta con un armario empotrado que proporciona espacio para el almacenaje de los bártulos y suministra —a través de las rejillas colocadas en su zócalo— aire fresco. La salida de aire tiene lugar a través del canal que discurre bajo el falso techo, en paralelo a la pared interior.

Las aulas disponen de cortinas interiores —para oscurecimiento y protección visual— cuyas guías son paralelas a la pared acristalada situada junto el ámbito común (ver plano de una agrupación de aulas). Las ventanas de las aulas están provistas de persianas venecianas. Otra particularidad del proyecto son las mesas fijas montadas entre los pilares, que sirven también como cubrición para los radiadores. El canal colocado a la altura del antepecho aloja las redes eléctrica y de telecomunicaciones.

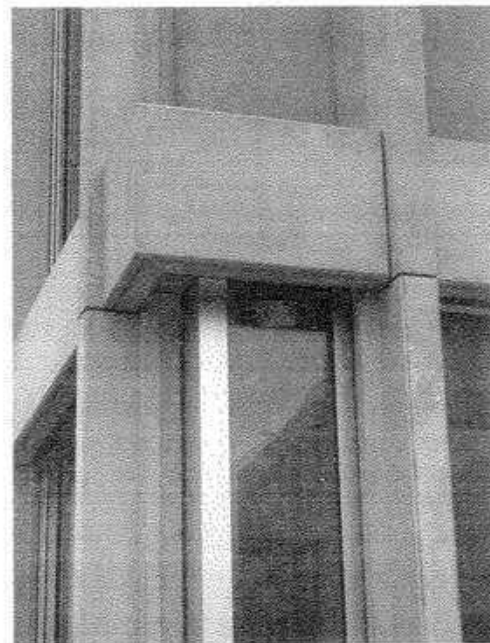


Fig. 229: Detalle de fachada
Esquina en planta baja y primera de la escuela primaria

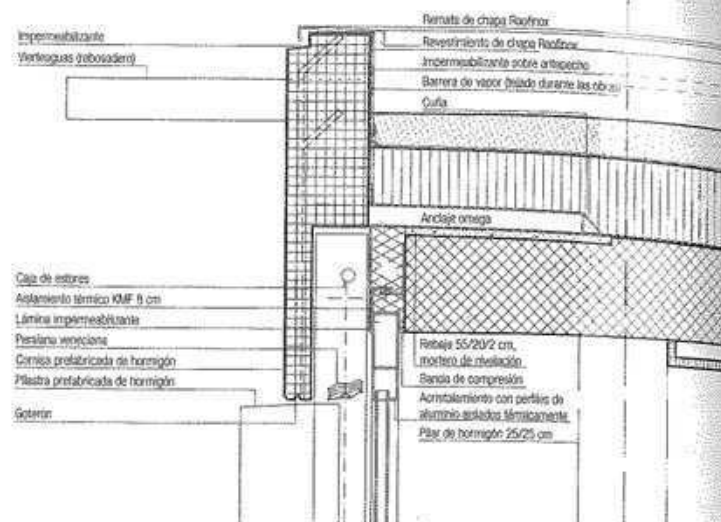


Fig. 230: Detalle de cubierta 1:20

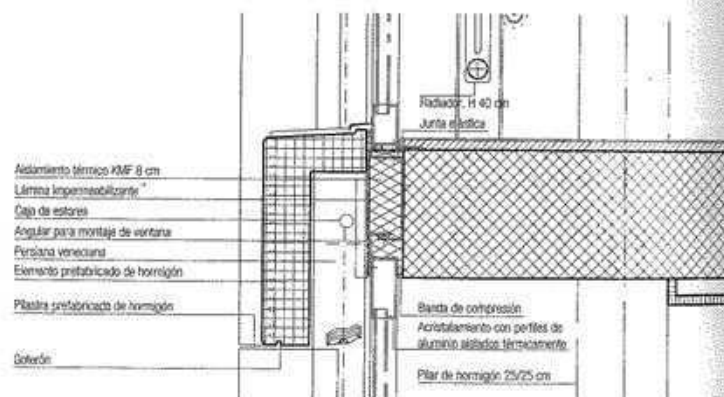


Fig. 231: Detalle de forjado 1:20

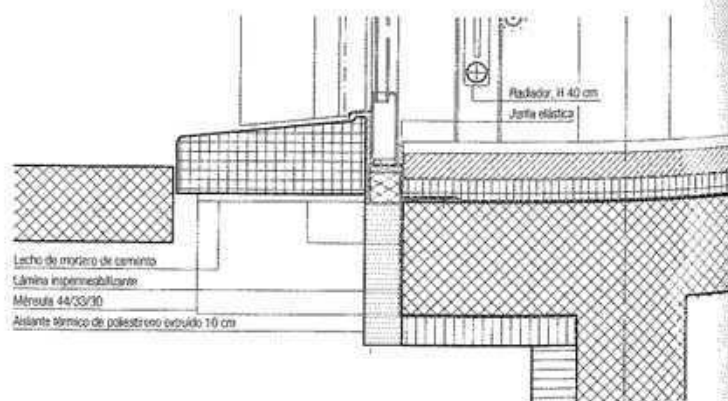


Fig. 232: Detalle de solera 1:20

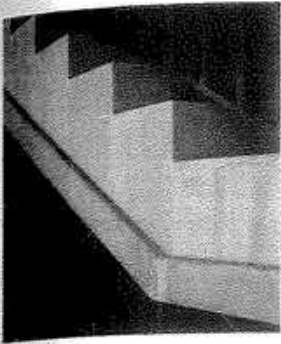


Fig. 233: Detalle de escalera
Encuentro del hormigón in situ y las losas
de piedra caliza

Materiales

Elementos prefabricados de hormigón (pilastras, antepechos y zócalo), el enfoscado gris oscuro de los entrepaños y el incoloro anodizado del aluminio en las ventanas componen los elementos exteriores vistos de este edificio. Los materiales y su acabado determinan la coloración o, más bien, el discreto espectro cromático del conjunto; si bien la apariencia oscura de las superficies de vidrio de las ventanas y el tono del enfoscado contrastan con los elementos claros de hormigón.

En el interior el edificio permanece en su estado bruto. La superficie irregular y áspera del hormigón ha sido barnizada, lo que confiere a las paredes un carácter pétreo. El esqueleto del edificio se complementa con elementos no portantes: paredes de pavés, mamparas de vidrio y tabiques de fábrica revestidos con papel de fibra de vidrio pintado en blanco. Si bien en el vestíbulo y las escaleras el pavimento es de piedra caliza, en las aulas se ha optado por un linóleo.

El encuentro entre los distintos materiales y sus variadas superficies es directo, lo que evidencia el pragmatismo de la intervención. Ya sea al unir los materiales, diseñar las particiones de las paredes acristaladas o configurar del detalle del zócalo, todo se supedita al sistema de proyecto del arquitecto. Éste es un instrumento para acometer de forma controlada el planeamiento, un procedimiento adecuado a la envergadura del edificio.

En el detalle del canto de la escalera y el revestimiento de piedra caliza de las huellas se hace visible de forma ejemplar la jerarquía que sigue el arquitecto al unir diversos materiales. Dicha jerarquía contempla la precisión asociada a la elaboración de los distintos materiales, de ahí que el hormigón in situ, con su mayor grado de tolerancia, sobresalga.

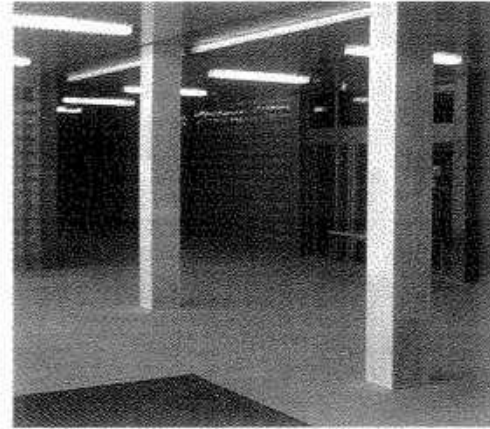


Fig. 235: Vestíbulo para comedor y gimnasio
Los pilares del hall están aplacados con piedra caliza

Tanto la clasificación arquitectónica como la presencia de los elementos y sus materiales se ponen de manifiesto también en el modo de conducir las instalaciones. La distribución horizontal de las mismas tiene lugar en el techo, en forma de canal con ramificaciones o ribeteando el mismo en el lado de la antesala. El canal de instalaciones está revestido de chapa pintada de gris y parece abrirse camino a través de las diferentes plantas para abastecer las aulas.

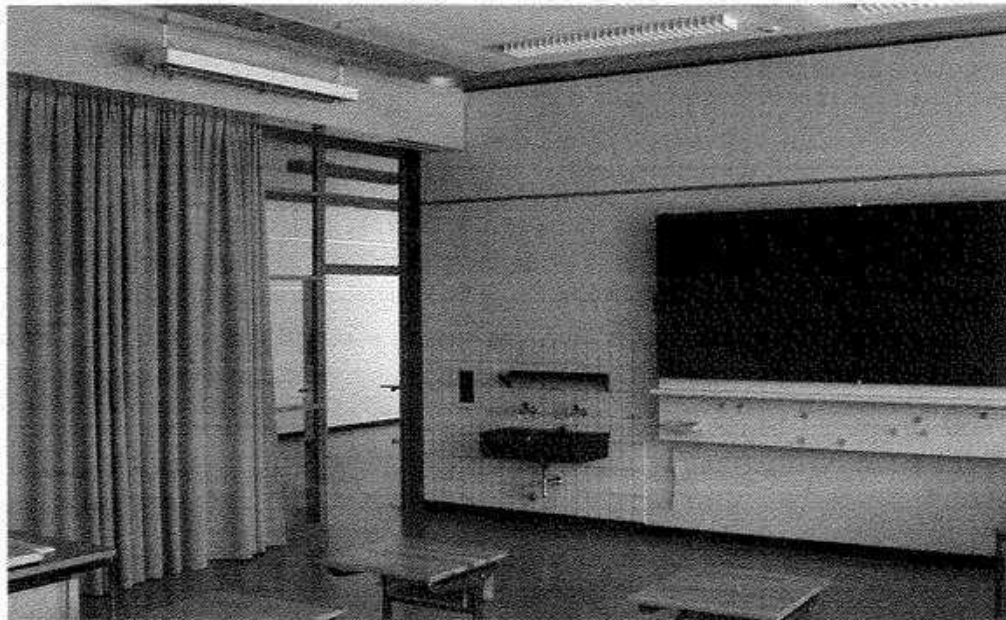


Fig. 234: Materiales en el aula
Techo de hormigón visto y placas fonosorbentes
de pelo con luces integradas, canal de
instalaciones revestido con paneles de chapa gris,
pared de montantes acristalada con cortina, rieles
de aluminio para la fijación de dibujos, lavabo y
pizarra, pavimento de linóleo de color beis

Centro de formación profesional, Baden, Suiza

Burkard Meyer Architekten

Thomas Schwendener

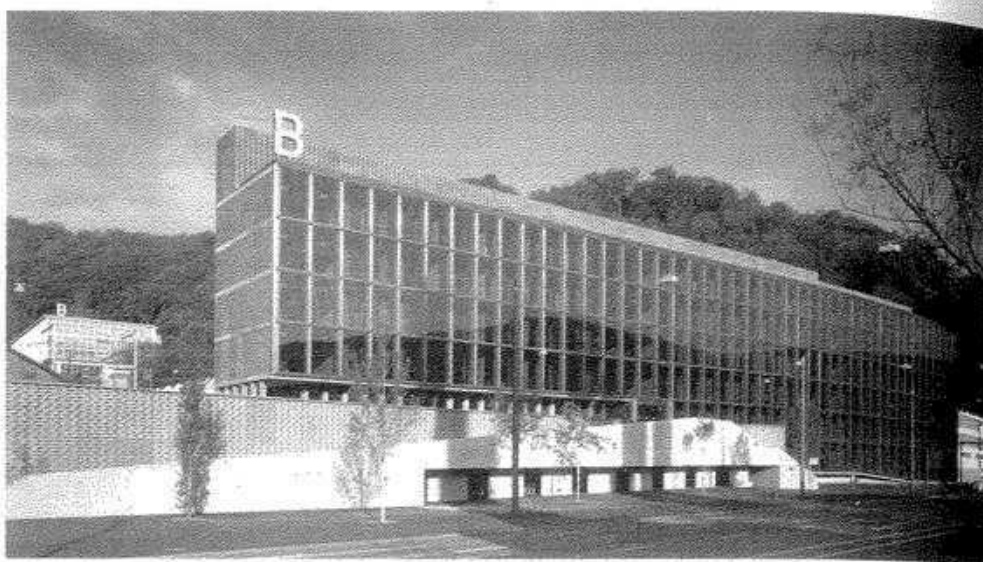


Fig. 236: fachada a la Bruggerstrasse
La nueva escuela con la rampa de acceso

Arquitectos:	Burkard Meyer Architekten BSA, Baden
Estudios previos:	2002
Ejecución:	2001-2004
Dirección del proyecto:	Daniel Krieg, Andreas Stroemmann
Colaboradores:	Tobias Burger, Boris Hatz, Christiane Illing, Marianne Stigg, Corinna Wanner Burkard Meyer Architekten, Markus Gerstacher Schweingruber Zulauf Landschaftsarchitekten, Zürich
Dirección de obra:	Mibattich, Baden
Diseño de fachadas:	Mibattich, Baden
Ingeniero de construcción:	Wolf, Kriegl & Partner, Zürich
Ingeniería:	Waldhauser Haustechnik, Basilea; Herzog Kull Group, Aarau

Situación

La sede original de la multinacional ABB, fundada en 1891, forma parte de la imagen de la ciudad de Baden. Con la reestructuración y ampliación de las ramas industriales tradicionales en las décadas de 1980 y 1990, se dio la oportunidad de desarrollar nuevas filiales en muchas poblaciones industriales suizas. Con el complejo del centro de formación profesional BBB, dividido en tres partes, la institución dispone de un símbolo para un centro económico y de formación como Baden. El estudio Burkard Meyer Architekten plantea las tres partes diferenciadas del conjunto como intervenciones que parten desde presupuestos distintos y que forman parte del complejo industrial de la ciudad.

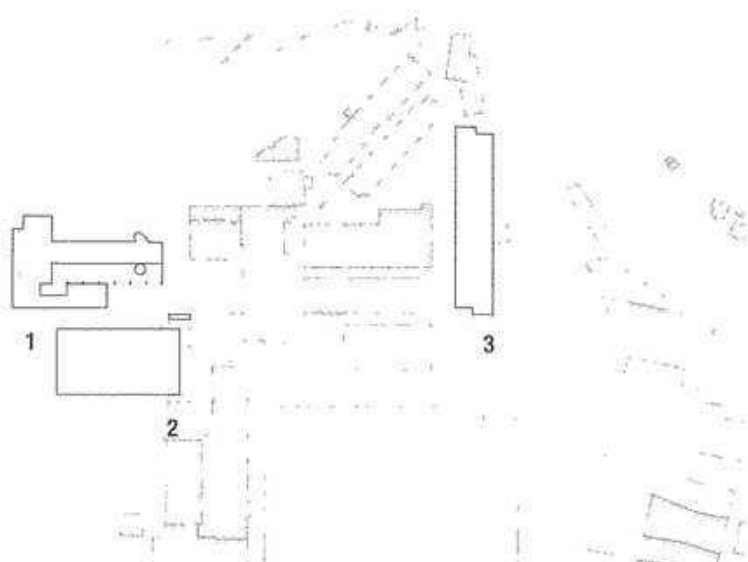


Fig. 237: Planta de situación de la zona industrial de ABB, Baden
1: antiguo edificio de previsión social de la BBC; 2: nuevo gimnasio de dos plantas; 3: nueva escuela en la Bruggerstrasse

Con la rehabilitación del antiguo edificio de previsión social de la BBC para formación continua y ocio, este centro, que en otro tiempo constituyó una marca de identidad propia de la empresa, se conserva como el punto principal del conjunto, ahora transformado en un edificio de infraestructuras, administración y enseñanza. El edificio, construido entre 1951 y 1954 por el arquitecto Armin Meili (director de la exposición cantonal de 1939), es un importante testigo de la arquitectura suiza de posguerra y adquiere un significado urbano que, en adelante, se verá subordinado.

Junto al edificio comunitario se disponen las instalaciones deportivas, con dos naves dobles a los pies de la pendiente que forma la Martinsberg. El edificio del barrio industrial se levanta sobre un parking de dos plantas, como si este último fuera un zócalo de mucha altura. Sobre la plataforma donde se encuentran las entradas a la escuela y a las instalaciones deportivas, el edificio sólo tiene una planta. Una escalera colocada entre el com-



Fig. 238: Armin Meili, antiguo edificio de previsión social de la BBC
Baden, Suiza, 1951-1954

plejo deportivo y el edificio antiguo de Armin Meili, secciona el zócalo y conecta el nivel superior con el de los edificios industriales, donde sobre la Bruggerstrasse se encuentra el nuevo edificio con las aulas.

Por su posición destacada respecto a la ciudad, el nuevo edificio de la escuela puede leerse como un volumen adelantado con relación a toda la zona, y permite la vista sobre los edificios de la ABB y sobre Martinsberg, situados detrás. El observador percibe un volumen estrecho y desarrollado en longitud, con superficies totalmente vidriadas en sus cuatro fachadas y separadas del suelo mediante una junta en sus lados más largos. Una rampa adelantada discurre como un zócalo y ancla visualmente el volumen al lugar. De día, el impresionante espacio interior sólo puede vislumbrarse esquemáticamente. En cambio, por la noche, el edificio es una especie de vitrina iluminada que permite observar las actividades que se desarrollan en su interior.

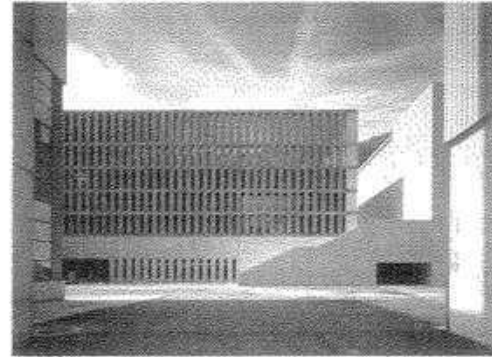


Fig. 241: Fachada del gimnasio desde el área industrial

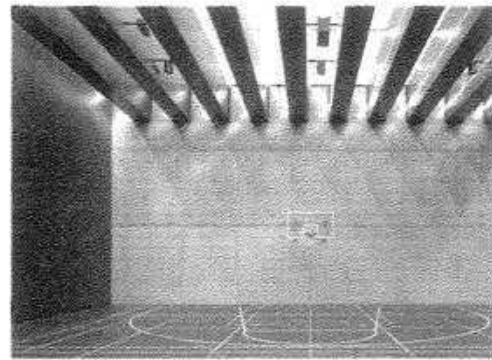


Fig. 242: Espacio interior del gimnasio de la planta superior con iluminación cenital

Estructura espacial

La sorpresa que produce el edificio reside en su estructura portante y en la de su espacio interior, que surge a partir de la interrelación entre una configuración de las aulas adecuada a los tiempos actuales y las exigencias energéticas, así como de los sistemas de protección contra el ruido y el fuego. Estas consideraciones abren nuevos horizontes en la tipología de edificios escolares. Las aulas no se colocan a lo largo de la fachada, en contra de las convenciones habituales, sino que se concentran en el núcleo del edificio y se superponen en varias plantas, de manera que las comunicaciones horizontales se desarrollan en corredores hacia el exterior a lo largo de las fachadas. Esta disposición fuera de lo habitual permite que las aulas formen bloques interdependientes y posibilita unas relaciones espaciales directas tanto en sentido transversal como longitudinal, con lo que los espacios pueden utilizarse para diferentes modelos pedagógicos. El aislamiento climático y acústico lo asumen las superficies acristaladas del edificio, que a su vez proporcionan luz natural y hacen posible que pueda verse el interior de las clases. De lado a lado del ancho del edificio se ubican las áreas de estancia, unas zonas abiertas que albergan las cajas de escalera, los ascensores y los espacios auxiliares, y que lo dividen, tanto en el piso del zócalo como en las cuatro plantas superiores, en tres ámbitos de usos diferenciados.



Fig. 239: Vista nocturna de la escuela en la Bruggerstrasse

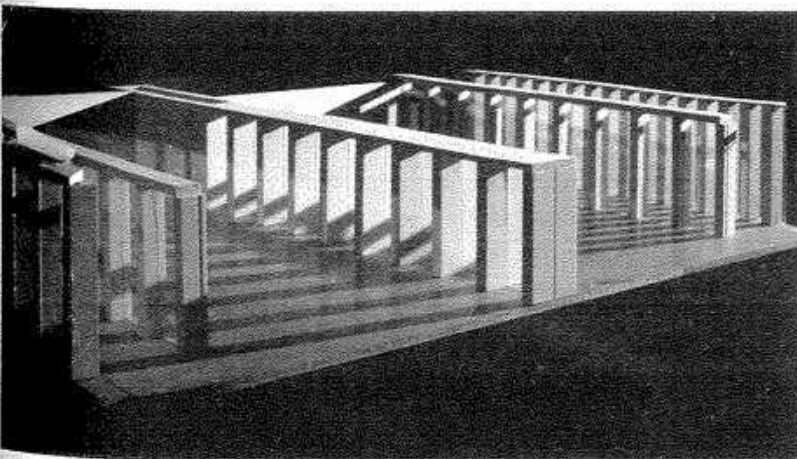


Fig. 240: Maqueta de concepto y de estudio

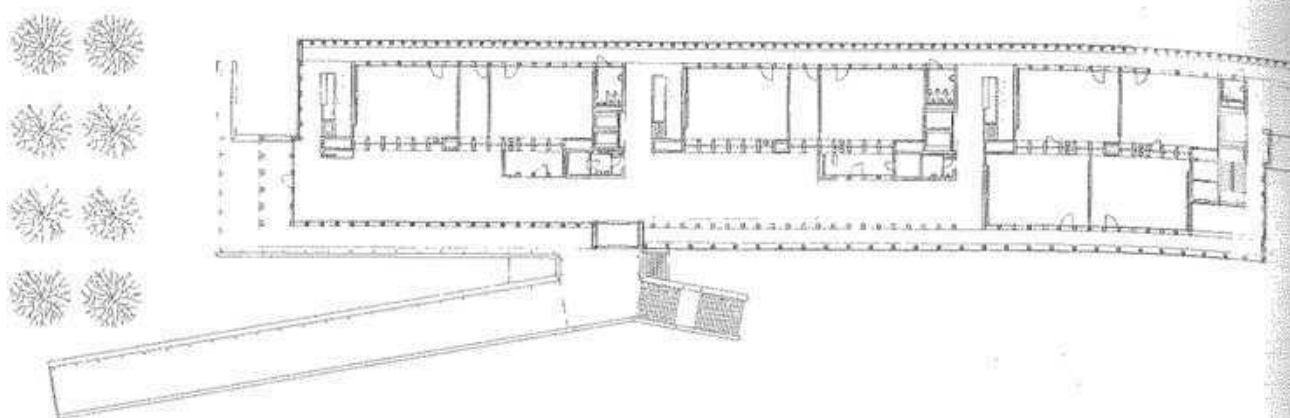


Fig. 243: Planta primera, escala 1:800

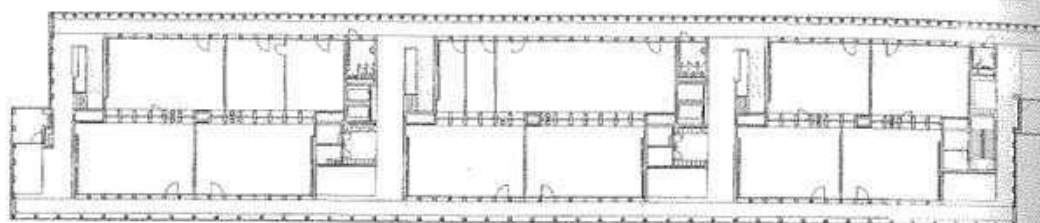


Fig. 244: Planta tercera, escala 1:800

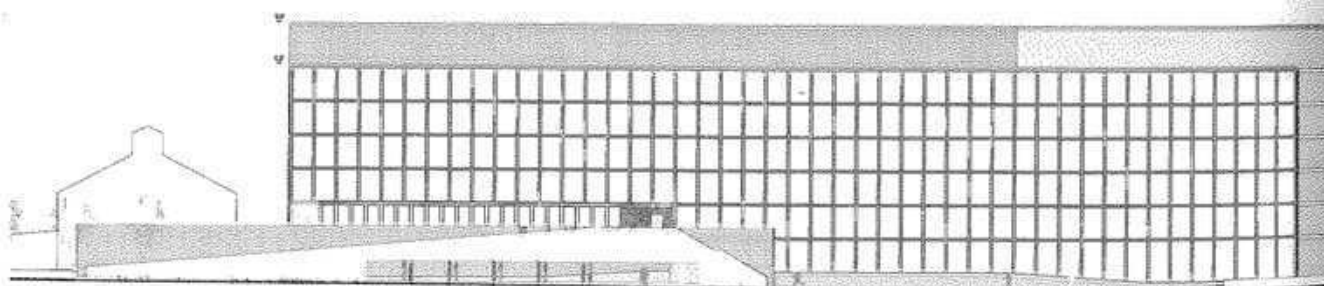


Fig. 245: Alzado este, escala 1:800

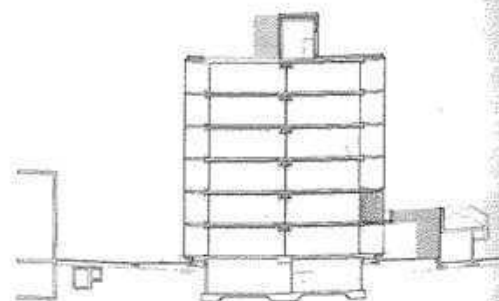


Fig. 246: Sección transversal, escala 1:800

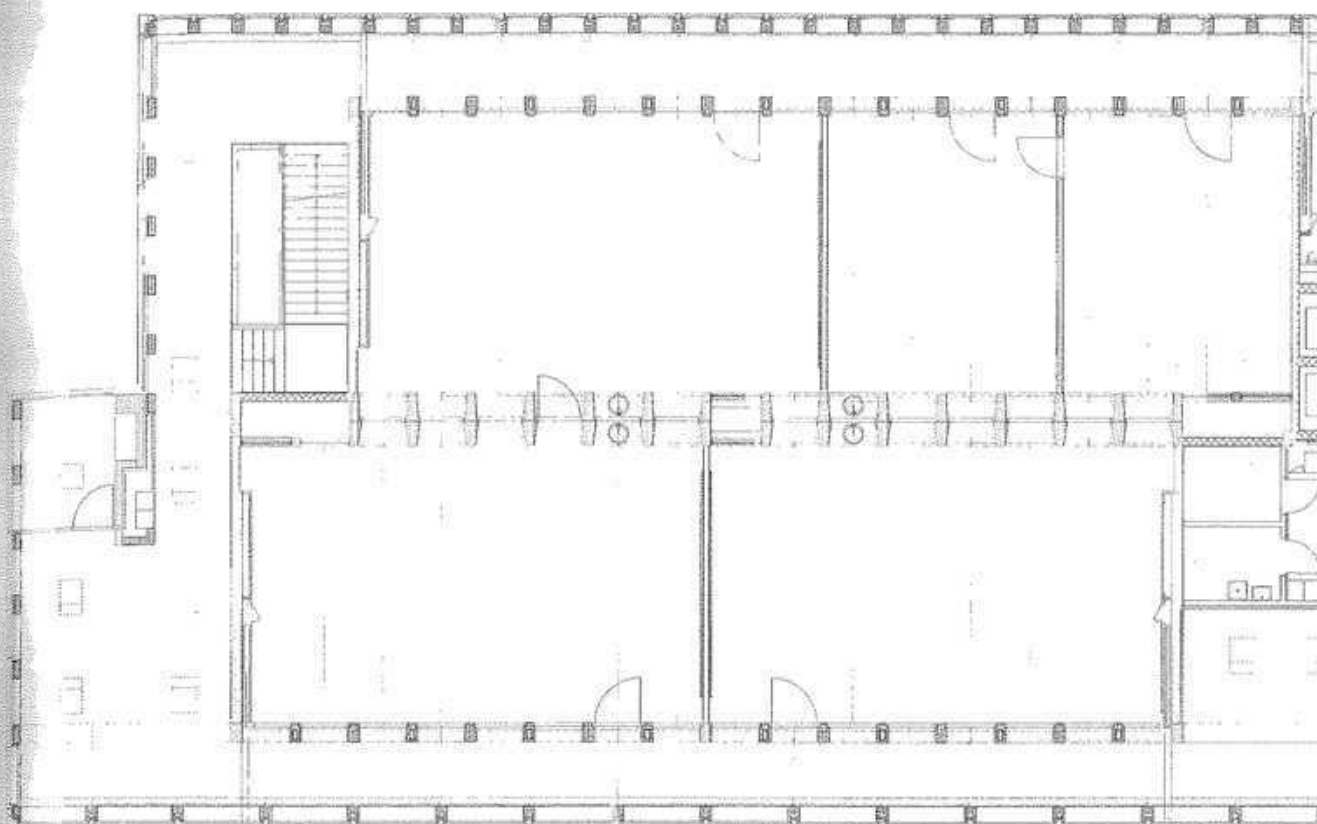


Fig. 247: Planta de las aulas, escala 1:200
Plano de obra a escala 1:50

Estructura portante

La tipología de la planta, los usos y la estructura portante de la escuela están estrechamente interrelacionados y se condicionan mutuamente. A excepción de la planta sótano y de los núcleos de comunicaciones verticales, el edificio está construido con hormigón armado. Dentro de este sistema ligero, el ensamblaje tectónico de pilares y forjados configura tanto la estructura espacial como la portante. El edificio está articulado mediante cinco hileras de pilares que, por su colocación repetitiva y compacta, determinan de un modo efectivo la forma del espacio. Los pilares principales en la zona central, al igual que los secundarios situados en la transición entre las clases y la zona del corredor, se unieron en obra a los módulos prefabricados mediante dinteles. Las losas de forjado de 12 cm de grosor sirvieron de encofrado perdido para la ejecución del hormigón vertido encima, y forman a su vez el acabado inferior del forjado, donde acometer las instalaciones acústicas y de iluminación. En la zona de los corredores soportan asimismo los elementos que configuran el falso techo. La hilera de pilares exteriores da rigidez al sistema constructivo de las fachadas.

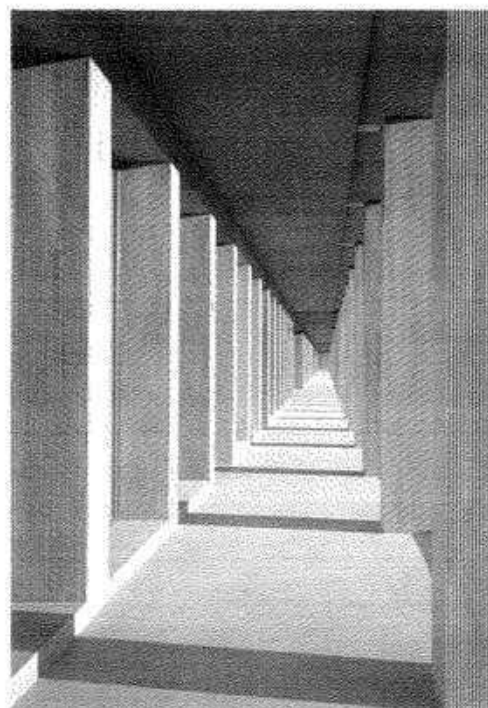


Fig. 248: Corredor a lo largo de la fachada
La luz que incide lateralmente refuerza el efecto de profundidad

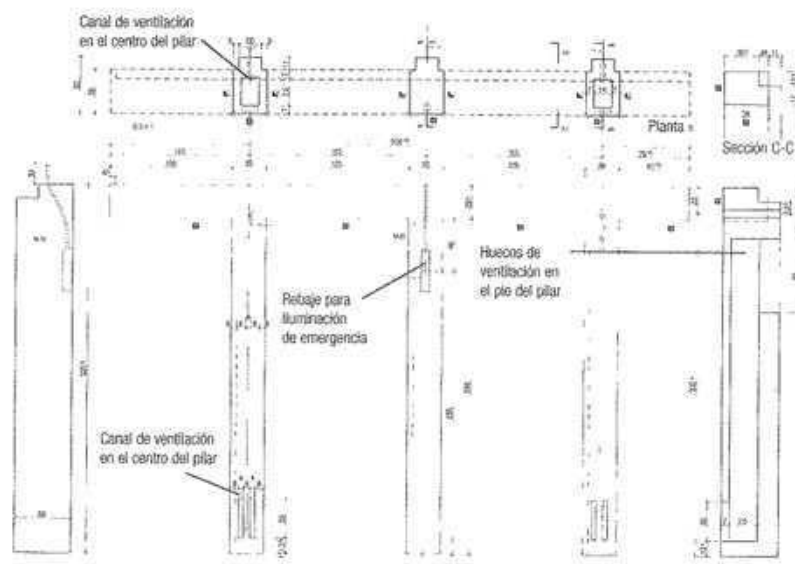


Fig. 249: Detalle de un tramo de tres pilares

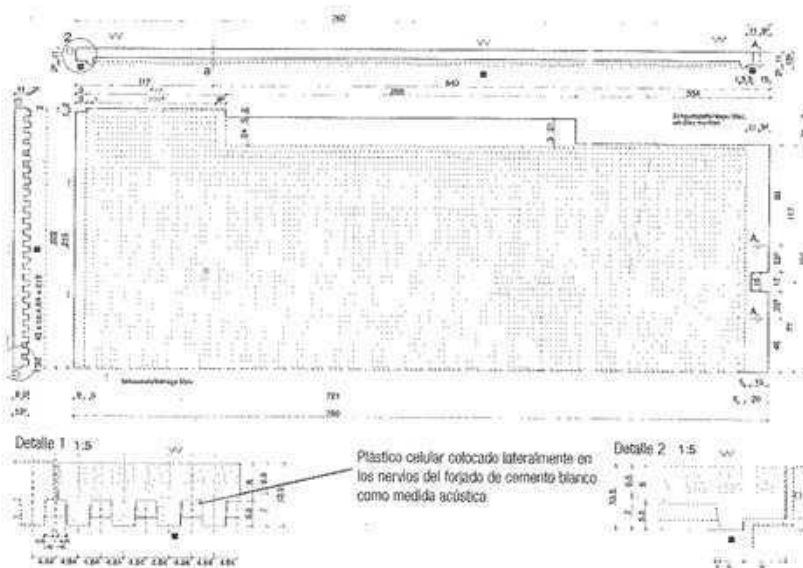


Fig. 250: Detalle de la losa nervada

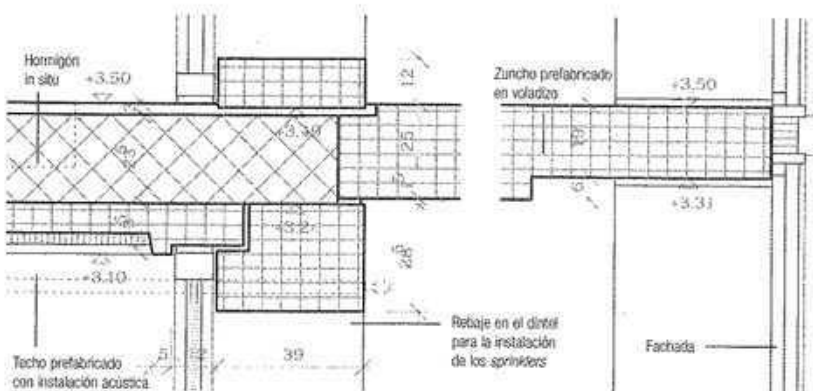


Fig. 251: Detalle del ensamble de la hilera de pilares exteriores, escala 1:20

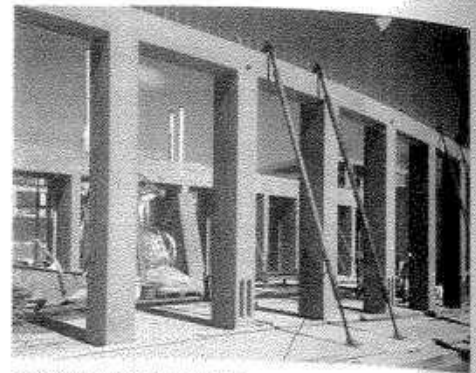


Fig. 252: Colocación de la estructura

Cada tramo de tres pilares se sostiene en obra provisoriamente con puentes.

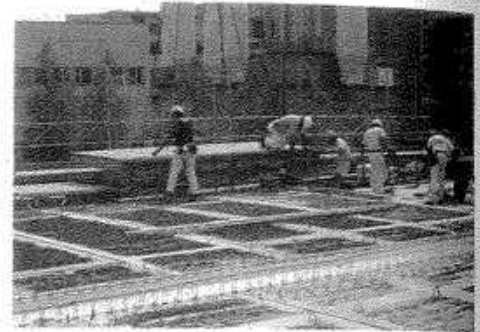


Fig. 253: Inserción de las losas de forjado

Los zunchos de borde están formados por piezas prefabricadas.

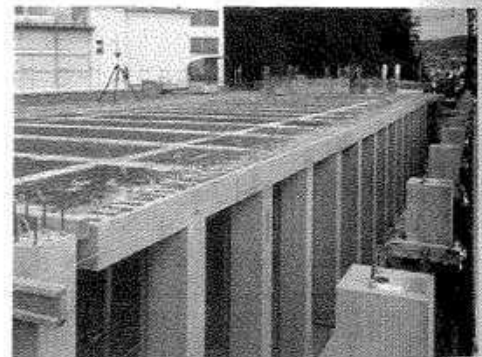


Fig. 254: Hormigón vertido sobre los elementos que forman el forjado. Los tramos formados cada tres pilares y las losas prefabricadas del forjado, así como el hormigón de relleno del mismo, se ensamblan solitariamente.

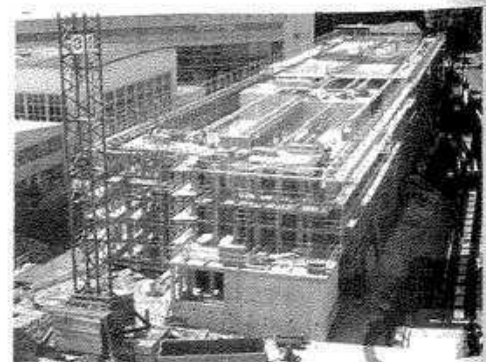


Fig. 255: Vista general del edificio en obras

Instalaciones técnicas

En este edificio, la existencia de una capa para ventilación y aireación artificial de los espacios interiores de uso común resulta inherente al desarrollo de una nueva tipología con un carácter arquitectónico específico.

Todas las instalaciones para las telecomunicaciones se ubican en la zona central del edificio. Los conductos verticales se colocan siempre entre dos pilares y desde aquí también se lleva el aire a los espacios de uso, para después conducirlo por los canales integrados en los pilares sobre los corredores, que funcionan también como parte del sistema continuo de ventilación. La hilera exterior de pilares sirve de *brise-soleil* y reacciona según el grosor adecuado a las diferentes exposiciones al sol. El edificio puede abrirse para la ventilación nocturna por sus frentes. La trama formada por las piezas del cerramiento procura la protección necesaria. El sistema termopactivo TABS, incorporado en el forjado de hormigón, garantiza su estabilidad, lo que permite tanto la calefacción en invierno como la refrigeración en verano. Mientras los espacios de uso muestran tanto en invierno como en verano un gasto energético mínimo, con temperaturas relativamente constantes, éstas resultan variables en todas las áreas de intercambio y comunicación.



Fig. 256: Pílares exteriores. Cabeza de los pilares con el canal de ventilación y los techos acústicos

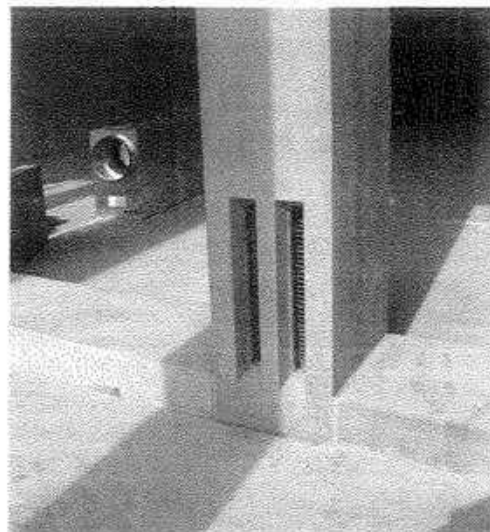


Fig. 257: Pílares exteriores. Pie del pilar con el canal de ventilación

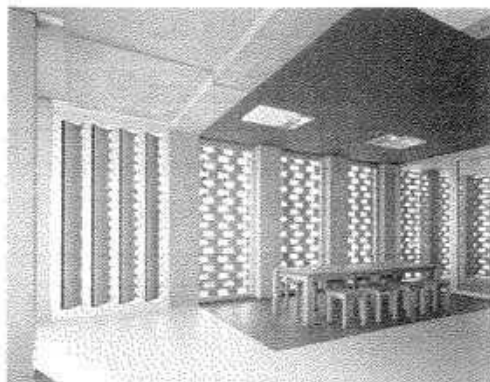


Fig. 258: Ventilación nocturna tras la celosía de piezas de hormigón. Pequeñas piezas practicables facilitan la ventilación nocturna en las zonas comunes.

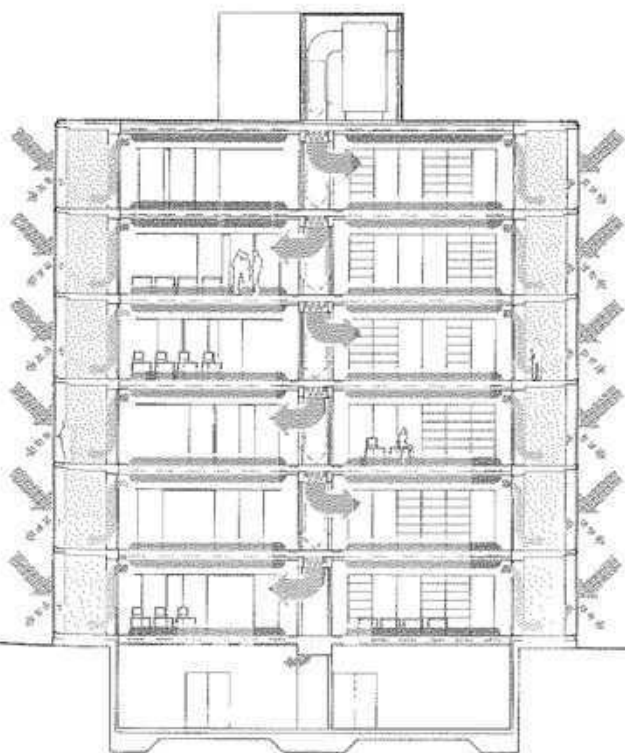


Fig. 259: Esquema de las instalaciones técnicas/ventilación. El aire exterior entra en los espacios del edificio y circula en cascada por los corredores situados lateralmente a lo largo de la fachada.

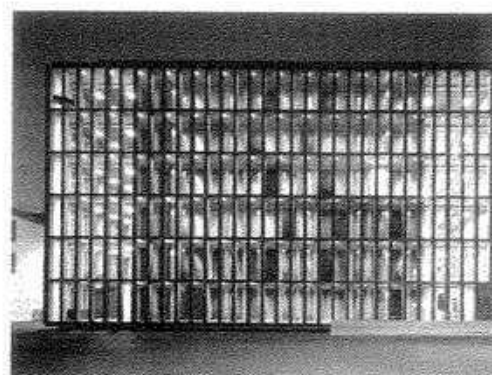
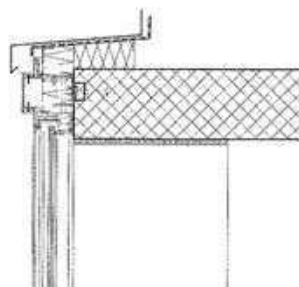


Fig. 262: Vista de la fachada este
La fina retícula de la fachada y su transparencia

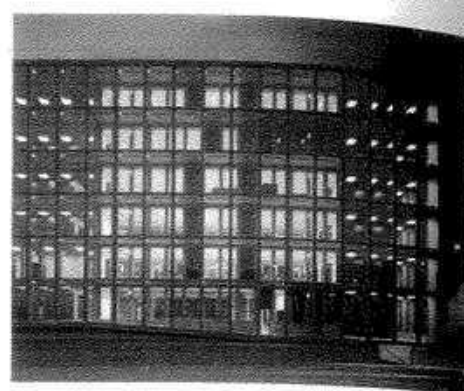


Fig. 263: Vista de la fachada oeste
La amplia trama de la fachada y su transparencia

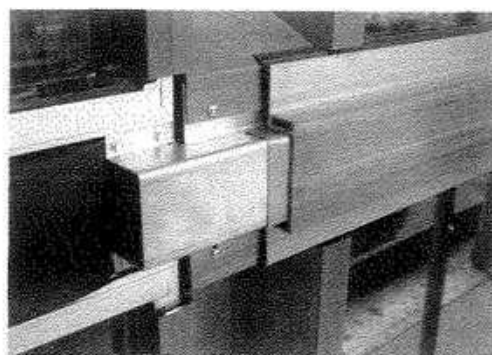
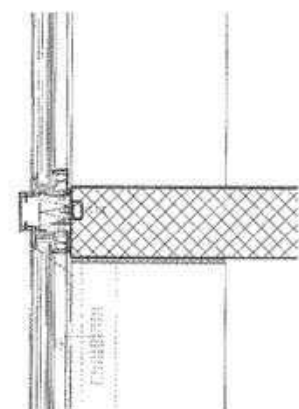


Fig. 264: Detalle del sistema constructivo de las fachadas
Los perfiles de la ventana de bronce extruido

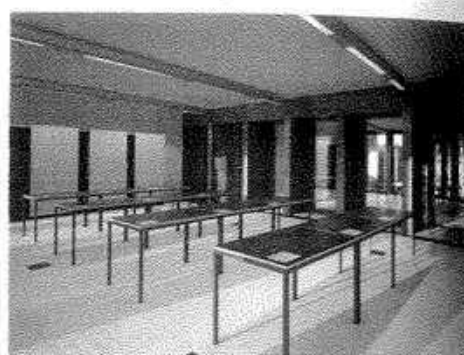


Fig. 265: Materialización de los espacios docentes
Vista hacia la hilera central de pilares de la sala situada enfrente

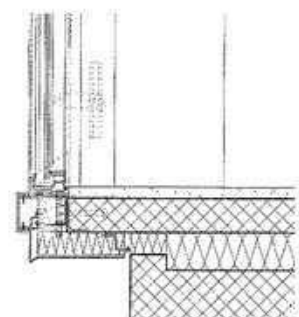


Fig. 260: Detalle de la sección de la fachada,
escala 1:20

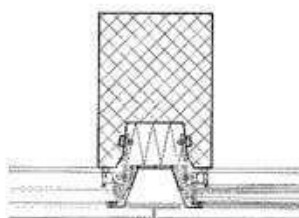


Fig. 261: Detalle de la planta. Pilar de fachada,
escala 1:20

Sistema constructivo y materialización

La fachada del edificio refleja la precisión del sistema constructivo que determina su configuración interior. El acristalamiento fijo, que ocupa toda la superficie de suelo a techo y tiene perfiles de bronce extruido, forma una retícula que se extiende a lo largo de toda la fachada. Está constituido por el habitual vidrio aislante de dos hojas que garantiza un comportamiento energético eficaz. Gracias al distinto grosor de los pilares de las fachadas se aprecia la diferencia entre las caras este y oeste del edificio, y su reacción a las divergentes radiaciones solares que se producen en una y otra. No es procedente utilizar medidas exteriores de protección solar ya que los corredores actúan como barreras climáticas. Las piezas que forman la trama de hormigón revisten la fachada y forran los elementos situados detrás. El hormigón sobresale exteriormente y forma la cornisa que ata la cubierta a la fachada y la rampa.

En el interior, el carácter arquitectónico viene determinado por el uso de pocos materiales. La estructura es vista, sin revestimiento de los elementos que la componen. La seriación de los pilares de hormigón, con espacios intermedios cerrados con vidrio, dotan de carácter al ambiente interior y sirven para oscurecer y definir el espacio e incorporar las instalaciones técnicas. Sus super-

ficies laterales se estructuran por medio de nervios que muestran la plasticidad del hormigón y confieren una gran elegancia al rudo carácter del material prefabricado. Además, los pilares forman los ángulos vistos de las paredes ciegas o no obstaculizan la vista de la capa espacial inmediata. La estructura de capas superpuestas de fachada, pilares y espacios de uso produce distintas imágenes en función de la diferente iluminación recibida. El vidrio produce un efecto corpóreo que cambia de transparente a reflectante o traslúcido. La configuración de las paredes, que tienen la intención primordial de ser transparentes, trata de favorecer el intercambio entre los diferentes campos profesionales.

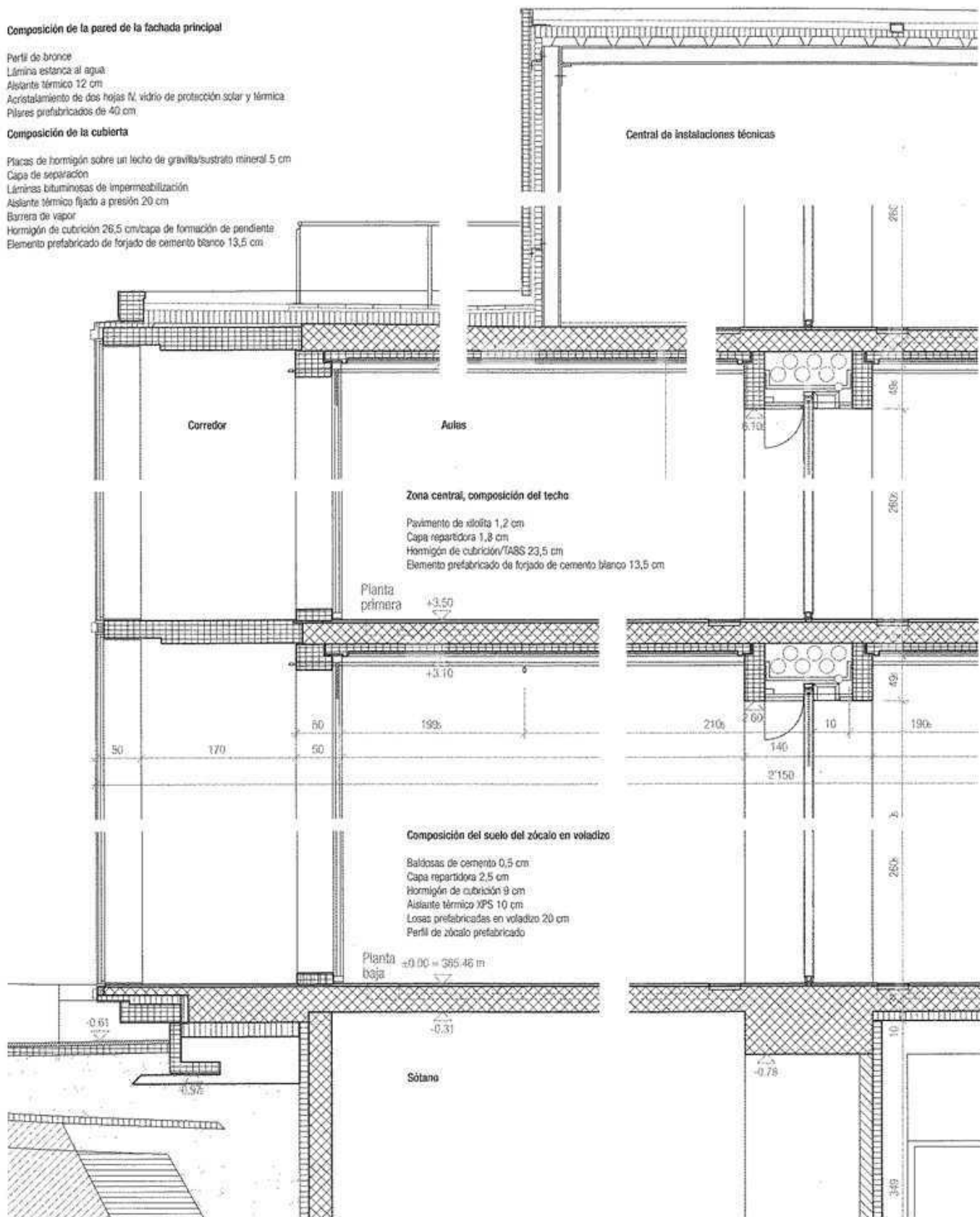
Los techos de las aulas están contruidos con elementos prefabricados de cemento blanco y presentan nervios. El pavimento de baldosas de cemento y xilolita subrayan la materialización constructiva homogénea y robusta. Gracias a las dimensiones de los forjados y a su correspondiente masa, puede renunciarse a la colocación de los sistemas convencionales que atenúan el ruido de impacto sobre el suelo. Unos tonos rojizos en algunas partes completan un concepto de materialización que se reduce a lo esencial y hace que determinados lugares se destaquen en el interior del volumen.

Composición de la pared de la fachada principal

Perfil de bronce
 Lámina estanca al agua
 Aislante térmico 12 cm
 Acristalamiento de dos hojas IV, vidrio de protección solar y térmica
 Pilares prefabricados de 40 cm

Composición de la cubierta

Placas de hormigón sobre un lecho de grava/substrato mineral 5 cm
 Capa de separación
 Láminas bituminosas de impermeabilización
 Aislante térmico fijado a presión 20 cm
 Barrera de vapor
 Hormigón de cubrición 26,5 cm/capa de formación de pendiente
 Elemento prefabricado de forjado de cemento blanco 13,5 cm



Edificio de seminarios para profesores (sección de ciencias naturales), Chur, Suiza Bearth + Deplazes

Valentin Bearth, Andrea Deplazes,
Alois Diethelm

Situación, descripción

Esta sección de ciencias naturales constituye una ampliación del seminario para los profesores del cantón suizo de Los Grisones. Tanto su estructura tectónica (una superposición de cuatro losas de hormigón), como su articulación espacial (aulas y salas de preparación de las clases), responden estrictamente a criterios espaciales, económicos y de servicio.

Con la total transparencia de los espacios interiores y de las fachadas se hace patente la finalidad de un edificio destinado a la enseñanza de las ciencias naturales. La precisa claridad de una trama cristalina o una estructura molecular como piedra angular de la vida o naturaleza que hay que investigar, se transforma en la estructura racional de un prisma de vidrio con aristas vivas, insertado en un entorno verde: una artificiosidad racional en medio de otra romántica, al "modelo" de la naturaleza se le incorpora una "imagen" de la misma.

La ausencia de color (en el interior del edificio imperan únicamente diferentes tonos de grises) incrementa la perceptible artificiosidad de los laboratorios de ciencias naturales como polo que contrasta con la "visión verde",



Fig. 268: Emplazamiento
Nuevo edificio a los pies de Hottelsen, Chur

intensa y variada de la vegetación del entorno (árboles, arbustos, vides, helechos, etc.), que se extiende hasta la piel del prisma acristalado. Inesperadamente, se intercambian las posiciones del observador y de lo observado.

Arquitectos: Bearth + Deplazes, Chur
Ejecución: 1997-1999
Dirección del proyecto: Bettina Werner
Estructura: Fredy Unger, Chur

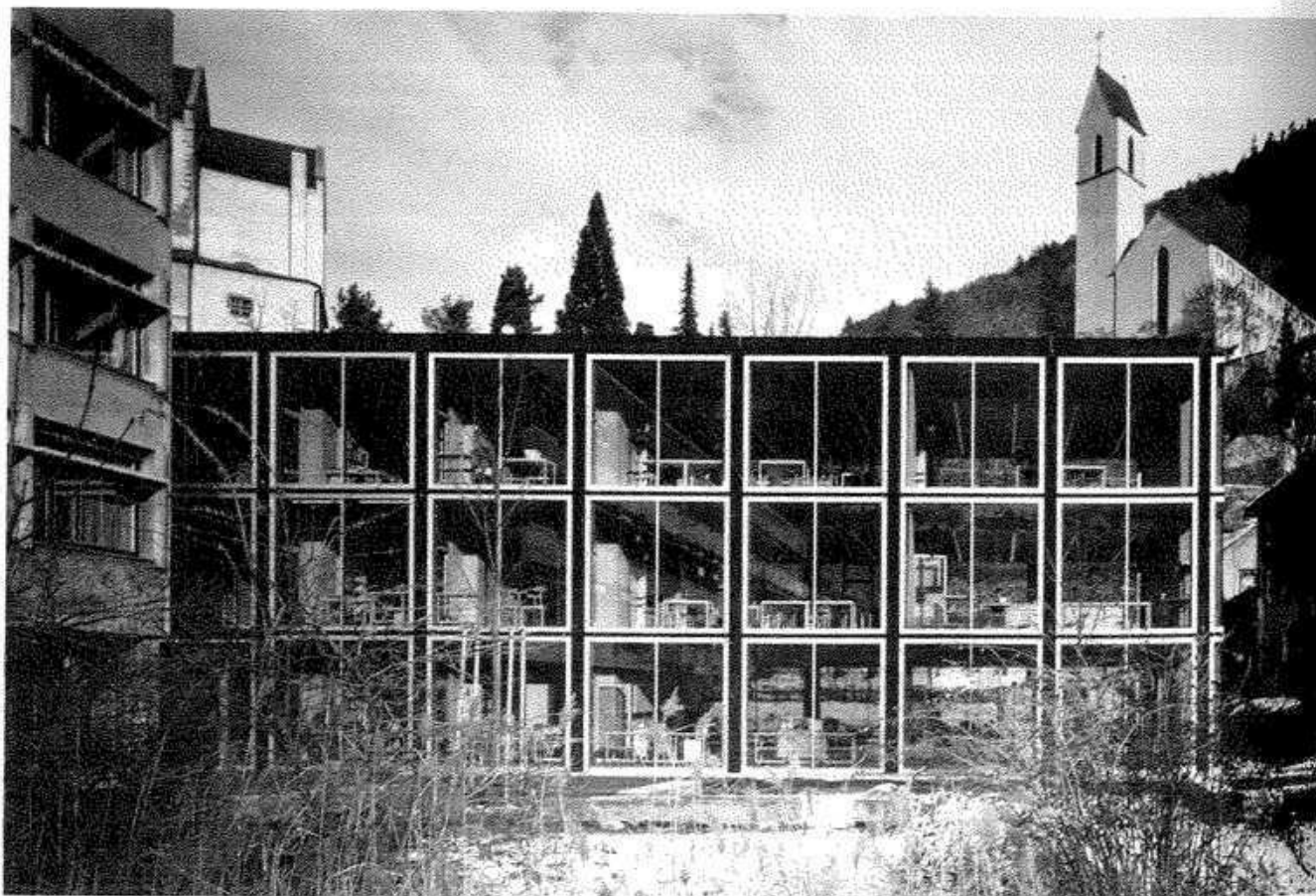


Fig. 269: Fachada sur
Observado frontalmente, la vista puede atravesar el edificio

Estructura espacial y portante I

La estructura portante de hormigón in situ se compone de cuatro losas superpuestas, cuya rigidez se refuerza mediante una caja de escaleras colocada en uno de sus lados. Los pilares se unen por medio de vigas, configurando dos pórticos de cinco crujeas que discurren paralelas a lo largo de todo el edificio. Entre estas crujeas se tiende un falso techo que tiene su remate en las vigas.

En lugar de colocar las vigas en sentido perpendicular a la fachada, esta disposición permite una distribución horizontal sin problemas para las instalaciones eléctricas, sanitarias, de gas y de los laboratorios. A excepción del volumen ocupado por las escaleras, la estructura del edificio no asume uso específico alguno. La separación entre aulas, espacios auxiliares y de comunicación favorece la transparencia gracias a tabiques no portantes de vidrio en toda la longitud del edificio, mientras que en sentido transversal los espacios principales se dividen con armarios empotrados colocados entre los pilares, con una dimensión idónea (60 x 60 cm) para tal propósito.

La disposición libre y variable de las paredes que sugiere la estructura portante se ve marcada por la posición del núcleo de escaleras y el de conductos de instalaciones verticales. Ambos núcleos están encerrados entre dos pilares situados a su derecha y a su izquierda, y albergan los elementos de comunicación vertical y medios audiovisuales, de modo que son inamovibles. Esto permite el funcionamiento autónomo de las instalaciones en las distintas plantas. Se desestimó la posibilidad de conectar los conductos verticales a la caja de escaleras

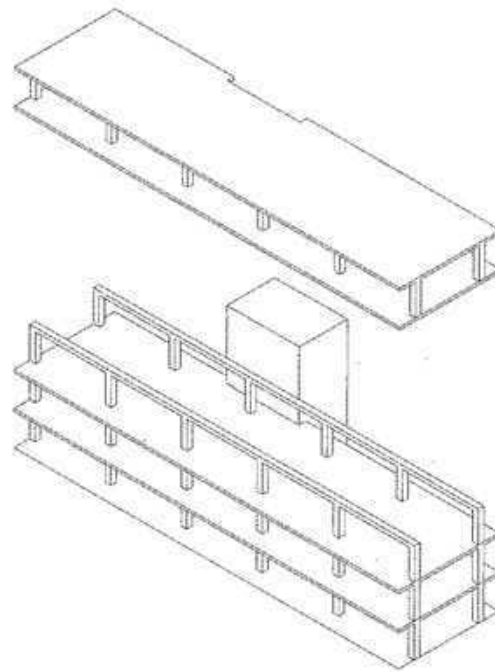


Fig. 270: Axonometría de la estructura
Superposición de "mesas"

pues hubiera obligado a efectuar perforaciones en las vigas de una zona del edificio, además de añadir un falso techo. Con ello se produce un ahorro y se refuerza la idea constructiva a modo de "mesas" del edificio.

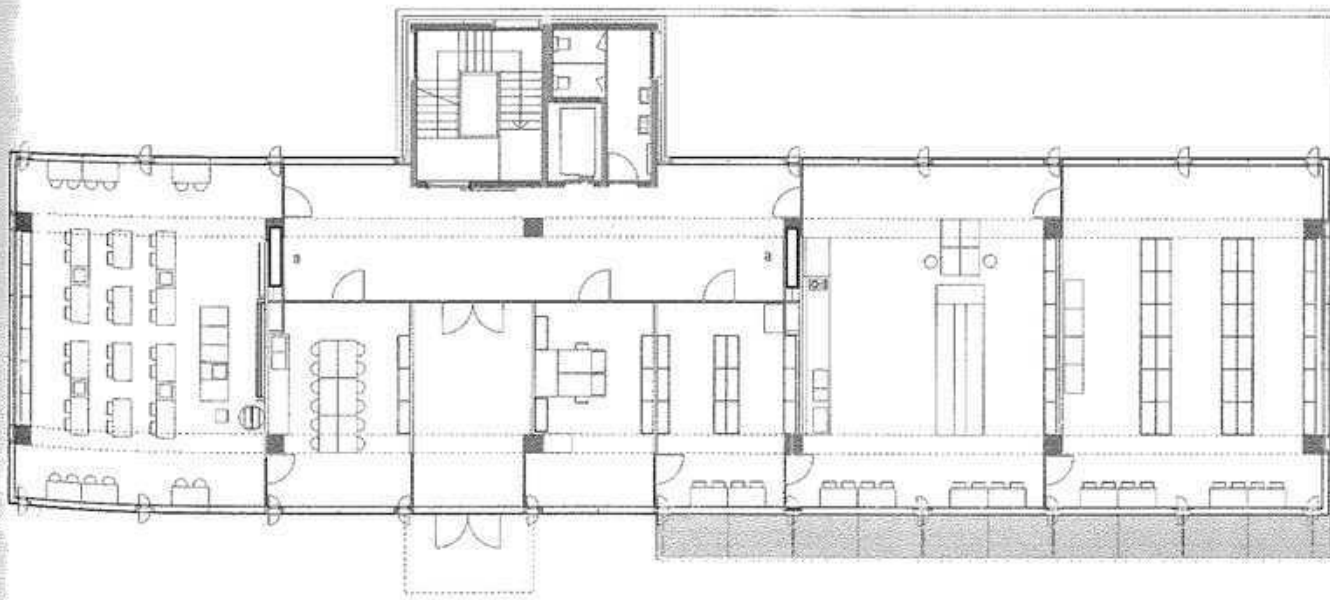


Fig. 269: Planta baja
Comunicación de las salas sin necesidad de pasillos
a) conductos para instalaciones verticales

Estructura espacial y portante II

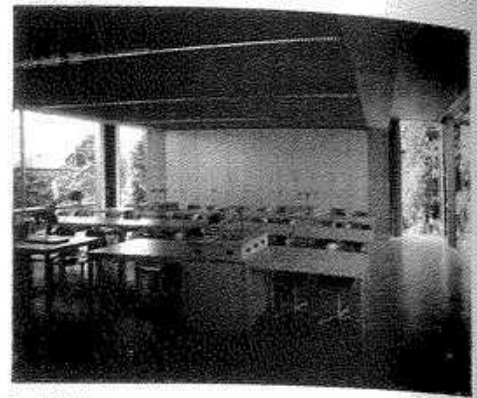


Fig. 271: Aula

Falso techo entre las vigas; en la zona situada junto a la fachada, el techo está formado sólo por la losa de hormigón (véase la sección transversal).

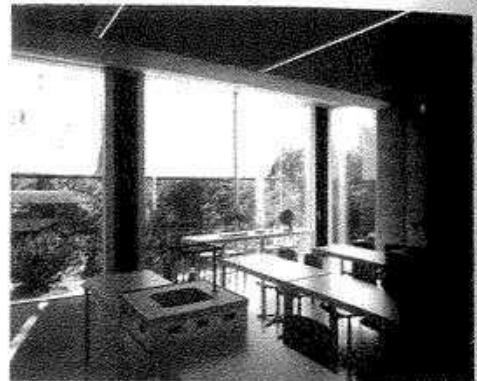


Fig. 272: Aula

La relación visual con el exterior se mantiene también cuando el estar se baja.



Fig. 273: Planta primera

Antesala junto a la escalera con pasillo hasta el aula del fondo
a) conductos para instalaciones verticales

0 1 5 m

Estructura espacial y portante III

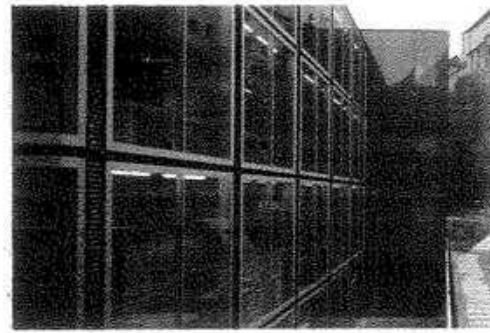
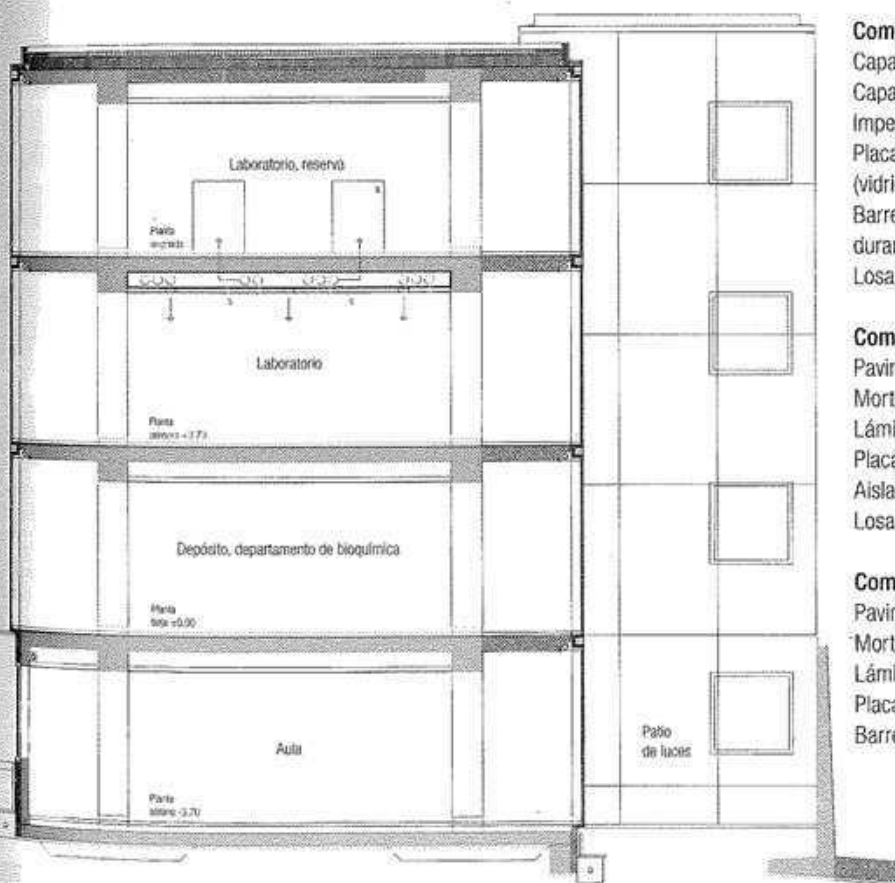


Fig. 274: Fachada norte

Caja de escalera como refuerzo estructural; revestimiento de vidrio sin marcos

**Composición de la cubierta**

Capa de drenaje, grava
 Capa de separación (filtro de fieltro)
 Impermeabilización GV3 + EP 4 WF
 Placa aislante con formación de pendiente
 (vidrio celular T4)
 Barrera de vapor/cubrición de emergencia
 durante la obra GV3
 Losa de hormigón

Composición del forjado en las plantas superiores

Pavimento (linóleo)
 Mortero de cemento
 Lámina de polietileno
 Placa de aislamiento térmico
 Aislamiento contra el ruido de impacto
 Losa de hormigón

Composición del forjado en el sótano

Pavimento (linóleo)
 Mortero de cemento
 Lámina de polietileno
 Placa de aislamiento térmico
 Barrera de vapor V4A

Fig. 275: Sección transversal

*Masa: superpuestas y caja de la escalera, que acaba y tiene continuidad en el patio de luces del sótano
 al: mazo de laboratorio/columnas de instalaciones de medios audiovisuales; tj: distribución horizontal de las instalaciones; cj: elementos para la iluminación



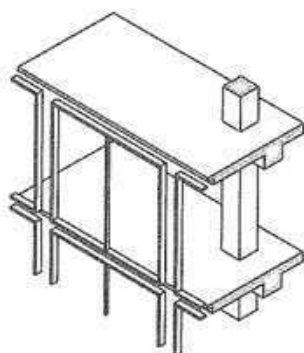


Fig. 276: Estructura portante de hormigón (sistema primario) con un entramado metálico ligero (sistema secundario).
Los marcos se fijan a los cantos de forjado.

Sistema constructivo y carácter arquitectónico.

Muro cortina

La fachada se basa en un sistema de marcos casi cuadrados, fijados en su borde superior e inferior a los cantos del forjado. Los marcos están colocados de modo que entre ellos quedan juntas rehundidas. En las horizontales se encuentran los elementos de protección solar y en las verticales las hojas de ventilación.

Los marcos de aluminio anodizado están divididos por un perfil en T vertical, reduciendo así a la mitad la anchura del paño de vidrio y, en consecuencia, también en gran medida su precio. Los paños de vidrio aislante están realizados con vidrio laminado de seguridad en su lado interior, de modo que sustituyen a la barandilla exigida para evitar caídas. La ventilación tiene lugar de una forma natural a través de las citadas hojas fijadas por el interior, donde las lamas exteriores procuran el intercambio de aire dependiendo del clima (para refrescar el ambiente en

verano, por ejemplo), o protección en el caso de lluvia, además de impedir el acceso al edificio. La posibilidad de abrir las lamas con un elemento intermedio responde al deseo del profesorado de establecer un vínculo físico con el exterior.

La utilización de las juntas entre los marcos (tanto para la protección solar como para la ventilación) permite la configuración de un revestimiento exterior capaz de integrar los distintos elementos que componen la fachada: el vidrio y su sujeción se encuentran en el mismo plano. La configuración de la esquina con el escalonamiento del vidrio (las láminas se encuentran entre sí, sin mediación de marco alguno), refuerza la imagen de fachada continua. Todos los elementos técnicamente necesarios están empotrados, de modo que la fachada funciona como el engranaje de un reloj en el conjunto del sistema constructivo. A pesar de todo, se trata de una solución de muro cortina relativamente económica.

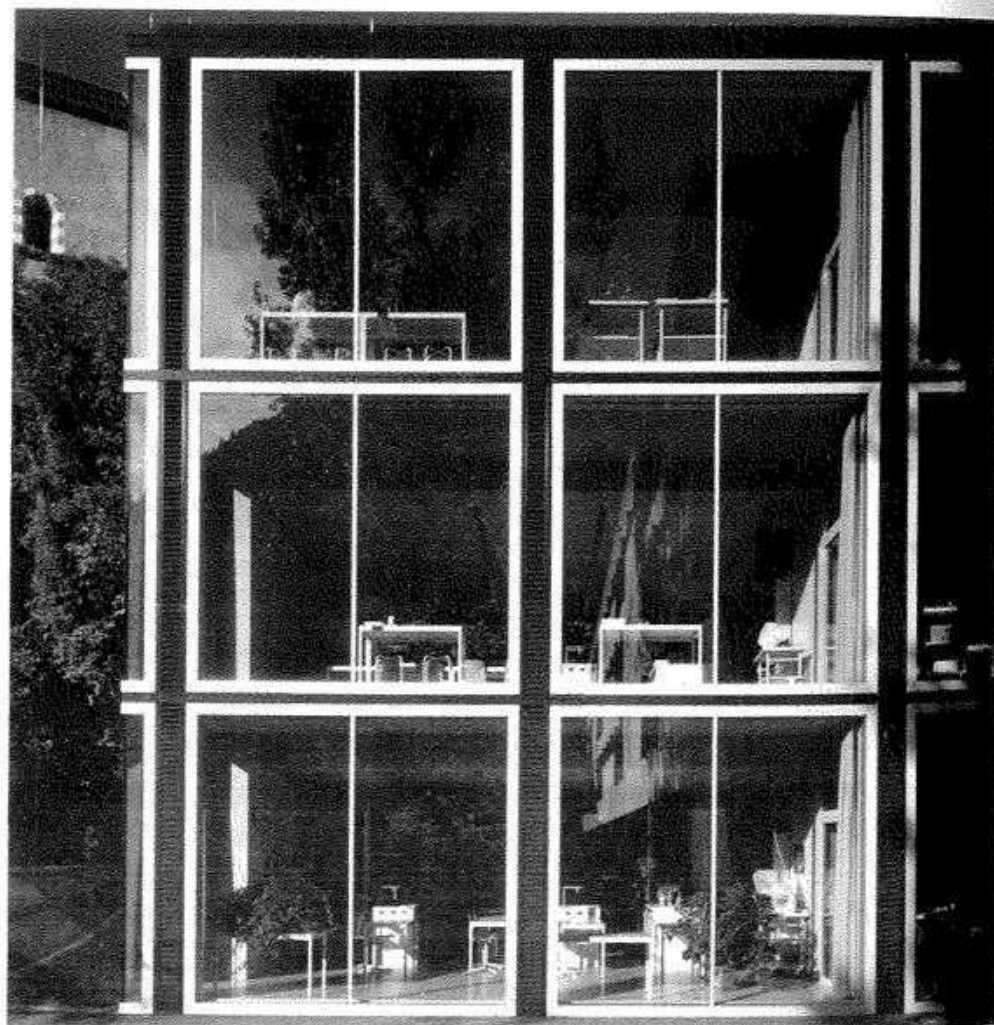
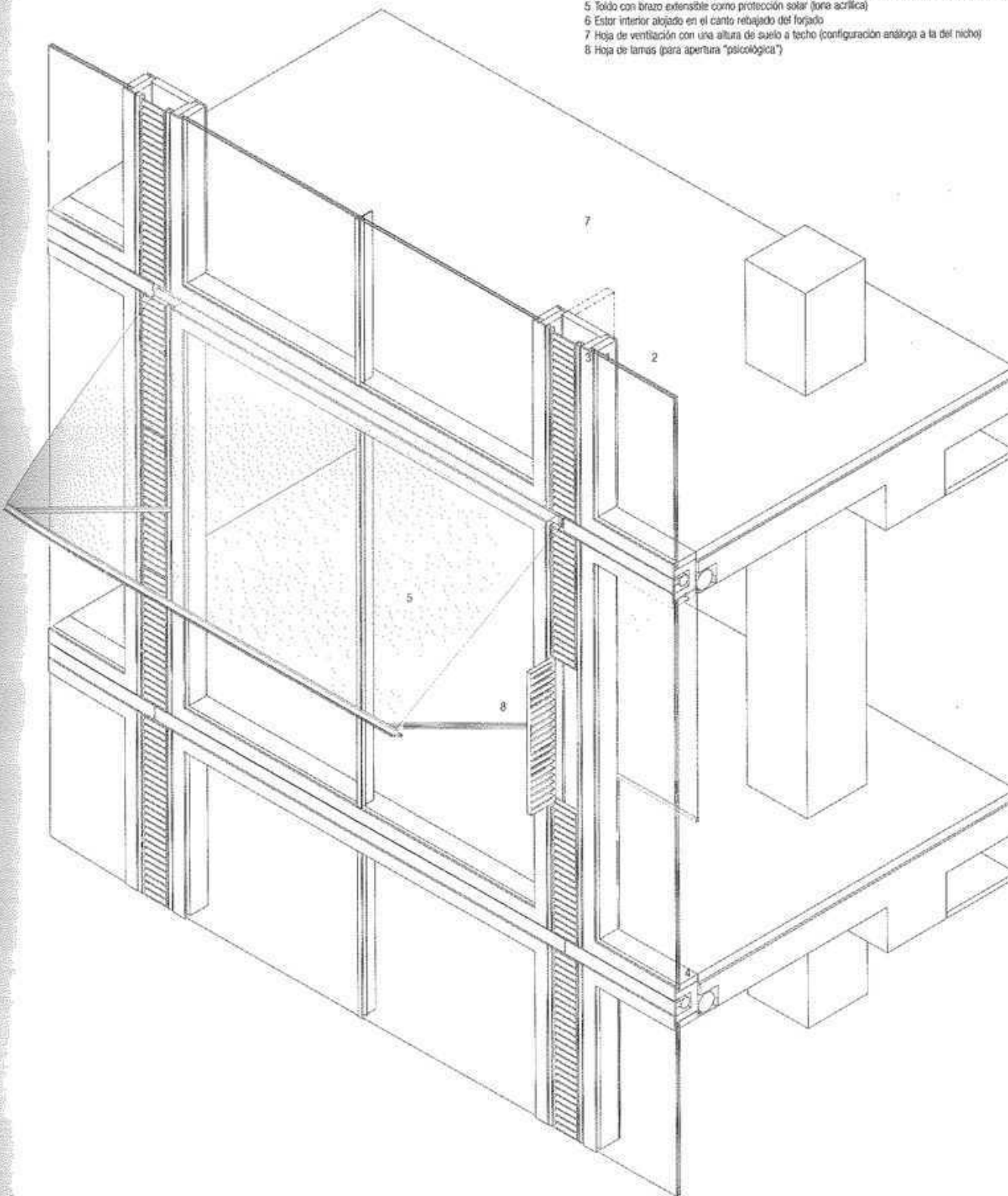


Fig. 277: Detalle de la fachada.
Configuración de la esquina sin marco (ángulo exclusivamente formado con el vidrio escalonado).

Sistema constructivo de la fachada

- 1 Perfil de aluminio, 60/180 mm
- 2 Vidrio aislante, lámina interior de vidrio laminado
- 3 Cubrejuntas a presión exterior para la fijación del vidrio
- 4 Configuración de nicho: aislante de lana mineral (60 mm) y revestimiento de chapa de aluminio
- 5 Toldo con brazo extensible como protección solar (lona acrílica)
- 6 Estor interior alojado en el canto rebajado del forjado
- 7 Hoja de ventilación con una altura de suelo a techo (configuración análoga a la del nicho)
- 8 Hoja de lamas (para apertura "psicológica")

**Fig. 278: Acabado de la fachada**

Espacios entre los marcos de las ventanas para la ventilación (verticales) y protección solar (horizontales)

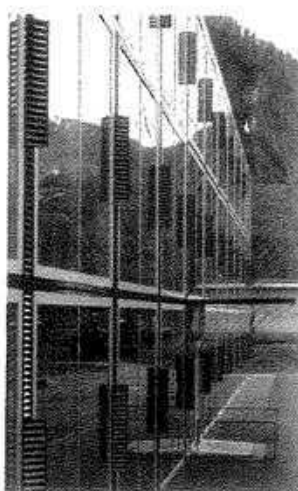


Fig. 279: Fachada sur con la entrada
Hojas exteriores de ventilación abiertas

Sistema constructivo de la fachada

- a Montante de aluminio, 60/160 mm
- b Ménsula/guía para colgar los perfiles de la fachada
- c Vidrio aislante: capa interior de vidrio laminado, 8 mm; capa exterior de vidrio flotante, 8 mm (en la esquina formada sólo de vidrio: una lámina de vidrio de seguridad, 8 mm)
- d Tapajuntas a presión para fijación exterior del vidrio (a = 60 mm)
- e Tapajuntas de mayor anchura (a = 120 mm)
- f Lana mineral, 60 mm y revestimiento de chapa de aluminio
- g Guía para el toldo con listón como tapajuntas
- h Brazo extensible
- i Estores interiores en el canto del forjado rebajado
- j Tubos fluorescentes empotrados

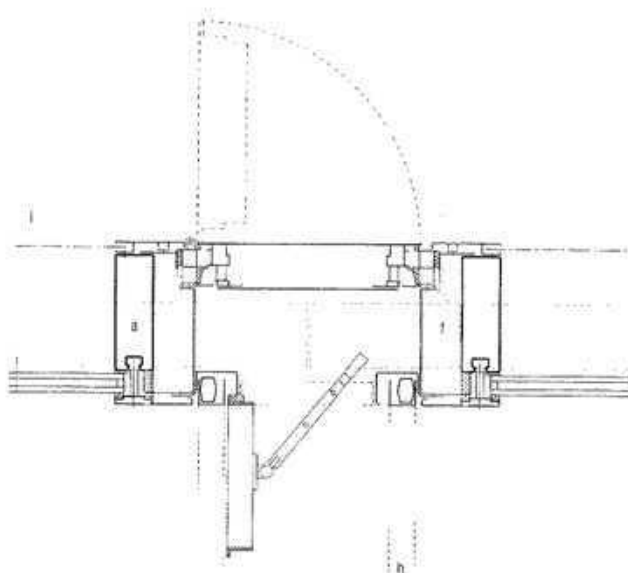


Fig. 280: Sección horizontal
Junta vertical con hojas de ventilación interior
y exterior

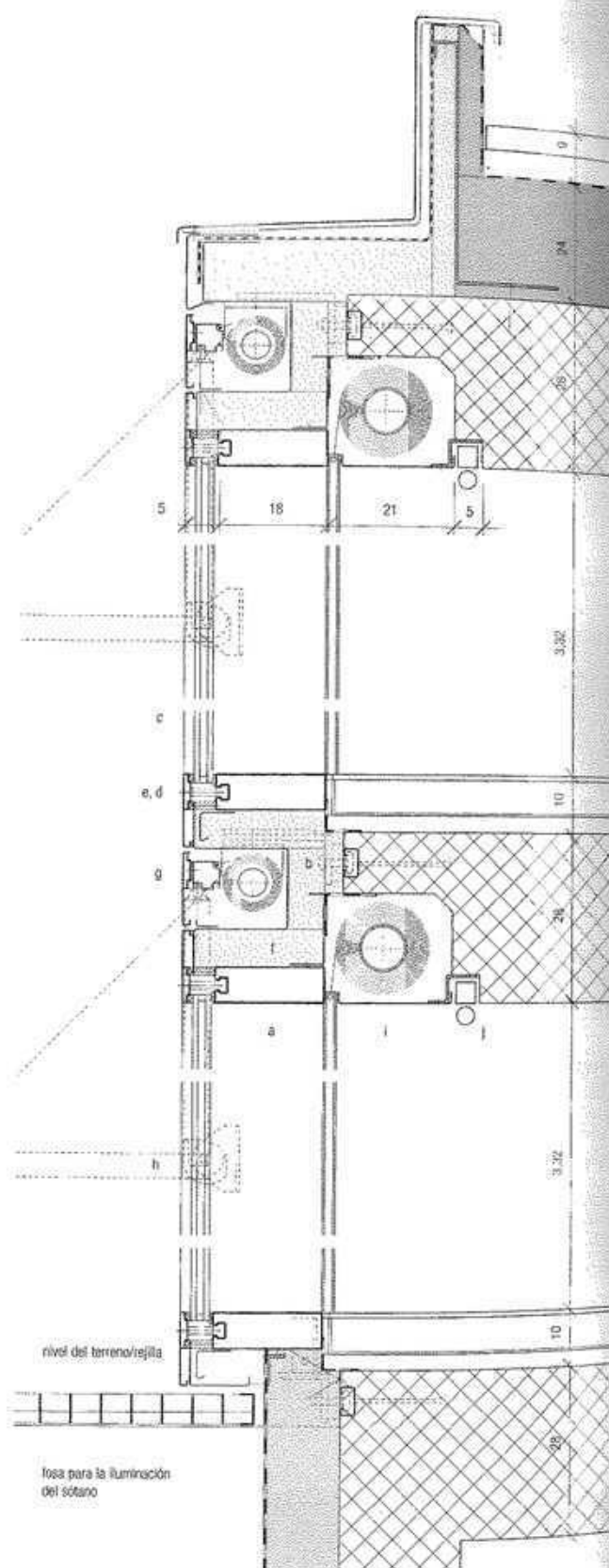


Fig. 281: Sección vertical

Construcción y lenguaje arquitectónico.**La protección solar**

La protección solar es una parte integral de la concepción técnica del edificio, que a pesar de estar totalmente acristalado, puede prescindir de cualquier sistema de climatización. A diferencia de los estores verticales, que una vez desplegados cubren la fachada como una piel (pero no pueden embutirse en la fachada), con los toldos el edificio adquiere una plasticidad y profundidad que, dependiendo de su posición, produce dos percepciones esencialmente distintas. Otra circunstancia que favorece la doble percepción es el hecho de que sólo la fachada sur cuenta con protección solar, contraviniendo así la aparente homogeneidad de cuatro fachadas iguales acristaladas.

El vuelo de las marquesinas practicables, tras las que la fachada permanece visible, supone un gesto atractivo poco común en la mayor parte de los sistemas de protección solar, pues a menudo ésta constituye un elemento de separación, en mayor o menor grado, de los espacios interior y exterior. La relación visual, por tanto, se mantiene. Los puntos débiles de este sistema se encuentran en los extremos del edificio, donde la radiación solar puede incidir sobre el acristalamiento. Igualmente, debido a su posición expuesta, pueden experimentar la fuerza del viento.

El mismo efecto arquitectónico hubiera podido obtenerse también con estores articulados, pero presentan la desventaja de que, con el tiempo, el viento puede desajustarlos.

Los toldos con accionamiento eléctrico se alojan en el nicho horizontal situado entre los marcos de las ventanas. Para cubrir su perfil horizontal se ha utilizado un tapajuntas (12 cm), semejante a los de un sistema constructivo de montantes y travesaños. Los brazos extensibles están revestidos con un perfil en U y quedan enrasados entre el marco de la ventana y las hojas de ventilación. A excepción de los marcos de las ventanas de aluminio anodizado, todos los elementos vistos de la fachada están esmaltados al fuego en negro para mitigar la presencia de las juntas y el efecto que producen las lamas de las hojas de ventilación.

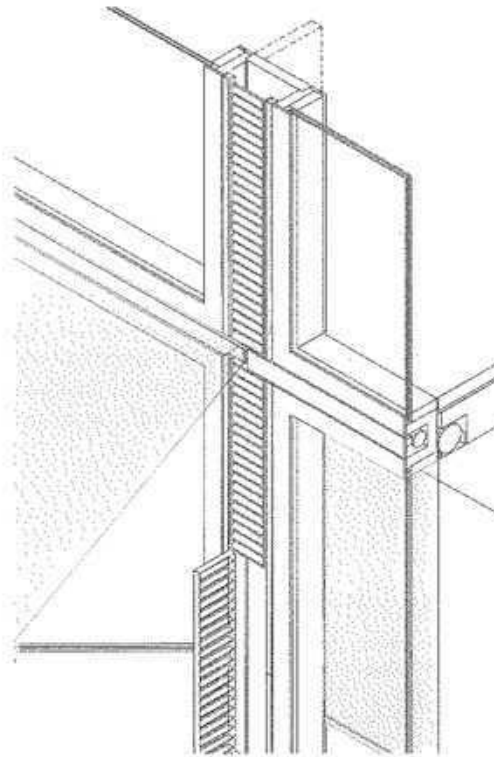


Fig. 283: Detalle de la fachada sur con los toldos desplegados
El tope de la posición del brazo extensible es la horizontal

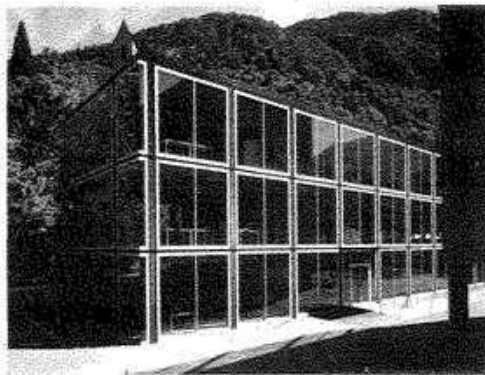


Fig. 282: Fachada sur con los toldos recogidos
Todas las fachadas presentan un carácter semejante

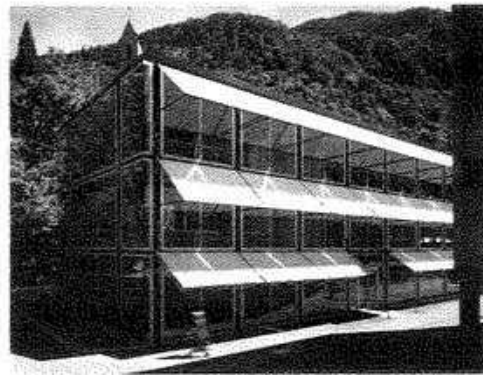


Fig. 284: Fachada sur con toldo desplegado
La fachada gana en plasticidad: la ausencia de un toldo indica la entrada con una marquesina fija

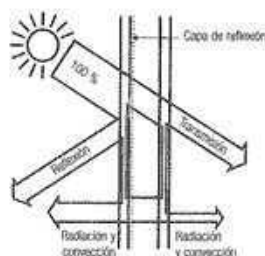


Fig. 285: Protección solar. Efecto físico de la radiación
Fuente: Glas und Praxis, Glas Treisch AG, 2000

Concepto energético. El "problema" del efecto invernadero

El problema específico de los edificios acristalados (lo que en esencia también es válido para las ventanas individuales de una fachada con huecos), reside en que en invierno el vidrio protege peor de las pérdidas de calor y, por el contrario, en verano permite el paso de un exceso no deseado de energía solar (aunque la energía solar captada en este caso, sobre todo cuando las superficies de vidrio son grandes, compensa con creces las pérdidas invernales de calor). De no tomar las medidas correspondientes, las consecuencias son en general conocidas: según la estación del año, un sobrecalentamiento o un enfriamiento excesivo en los días fríos.

Hasta bien entrada la década de 1980, la respuesta más habitual consistía en la climatización integral de los edificios acristalados. A consecuencia del cambio motivado por la creciente conciencia medioambiental y el consecuente destierro de las instalaciones de aire acondicionado, comenzaron a tomarse en consideración diferentes soluciones para hacer posible el acristalamiento de grandes superficies, algunas ya muy extendidas en la actualidad. Por una parte se ha mejorando el comportamiento de los materiales (por ejemplo, las cualidades del vidrio), por otra se ha reflexionado sobre algunas cuestiones de concepto (la estructura, las instalaciones o la física aplicada a la construcción).

Las directrices principales en la producción de vidrio están orientadas a la mejora del aislamiento térmico y a la protección solar. Para ello se emplean medios técnicos como láminas de color neutro para la protección térmica y solar, y gases de relleno (por ejemplo, argón). No debe minusvalorarse la influencia del valor de protección solar, pues un elevado grado de protección frena la entrada de las radiaciones solares, incluso también cuando son deseables (como en el caso del aprovechamiento pasivo de la energía solar en invierno). A su vez, el vidrio de protección solar evita el calentamiento excesivo en situaciones

que desaconsejan el uso de estores, como, por ejemplo, ante la acción de fuertes vientos.

Debido a la enorme superficie acristalada, en este edificio de seminarios se han utilizado vidrios con un alto factor de protección solar (en la fachada sur, con un valor g del 38 %), sin por ello perjudicar la eficiencia del aprovechamiento energético de la radiación. Por supuesto, el flujo energético del exterior al interior disminuye con un buen aislamiento térmico (véase diagrama), lo que puede llevar a tomar la decisión de utilizar un vidrio con menor coeficiente U , en el lado orientado al sur del edificio (para captar más energía solar en invierno). En este edificio, todas las fachadas tienen un vidrio aislante con un coeficiente U de 1 W/m²K y una transparencia del 70 %. El valor g de la fachada norte es del 55 %, lógicamente menor que en la fachada sur.

Los conceptos energéticos radican en la orientación del edificio y en la concepción de su ventilación, lo que determina también la elección de los materiales que deben utilizarse. La orientación sur del edificio permite un aprovechamiento óptimo de la energía solar y, por otro lado, produce un funcionamiento eficaz de la ventilación natural en el interior de los espacios entre la fachada sur y la norte. Un aspecto fundamental es el enfriamiento nocturno en verano: los materiales macizos, como el hormigón, se "sobrecargan" mediante corrientes de aire frío. El frío almacenado se cede a lo largo del día procurando un clima aceptable. Allí donde los espacios limitan con un corredor, se han instalado ventanas practicables sobre las puertas que posibilitan la ventilación cruzada a través de la escalera. En este caso, se aprovecha la diferencia de altura (los huecos de ventilación se encuentran en la segunda planta) que produce el "efecto chimenea" (la diferencia natural de la presión del aire: el efecto de presión y succión).

Concepto de climatización según Waldbauer Haustechnik, Basilea

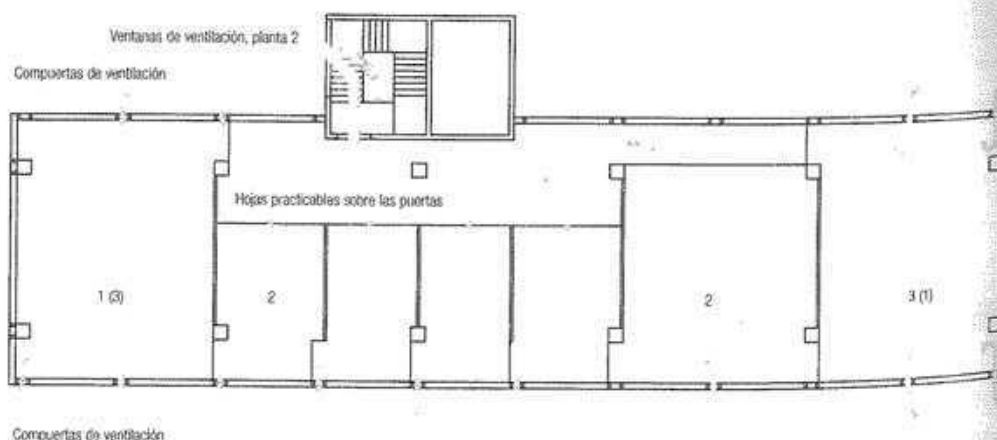


Fig. 286: Esquema de ventilación

- 1) Intercambio de aire (de la fachada a la fachada): debido al viento y/o a la diferencia de temperaturas
- 2) Intercambio de aire (de la fachada a la caja de escaleras, a través del corredor): debido a la diferencia de temperaturas "efecto chimenea"
- 3) Intercambio de aire (en la fachada): diferencia de temperaturas en una sala

Escuela de formación profesional de carpintería, Biel, Suiza

Marcel Meili, Markus Peter

Escuela de formación profesional de carpintería, Biel, 1990-1999

Esta escuela presenta un carácter digno de atención. El área y sus edificios constituyen casi una isla entre unas zonas residenciales y otra industrial que se extiende a lo largo del nitido borde delimitado por los montes Jura. El conjunto preexistente de la escuela (un edificio construido en el estilo nacional suizo romántico de la posguerra y los talleres de una planta) parece fundirse formalmente con el verde y la amplitud de la llanura en que se encuentra.

La intervención transforma estos volúmenes en un nuevo conjunto que vuelve a desarrollar, por medio de dos gestos diferentes, la relación entre la arquitectura y el espacio exterior. En primer lugar se procedió a la ampliación de los talleres de una planta y cubierta a dos aguas, aproximándose a ellos tanto como fue posible con el nuevo edificio de aulas. Este volumen, una construcción de madera de cuatro plantas, sobrepasa en altura la silueta plana de los talleres y establece una relación de proporciones casi disonante, gracias a su cercanía, con la arquitectura tradicional de la zona.

El edificio de aulas se ha concebido como una construcción seriada de cajas de madera cuyos elementos prefabricados y con la altura de una planta se han ensamblado entre sí en una estructura reticulada. Los huecos entre las cajas configuran terrazas y corredores que llegan a conectarse con el espacio exterior. Tan sólo el núcleo central de comunicación vertical está construido con hormigón por su mejor comportamiento frente al fuego.

La composición de las habitaciones caja tiene que ver con la tecnología de la madera, apta para cubrir grandes luces. Los forjados se componen de elementos vistos en forma de vigas cajón que, al cubrir grandes luces, hacen innecesario el uso de un sistema constructivo primario y/o secundario. El marco portante de la fachada muestra en su lado inferior un travesaño encolado de madera, de la altura de un antepecho, que sirve a su vez como revestimiento del

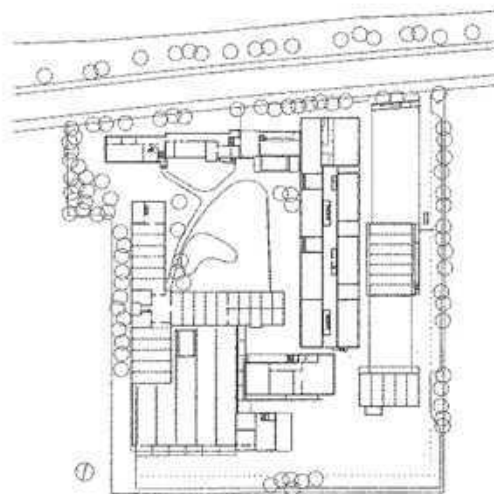


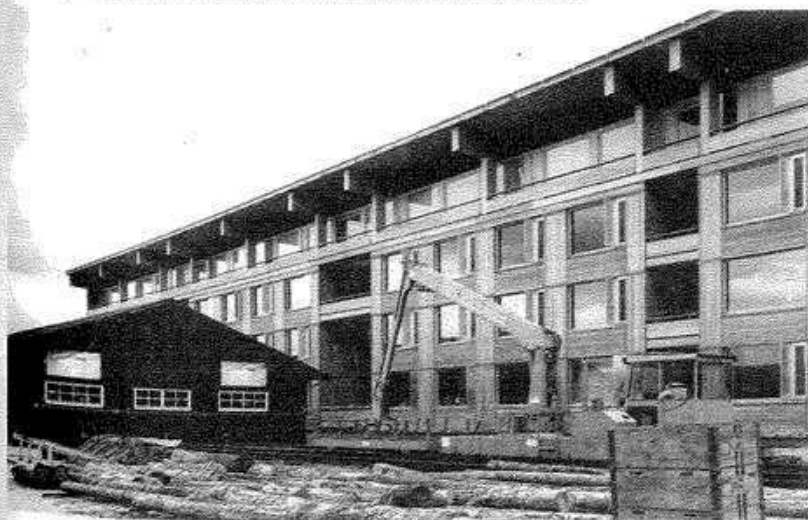
Fig. 289: Emplazamiento

canto del forjado. Gracias a este sistema es posible colocar ventanas subdivididas de gran superficie, cuyas proporciones ya no están supeditadas a la estrecha distancia entre los pies derechos de un entramado ligero, sino a su relación con espacios más amplios. Las fachadas exteriores se revisten con paneles escopleados de madera de roble sin tratar, en los que apenas se percibe la junta de las distintas tablas, mientras que en los encuentros de los elementos que cumplen una función estática, las juntas se acentúan produciendo un efecto de sombra.

El sistema empleado en este proyecto es significativo porque sólo la idea plástica y espacial ha hecho posible la ruptura de la jerarquía propia de la división y proporción de los elementos que constituyen una construcción de madera. En este proyecto, las cualidades especiales de los edificios tradicionales de madera chocan con una actitud que reprime el carácter aditivo de la madera, en beneficio de sus características plásticas, superficiales y dúctiles.

Arquitectos: Marcel Meili, Markus Peter
con Zeno Vogel, Zürich
Ejecución: 1997-1999
Dirección del proyecto: Zeno Vogel
Estructura: Conzett Bronzini Gartmann,
Chur

Figs. 287 y 288: La escuela está concebida constructivamente como una serie de cajas de madera



Fase de proyecto

Reducción de los planos del proyecto básico, escala 1:200

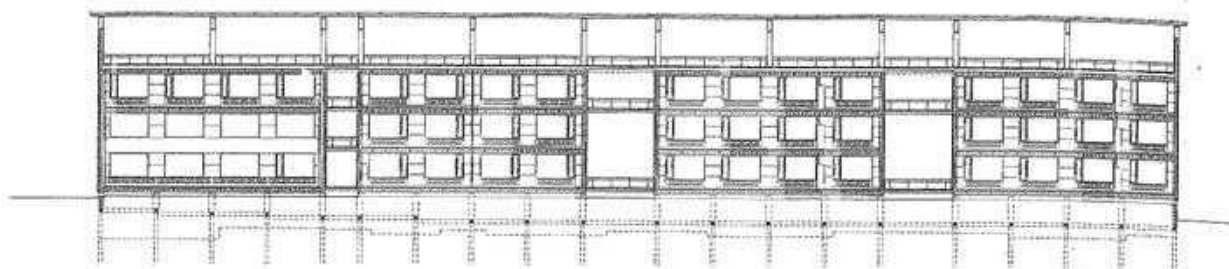


Fig. 290: Sección longitudinal B-B

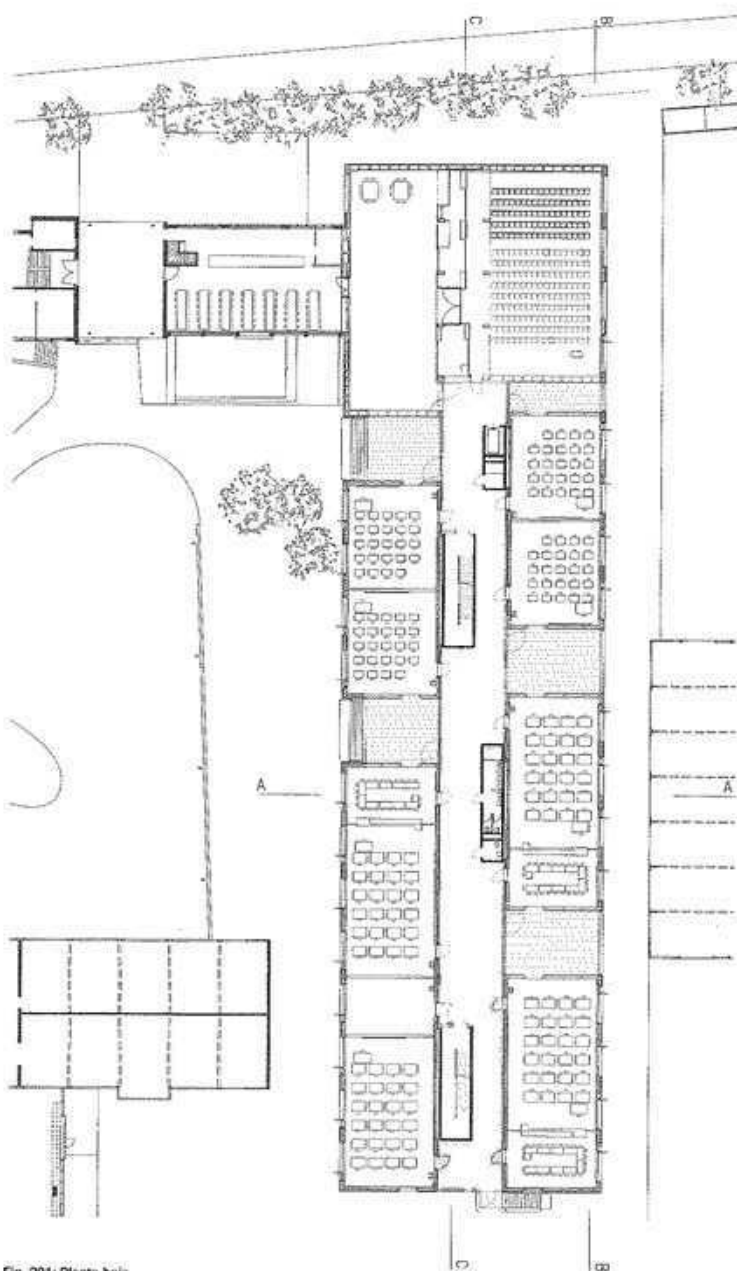


Fig. 291: Planta baja

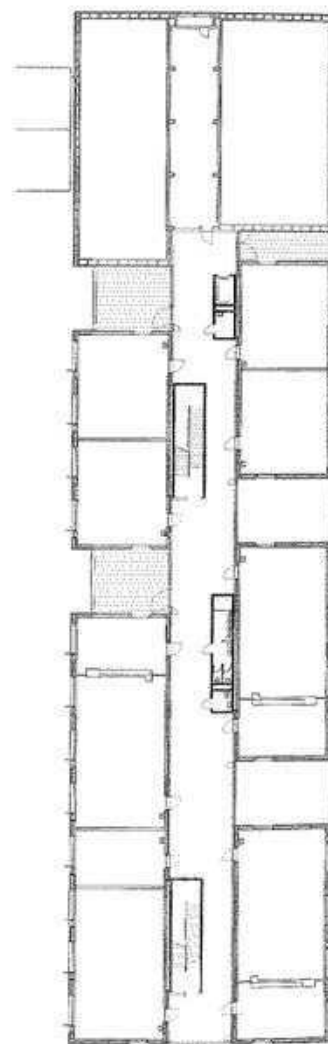


Fig. 292: Planta primera

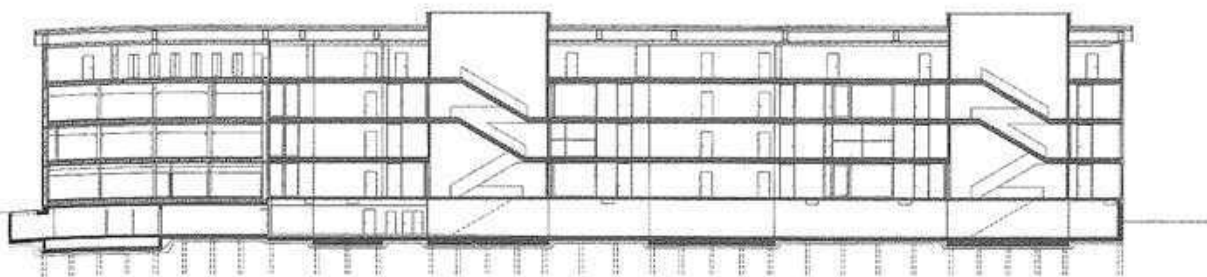


Fig. 293: Sección longitudinal C-C

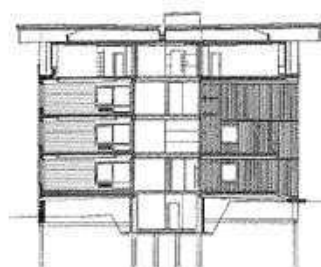


Fig. 294: Sección transversal A-A

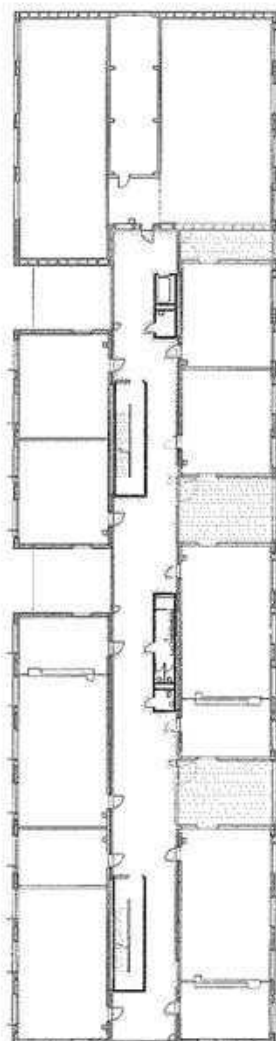


Fig. 295: Planta segunda

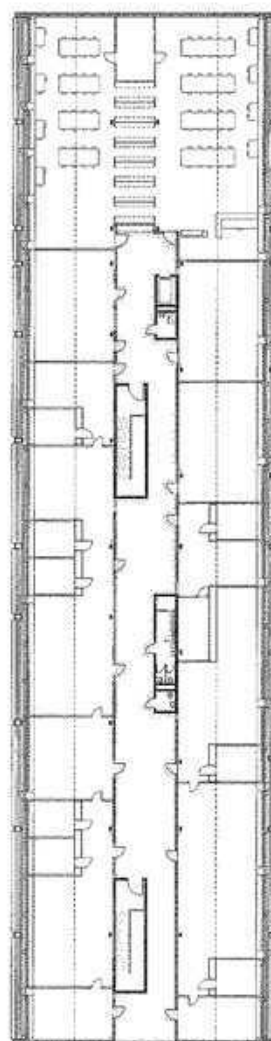


Fig. 296: Ático

Jürg Conzett

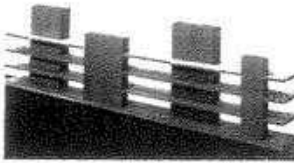


Fig. 297: Maqueta de los núcleos de hormigón. Corredores de comunicación (vías de evacuación en caso de incendio) y torres de hormigón que rigidizan la estructura y albergan las escaleras, los ascensores y los ascos.



Fig. 298: Núcleo de hormigón. Estado en obra, 1997. Los forjados de hormigón tan sólo soportan su propio peso, lo que hace posible luces y voladizos de una gran dimensión.

Estática y estructura. Informe del proyecto de ingeniería

El trabajo del ingeniero persigue las virtudes propias de un "maestro de obras": los edificios deben ser sencillos, airoso, económicos y descubrir las posibilidades encerradas en un concepto arquitectónico, para alcanzar una amplia armonía entre los objetivos del ingeniero y los del arquitecto, utilizando los elementos constructivos.

En este sentido, resulta interesante el concepto de la cimentación de la nueva escuela. La parte central, maciza y pesada, descansa sobre un sótano de hormigón que, desde el punto de vista estático, actúa como una viga cajón que discurre a lo largo de toda la extensión del edificio y reparte las cargas concentradas verticalmente en dirección longitudinal. La solera transmite los esfuerzos al terreno de forma homogénea. La sección longitudinal a través del núcleo central hace pensar en un barco que flota. Por el contrario, las cargas de las aulas que no están situadas en el sótano, se transmiten al esqueleto portante en los puntos que corresponden a una corona de pilotes, sobre la capa de cimentación con capacidad portante (capa del terreno).

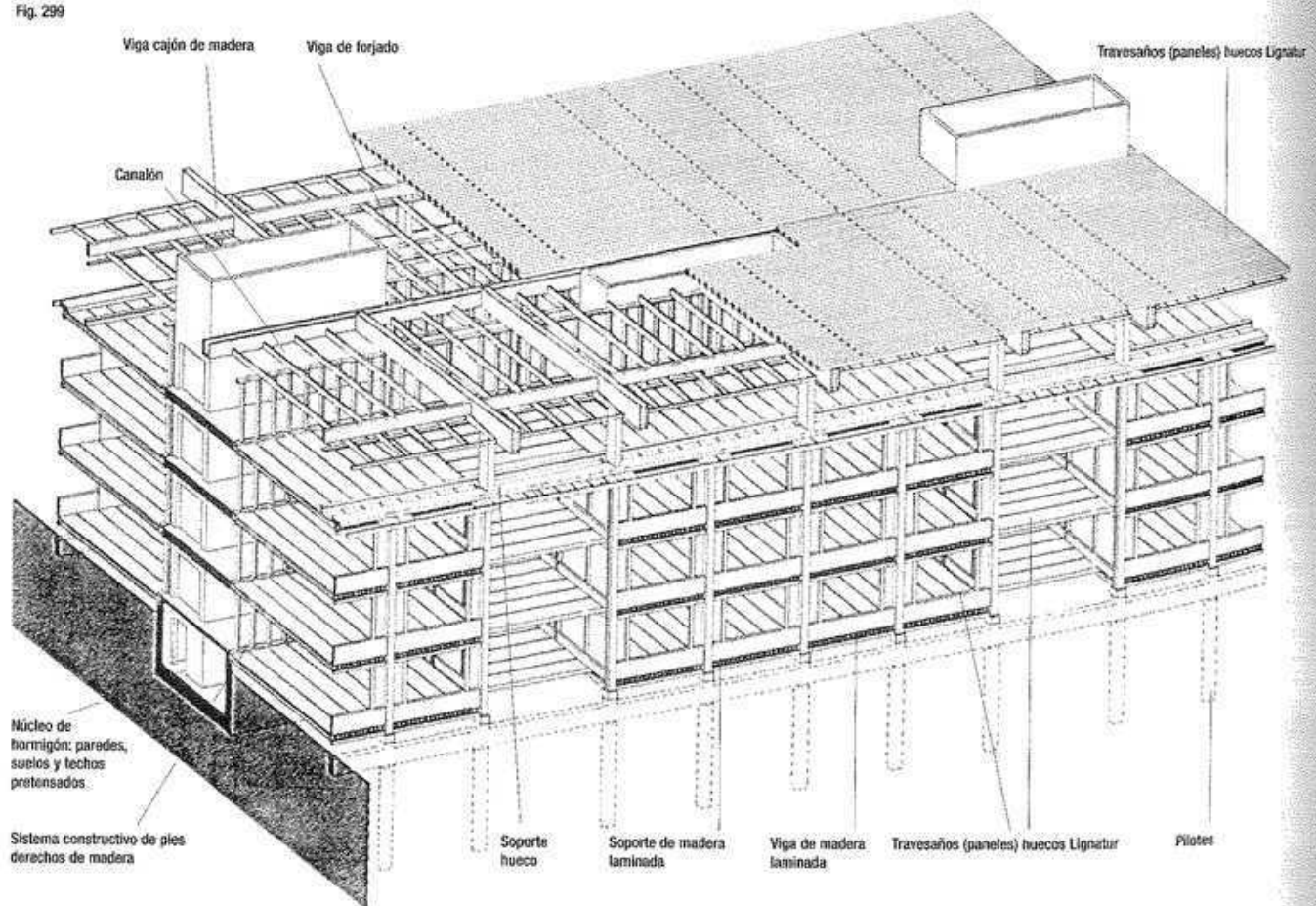
Los pilotes se encuentran normalmente a una distancia de 480 cm, una medida que se corresponde tanto con la longitud de los mismos como con la distancia adecuada entre los pilares principales de la pared longitudinal exterior, pues un travesaño de 86 cm de altura, colocado

como antepecho, es suficiente para soportar las cargas de forjados con esas luces. Sobre las ventanas se cuelgan los forjados en forma de vigas cajón, que apoyan en los travesaños que configuran el antepecho, lo que permite el empleo de dinteles mínimos que es importante para una buena iluminación de las aulas.

En este edificio con madera resulta poco práctico realizar las paredes de separación no portantes con aislamiento contra el ruido y el fuego, ya que los forjados de cada unidad docente, situados entre las aulas y el corredor, se apoyan sobre otro sistema porticado de madera. Los forjados de hormigón de la parte central del edificio no se ven por ello sometidos a las sollicitaciones verticales de las aulas, sino que soportan únicamente su propio peso. Pueden colocarse como losas pretensadas para grandes luces y voladizos; los pasillos o corredores no disponen pues de ningún pilar auxiliar ante las paredes de las aulas, y pueden utilizarse en toda su anchura.

Las vigas de la cubierta son también vigas cajón huecas: las piezas de atado superior e inferior de madera laminada se unen con cola a los paneles laterales contrachapados, y se encajan en los pilares portantes. La cubierta se compone de dos grandes paneles de madera, cada uno de 97 m de longitud y 13 m de anchura. Gracias a su continuidad, las vigas, separadas 9,6 m, pueden reducirse hasta los 22 cm, lo que proporciona una distribución muy libre de la planta situada bajo la cubierta.

Fig. 299



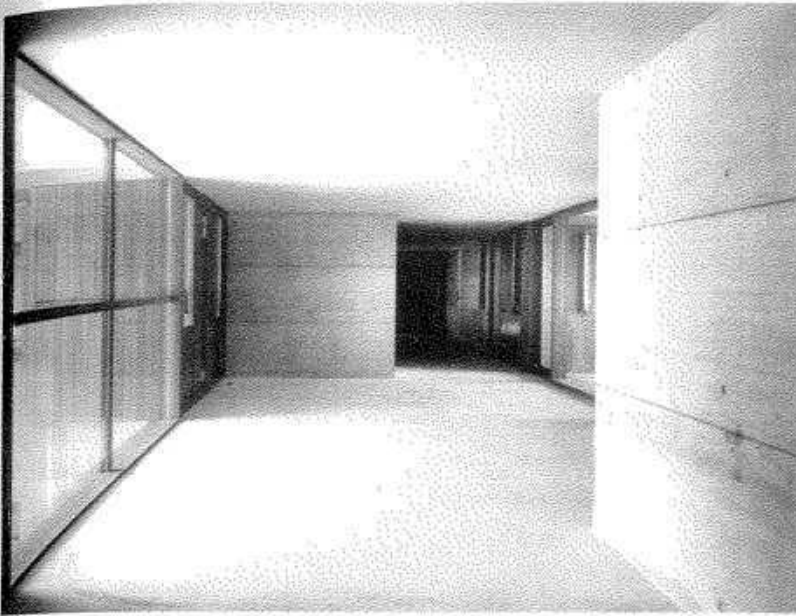


Fig. 300: Zona exterior cubierta

A través de las zonas exteriores cubiertas situadas entre las aulas, la luz natural incide alternativamente desde la izquierda y desde la derecha en el corredor, permitiendo simultáneamente, y entre las "cajas", la visión a través del área y el amplio paisaje.

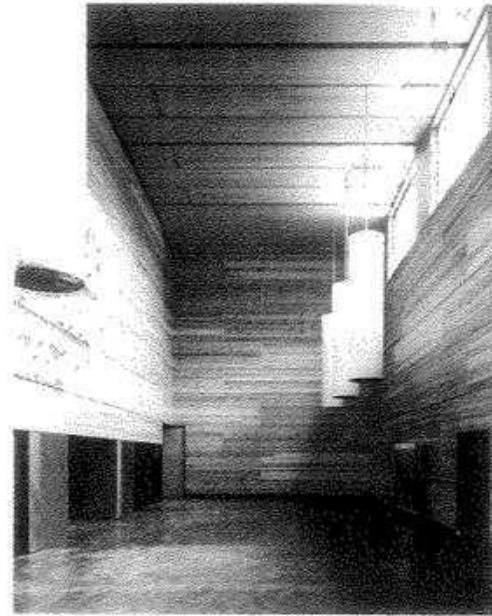
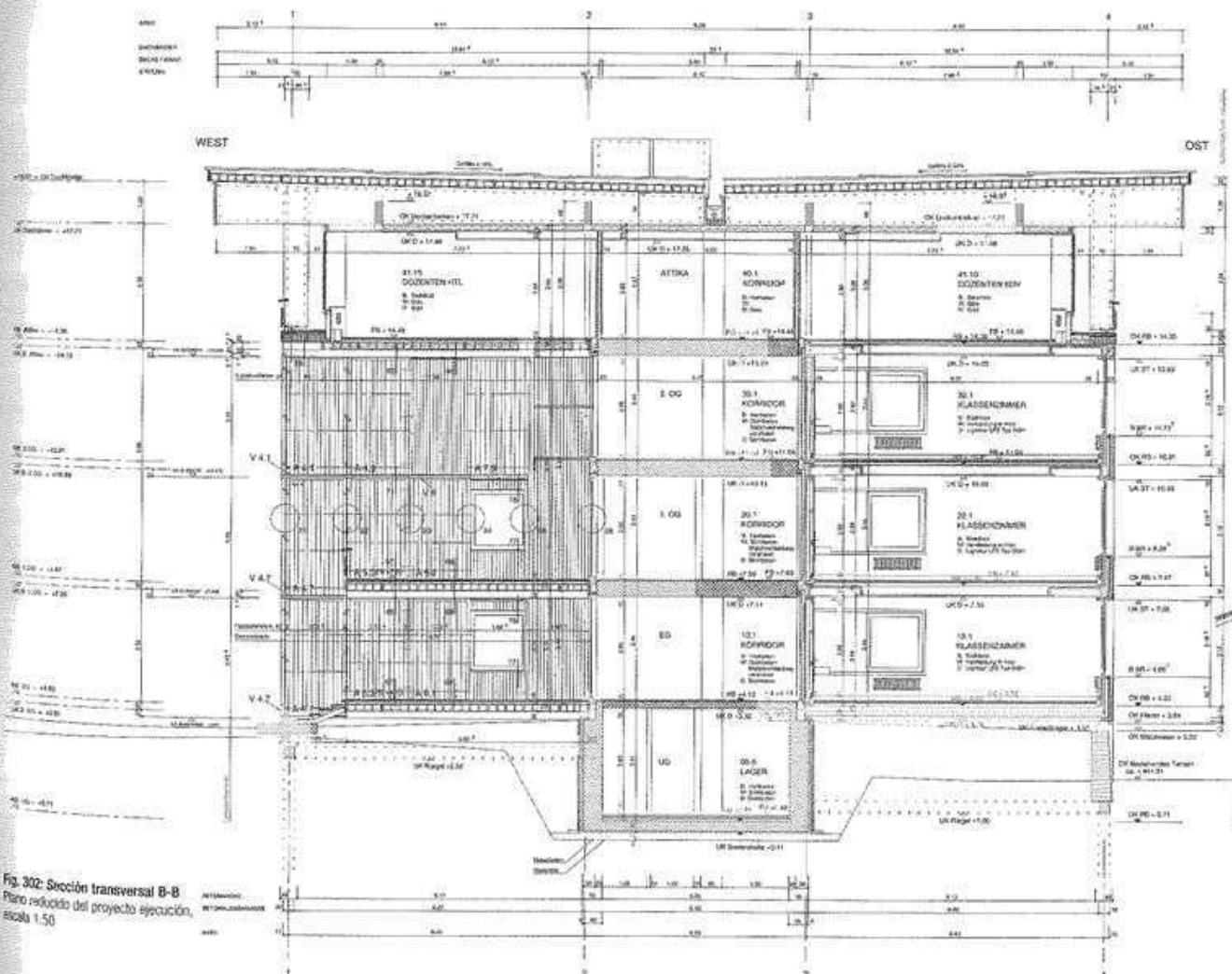


Fig. 301: Vestíbulo

El vestíbulo de tres plantas de altura sirve como antesala del salón de actos y del comedor situado en el edificio preexistente.

Fig. 302: Sección transversal B-B
Plano reducido del proyecto ejecución,
escala 1:50

Ejecución

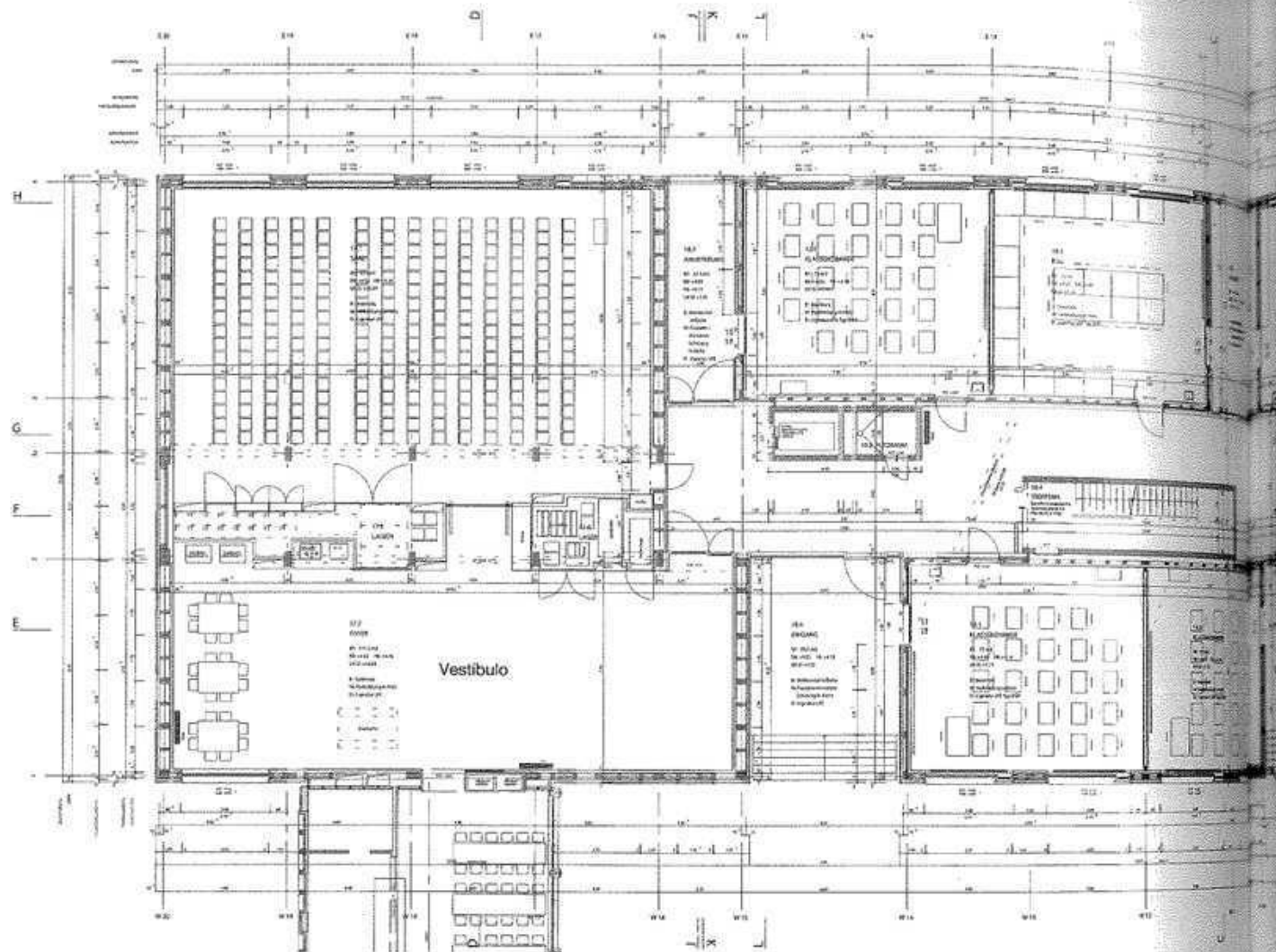


Fig. 303: Planta baja

Plano reducido del proyecto de ejecución, escala 1:50

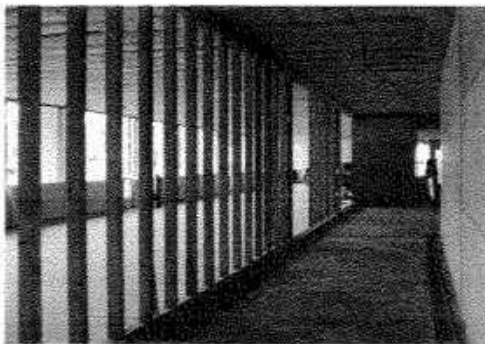


Fig. 304: Zona de paso en el núcleo de hormigón. Cajas de madera

La parte construida con hormigón y la construida con madera constituyen sistemas estáticamente independientes. El entramado ligero se reviste en el pasillo con un panel de madera aglomerada con cemento (adecuado como protección contra el fuego).

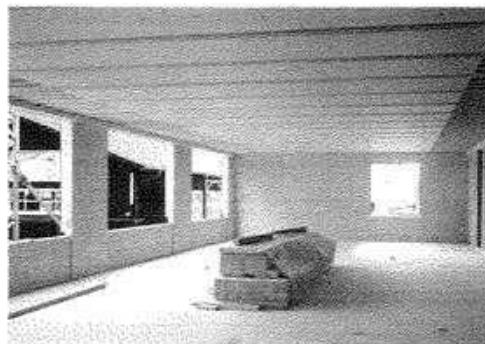


Fig. 305: Aula en fase de construcción

El techo se compone de paneles prefabricados en forma de vigas cajón visibles que, juntas, configuran una superficie continua. Esto permite una gran flexibilidad para la distribución en planta por medio de paredes separadoras del espacio.

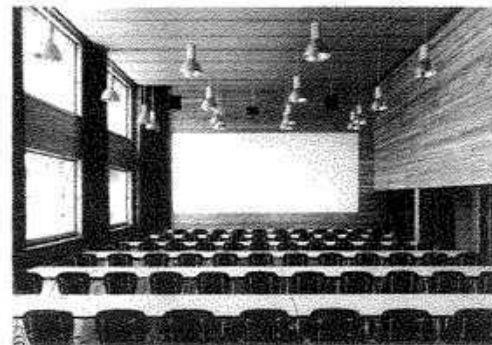
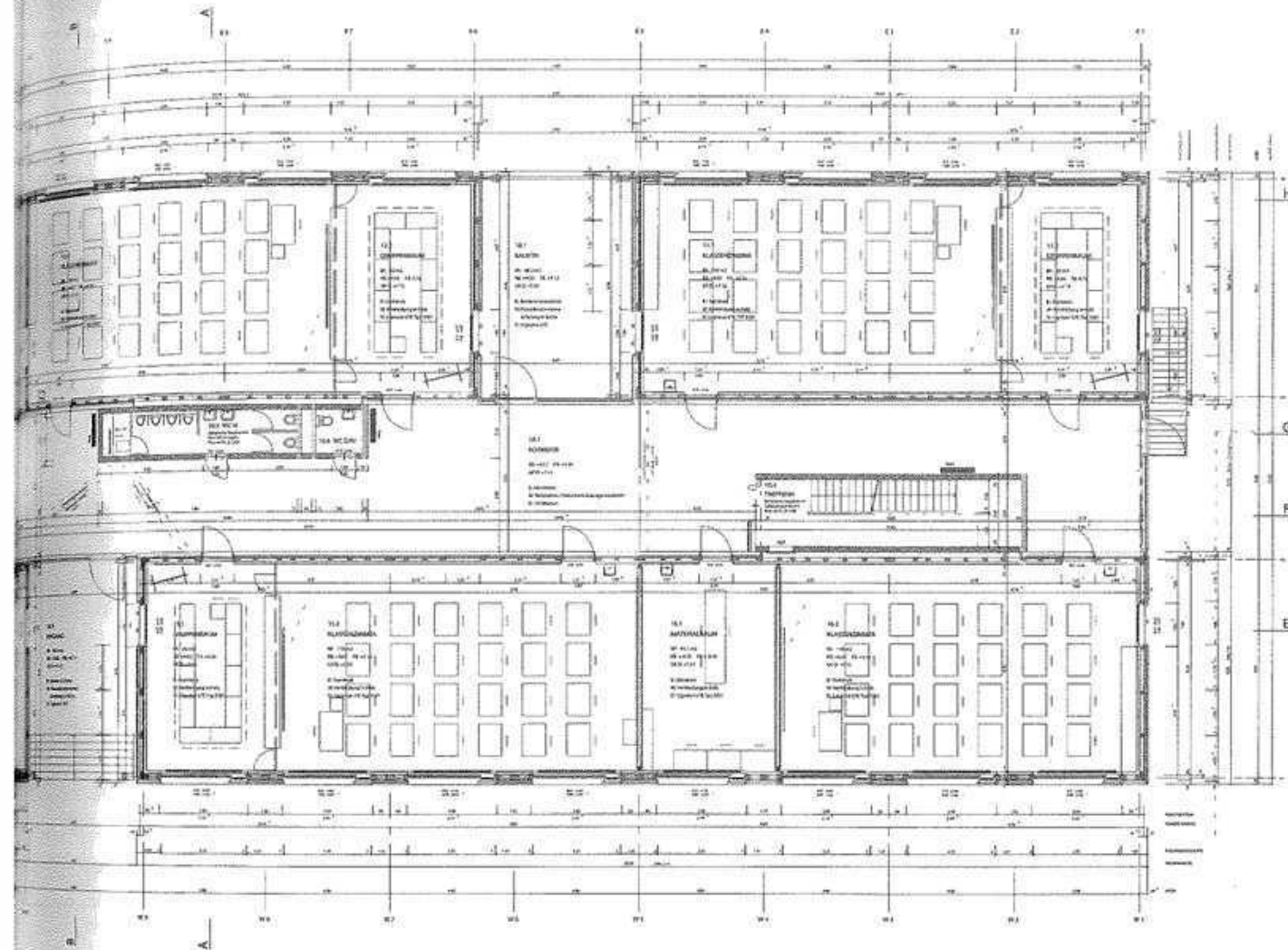


Fig. 306:
El salón de actos a doble altura se encuentra en uno de los extremos del edificio.

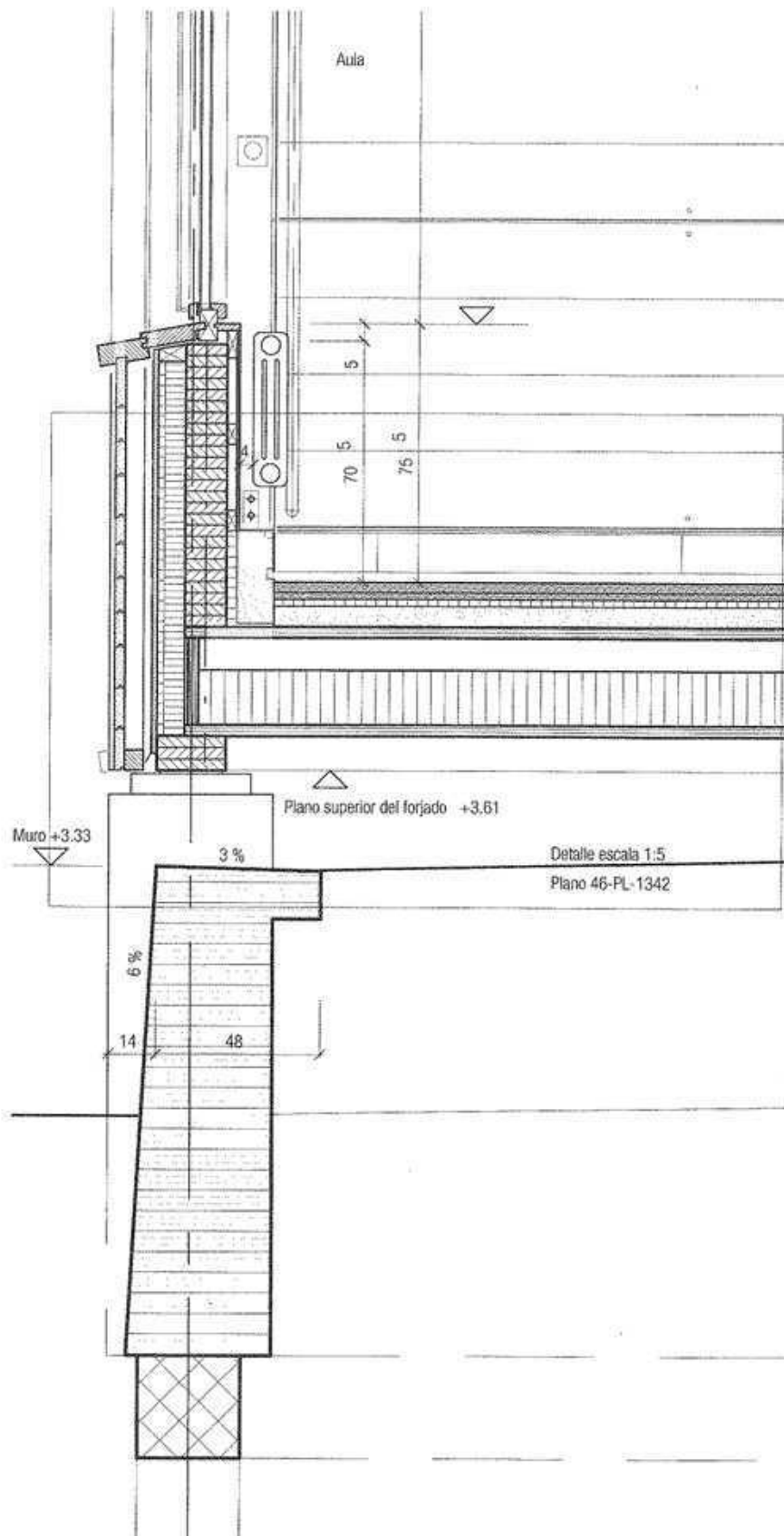


Fig. 307: Detalle del zócalo, escala 1:20

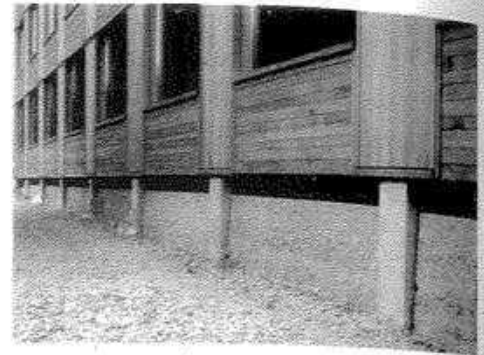


Fig. 308: Zócalo

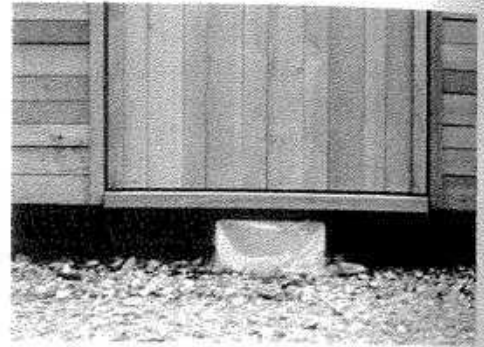


Fig. 309: Detalle del zócalo

Los pilares que soportan los elementos prefabricados de la fachada descansan sobre pilotes de unos 10 m de profundidad. Todo el sistema constructivo de madera se ventila por su parte inferior.

Composición de la fachada

Elementos de la fachada de roble (marcos y entablado)
 Cámara de aire ventilada
 Panel de madera conglomerada impregnado con betún (Isolair NK) 16 mm
 Panel de fibra mineral 20 mm
 Aislante térmico 80 mm
 Travesaño de antepecho 120 mm
 Revestimiento interior: panel contrachapado de madera, superficie aceitada con pigmentos de aluminio

Composición de la solera

Xilolita, 2 capas (Eubölith, por ejemplo) 30 mm
 Unión: rastreles de yeso sobre papel asfáltico
 Soporte (panel de madera conglomerada) 21 mm
 Aislante contra el ruido de impacto PS81 20 mm
 Emparrillado de tablas delgadas colocado como casetones 65 x 50 mm
 Relleno de arena o gravilla
 Lámina de polietileno
 Elemento Lignatur, aislado con Homatherm 160 mm 1.000 x 320 mm

Muro del zócalo

Hormigón compactado lavado, árido de piedra caliza hasta 63 mm

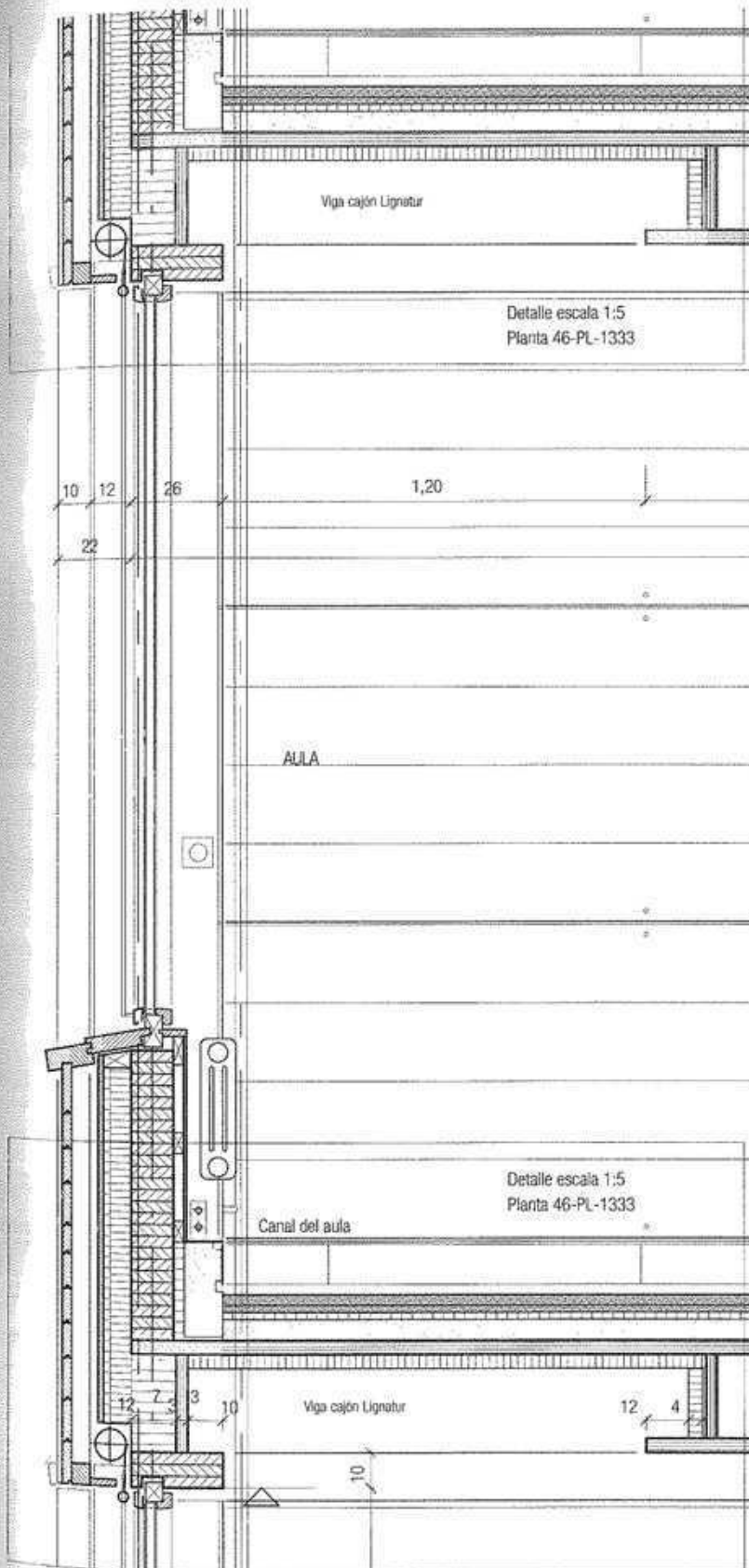


Fig. 310: Detalle de ventana, escala 1:20

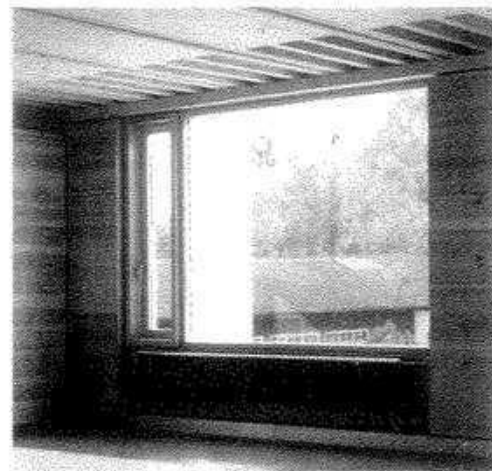


Fig. 311: Ventana

La ventana se monta directamente sobre el esqueleto de los marcos. Se ha copiado por una pequeña hoja practicable para conseguir una gran superficie acristalada y diáfana.

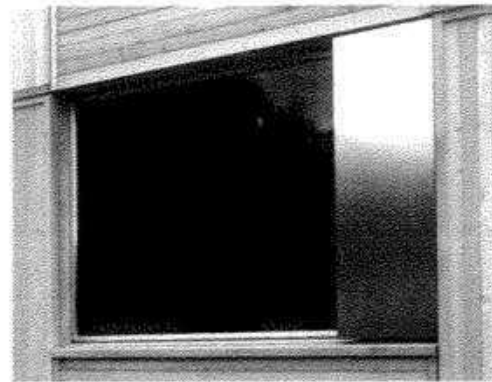


Fig. 312: Protección solar

Protección solar formada por una contraventana de aluminio, delante de la hoja practicable, y un estor de aluminio metalizado al vacío delante de la hoja fija.

Composición de la fachada

Elementos de la fachada de roble (marcos y entablado)

Cámara de aire ventilada

Panel de madera conglomerada impregnado

con betún (Isolair NK) 16 mm

Panel de fibra mineral 20 mm

Aislante térmico 80 mm

Travesaño de antepecho 120 mm

Revestimiento interior

Composición de la solera

Xilolita 2 capas (Eubölith, por ejemplo) 30 mm

Unión: rastreles de yeso sobre papel asfáltico

Soporte (panel de madera conglomerada) 21 mm

Aislante contra el ruido de impacto PS81 20 mm

Emparrillado de tablas delgadas colocado como casetones 65 x 50 mm

Relleno de arena o gravilla

Lámina de polietileno

Elemento Lignatur, aislado

con Homatherm 160 mm 1.000 x 320 mm



Fig. 313: Sección de la planta bajo cubierta, escala 1:50

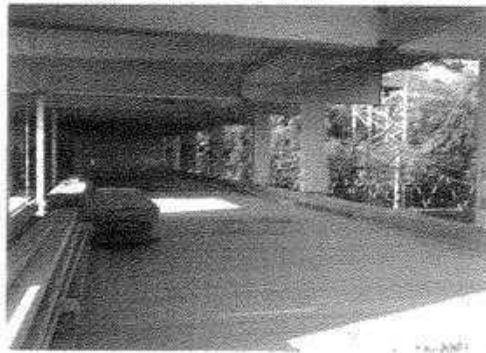


Fig. 314: Planta bajo la cubierta

Concebida como una planta libre, la retícula de pilares del ático permite una flexibilidad total en la distribución. Las grandes vigas cajón de la cubierta se encajan en los pilares componiendo un entramado rígido.

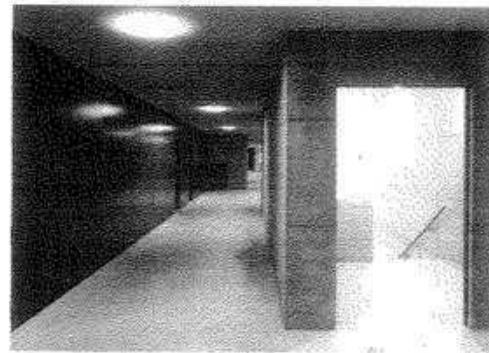


Fig. 315: Corredor en la planta bajo la cubierta

El pasillo de la planta situada bajo la cubierta es un espacio cerrado sin relación con el exterior. La pintura oscura de las paredes (color al aceite con gránulo) hace que el corredor parezca aún más estrecho.

Sección de la cubierta, escala 1:50

(plano de detalle reducido, escala 1:20)

Composición de la cubierta

Elementos de cubrición de aluminio sin anodizar

Cámara de ventilación

Tela asfáltica (Vaprolen EP 4) colocada sin sujeción y con solapes de 10 cm: tela interior clavada, tela superior soldada

Tela asfáltica Vaplan V50 SL colocada sin sujeción (Bostitch)

Elemento cajón Lignatur LFE 220 mm

Forjado de la planta situada bajo la cubierta

Entablado 20 mm

Lámina estanca al viento (TYVEC)

Vigas de forjado 100/180 mm con vanos rellenos de aislante de fibra mineral 180 mm

Barrera de vapor (FLAMEX N)

Rastreles 25 mm

Falso techo de yeso (por ejemplo, de paneles de cartón yeso) 2 x 12,5 mm

Composición de la solera

Xilolita, 2 capas 20 mm

Unión: rastreles de yeso sobre papel asfáltico

Soporte (panel de madera conglomerada) 30 mm

Aislamiento contra el ruido de impacto PS81 20 mm

Emparrillado de tablas delgadas colocado como casetones

Relleno de arena o gravilla 65 x 50 mm

Lámina de polietileno

Elemento Lignatur 320 mm

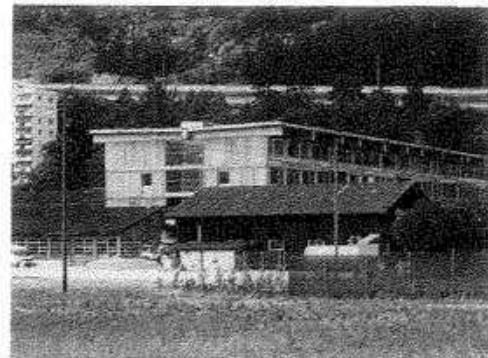


Fig. 316: Vista del edificio

El monumental entramado soporta el gran voladizo de la cubierta. Las sombras que esta enorme superficie arroja sobre la fachada retranqueada produce el efecto de resaltar los diferentes elementos constructivos: vigas, pilares y paneles.

Casa Willmann, Sevegin, Suiza

Bearth + Deplazes

Situación, descripción

La casa se sitúa en un pequeño claro del bosque a las afueras de Sevegin, en forma de cuña en la ladera de una colina. Un estrecho sendero desciende desde el aparcamiento cubierto, situado en la calle, hasta la casa, donde se abre una magnífica vista lejana hacia Flims y el valle del Rin. Con una superficie de parcela mínima, la estructura espacial en forma de torre, que apura al máximo las edificabilidad prescrita, responde tanto a las condiciones peculiares del lugar como al objetivo de permitir la entrada de la luz. De este modo se levanta un volumen modelado de varias maneras, como si él mismo configurara un apretado grupo de árboles en el borde del bosque, consiguiendo así la mayor superficie libre posible.

Coherente con las reflexiones planteadas respecto al espacio interior, la organización a media planta de los forjados indica el desarrollo del terreno en la parte visible del sótano. El sendero en pendiente desde la calle a la entrada de la casa, tiene continuación en el interior con la transición al comedor, situado al fondo de la casa.

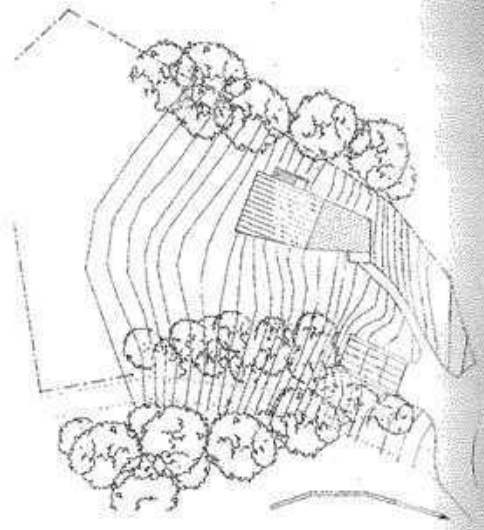


Fig. 318: Emplazamiento

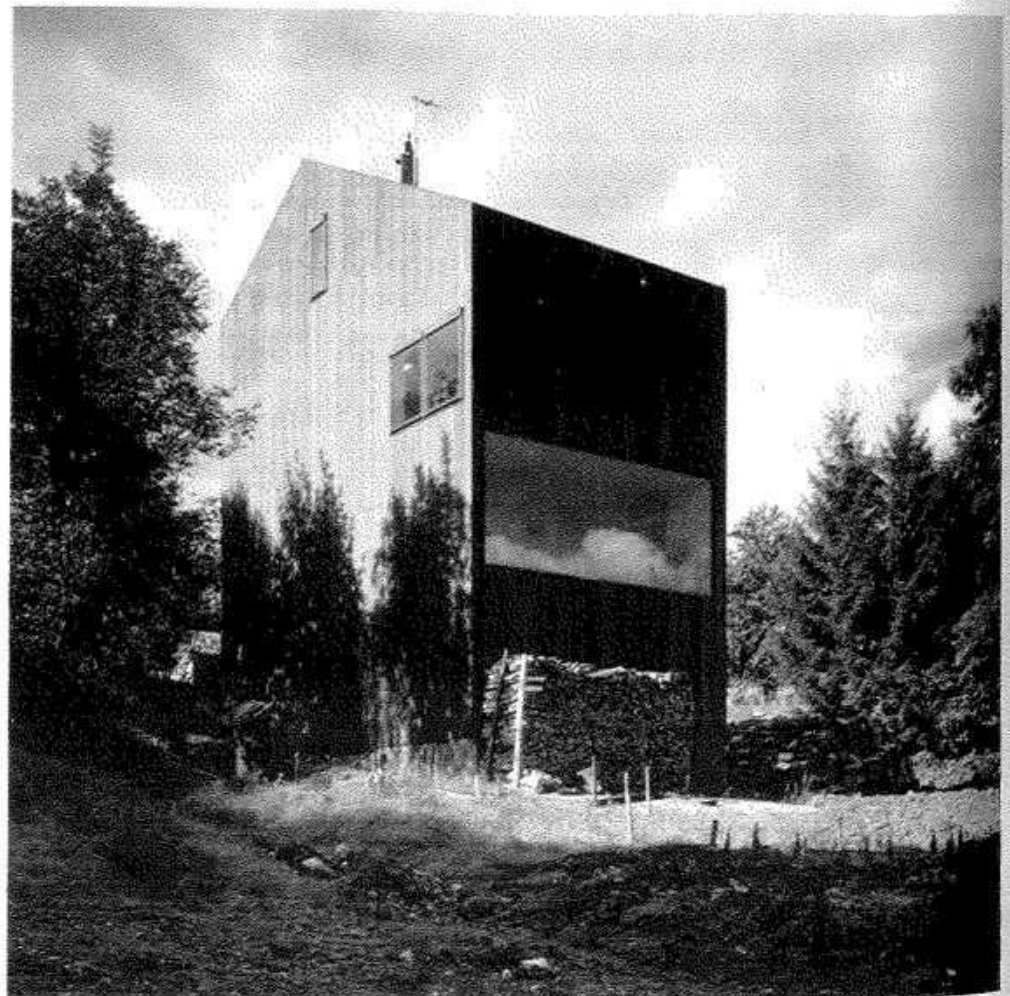


Fig. 317: Vista noroeste

La gran superficie acristalada limitada por paredes, suelo y techo refleja la sección transversal del espacio

Arquitectos: Bearth + Deplazes, Chur
Ejecución: 1998-1999
Colaboradora: Bettina Werner
Estructuras: Jürg Buchli, Haldenstein

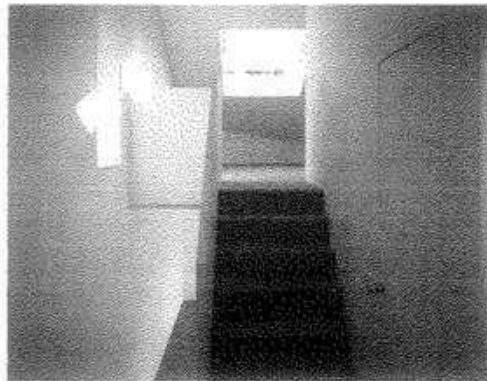


Fig. 319: Escalera
Relación visual simultánea de los espacios superior e inferior.

Estructura espacial y portante I

Los niveles desplazados de las plantas permiten una conexión visual con los espacios situados en los planos contiguos inferior o superior, haciendo que toda la casa parezca más amplia. La configuración espacial viene determinada por un núcleo central (una espina dorsal que contiene las zonas húmedas) que segrega a ambos lados zonas espaciales colocadas a media planta unas respecto a las otras. Estos ámbitos, provistos de puertas correderas, se aprovechan reciprocamente de la iluminación de los otros niveles, lo que conlleva, por ejemplo, que a las habitaciones orientadas al norte les llegue el sol a través de la galería de trabajo y de las escaleras. El desarrollo vertical del espacio no sólo se condensa en una "espiral espacial", sino también, y en la misma medida, en el vestíbulo de entrada a doble altura. Tanto la fachada de paneles de madera como las paredes de las zonas húmedas son portantes y se apoyan sobre una solera de hormigón vertido in situ.

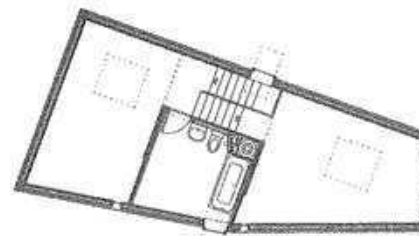


Fig. 321: Planta bajo cubierta



Fig. 322: Planta segunda

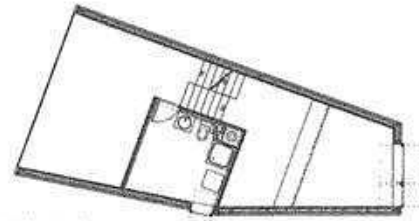


Fig. 323: Planta primera

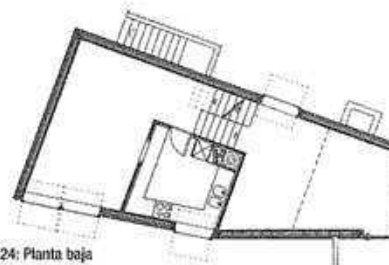


Fig. 324: Planta baja

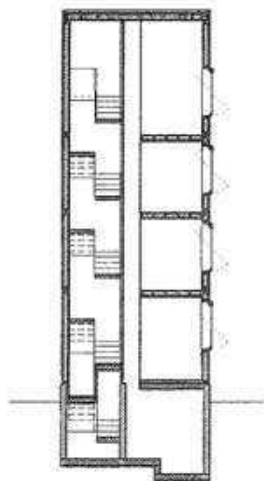


Fig. 320: Sección transversal



Fig. 325: Sección longitudinal

Estructura espacial y portante II

Las razones para la elección de un sistema constructivo prefabricado de madera se encuentran en la situación geográfica (difícil accesibilidad del lugar, un pueblo de montaña) y en la elevada participación que tuvo el propio cliente en la obra: llevó a cabo el aplacado de las fachadas, su barnizado, así como el aplacado pintado de los espacios interiores. Los detalles, proyectados con exactitud, fueron menos decisivos para la impresión arquitectónica de conjunto que las pautas seguidas, por ejemplo, para el revestimiento de las fachadas.

Tres anchos de tabla se colocaron verticalmente, con la única condición de que los trozos resultantes del corte de las mismas se colocaran directamente sobre la parte superior de las ventanas. De este modo, resultó "espontáneamente" un interesante juego, correcto desde el punto de vista técnico, en los paños de fachada determinado por las juntas de los tablonos. El color gris oscuro de la fachada aminora el carácter que le confiere el material y hace pensar claramente que no se trate de una "casa de madera".

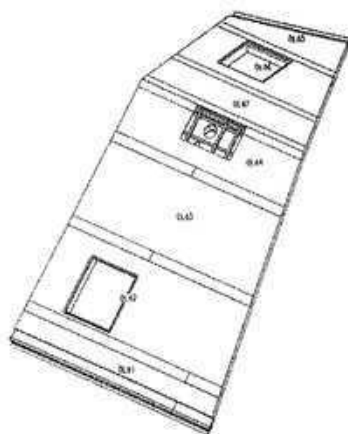


Fig. 326: Axonometría de la cubierta

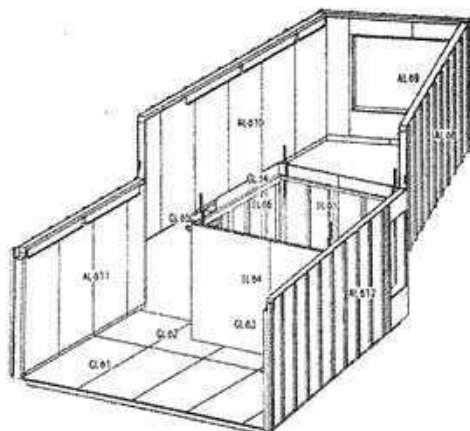


Fig. 327: Axonometría de los elementos que forman las paredes



Fig. 328: Los paneles de madera en la obra
La puesta en obra del armazón de madera se llevó a cabo en dos días

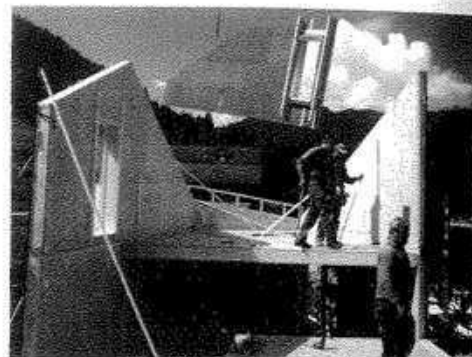


Fig. 329: Ensamblaje de los elementos de forjado y fachada
Los paneles de forjado cuelgan, encajados en las paredes, de angulas en forma de Z

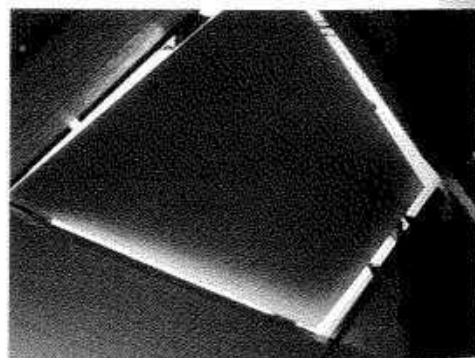


Fig. 330: Colocación de un panel de cubierta
La prefabricación garantiza una gran exactitud

Sistema constructivo de la fachada y de la cubierta

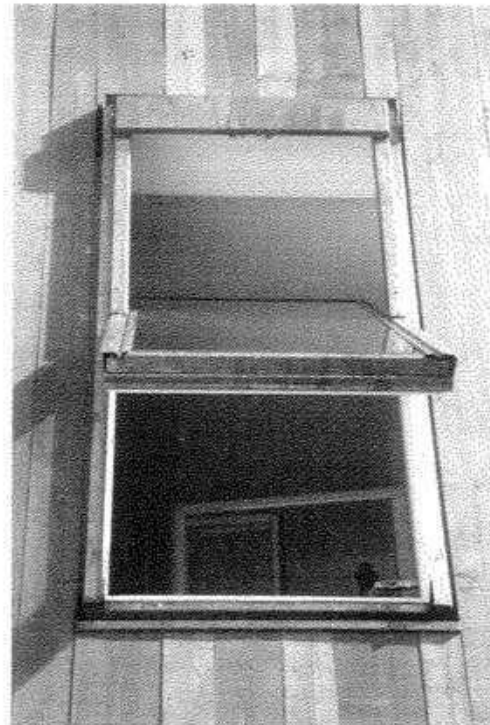
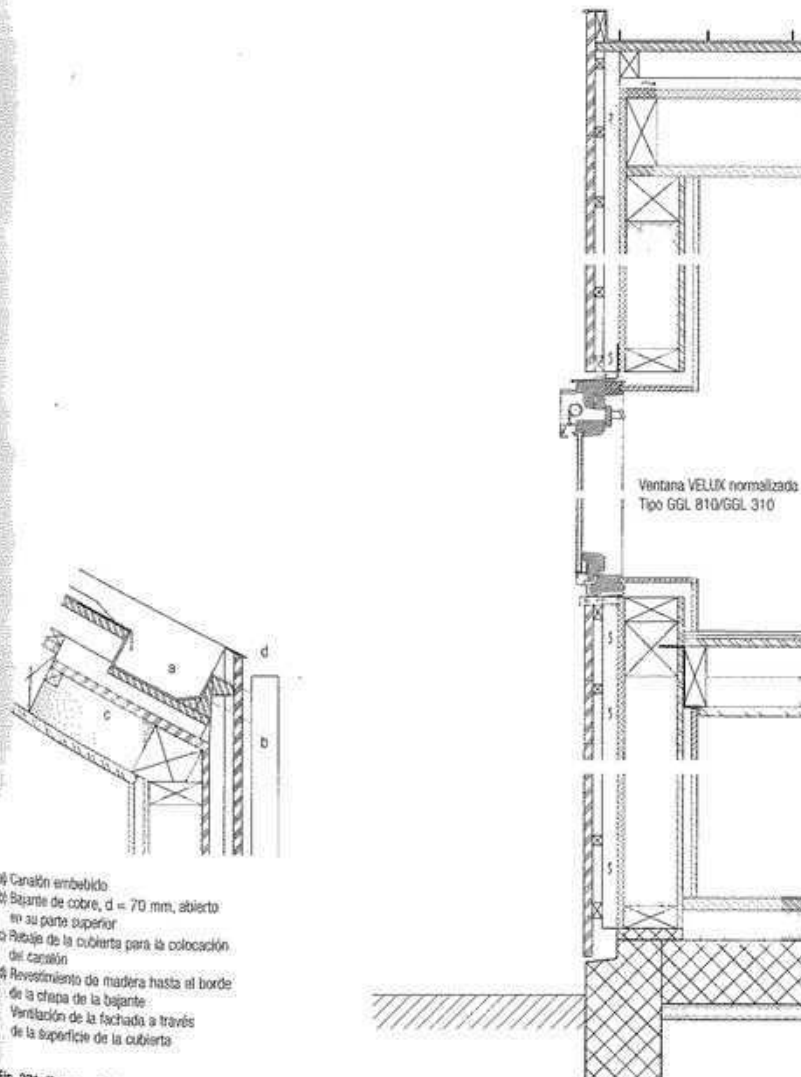


Fig. 333: Vista de detalle de una ventana

Hoja de ventilación y estor para protección solar, alojado tras el tapajuntas superior de la ventana



- a) Canalón embutido
 - b) Bajante de cobre, d = 70 mm, abierto en su parte superior
 - c) Rebaje de la cubierta para la colocación del canalón
 - d) Revestimiento de madera hasta el borde de la chapa de la bajante
- Ventilación de la fachada a través de la superficie de la cubierta

Fig. 331: Remate de la cubierta con el canalón, escala 1:20

Fig. 332: Sección de la fachada, escala 1:20

Composición de la cubierta

Rebaje doble de la cubierta, de cobre	0,6 mm
Tela asfáltica soldada con betún	
Tablazón de madera	24 mm
Cámara para ventilación	100 mm
Panel blando de fibra bituminado	24 mm
Elemento de madera de pino/abeto con aislamiento térmico intermedio Isofloc	80/180 mm
Tablero de tres chapas pino/abeto	27 mm
Total	355 mm

Composición de la fachada

Tablazón vertical con juntas a tope	22 mm
Rastreles	25 mm
Listón/cámara de ventilación	40 mm
Panel blando de fibra	18 mm
Pie derecho/aislamiento térmico	140 mm
Tablero de tres capas OSB	15 mm
Rastreles	15 mm
Correas de madera	15 mm
Total	290 mm

Huecos y estructura portante

Los sistemas constructivos de armazón con madera no requieren ningún tratamiento ni disposición específicos de los huecos. En la casa Willmann se dispone de dos tipos distintos de ventanas: una de grandes dimensiones en el salón (que como abertura estructural se extiende de suelo a techo y de pared a pared) y otras de la marca VELUX utilizadas tanto en la fachada como en la cubierta a modo de tragaluces. El uso de tragaluces en fachada es inusual, pero su precio compensa todas las ventajas que puedan tener las ventanas convencionales de madera y metal, y permite además la ventilación interior en cualquier momento, con independencia de las condiciones climatológicas. El mecanismo que posibilita la ventilación en este tipo de ventanas estándar se aloja tras el remate formado por una chapa de cobre, que asimismo acoge el estor instalado para la protección solar. Dentro de las habitaciones, las ventanas están colocadas de forma que un intradós tenga continuidad con la superficie de la pared contigua, derramando de este modo la luz sobre la misma. Siguiendo un principio de rotación, los huecos cambian de posición en la fachada de planta a planta, subrayando así la apertura del edificio a todos sus lados y reflejando su fluidez espacial. En lógica consecuencia, las ventanas de las zonas húmedas se apartan de este criterio y se disponen en vertical, linealmente y con el mismo tamaño, ya que no forman parte del *continuum* espacial.

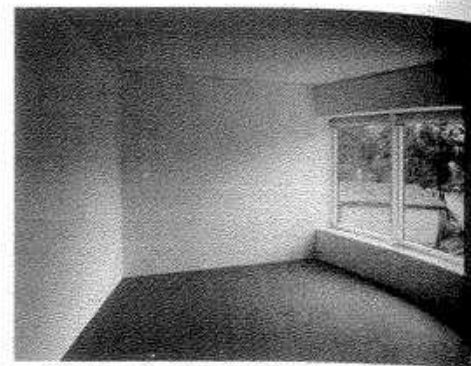


Fig. 335: Vista interior de una ventana en la segunda planta
El intradós se funde con la pared

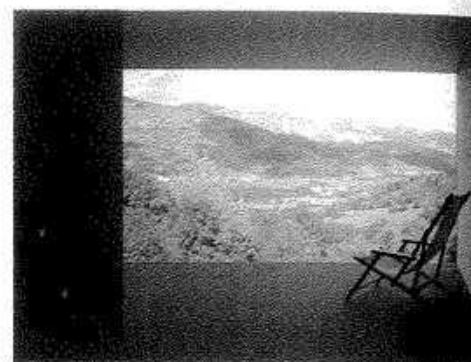


Fig. 336: Vista interior de la ventana del salón
Los paños de vidrio sin marcos parecen anular la separación física

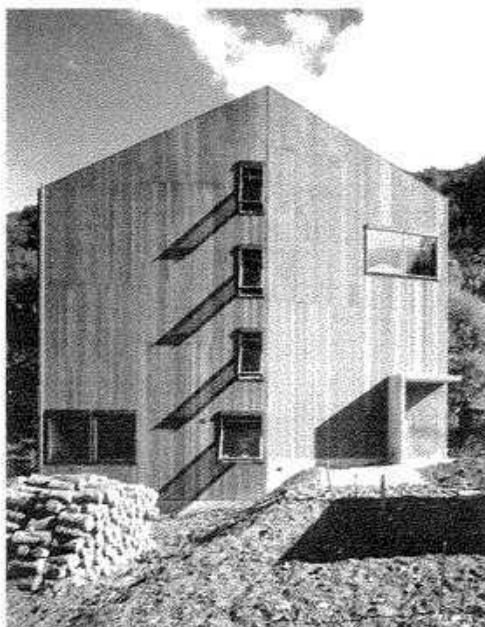


Fig. 334: Fachada oeste
La disposición lineal de las ventanas indica la posición de los espacios 'estéticos'

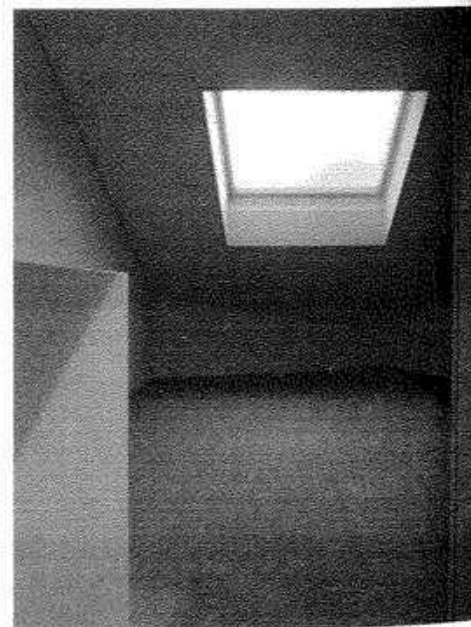


Fig. 337: Tragaluz
Uso convencional de una ventana VELUX como tragaluz

Escuela Leutschenbach, Zürich

Christian Kerez

Felix Ackerknecht

La escuela de Leutschenbach se encuentra en el extremo norte de la ciudad, allí donde Zürich y los municipios vecinos están experimentando un nuevo desarrollo. En esta zona han surgido numerosos edificios de viviendas, ocupados en su mayoría por familias con niños, lo que ha hecho necesario la construcción de una escuela. El barrio de Leutschenbach soporta enormes infraestructuras, como las dársenas para el ferrocarril, un garaje para autobuses y una central de combustión de basuras, de forma que su ayuntamiento planteó la exigencia de que la escuela, además de fines pedagógicos, tuviera repercusiones urbanísticas.

Urbanismo

Con el fin de potenciar de manera destacada la urbanización de una zona muy densa, el gimnasio, los espacios docentes y el salón de actos se superponen y forman un volumen en altura dotado de un fuerte carácter. Gracias a esta disposición en torre de unas funciones que normalmente ocuparían todo el solar, se libera una gran parte del mismo para destinarlo a los usos propios de un parque escolar público, con espacios para juegos y recreo, y un pabellón para una guardería. Este amplio espacio exterior, que da servicio a todo el barrio, articula el edificio de la escuela con la limitrofe urbanización residencial Andreas-park, y la delimita.

El volumen cúbico de la escuela manifiesta un significado carácter público y remite a los imponentes com-

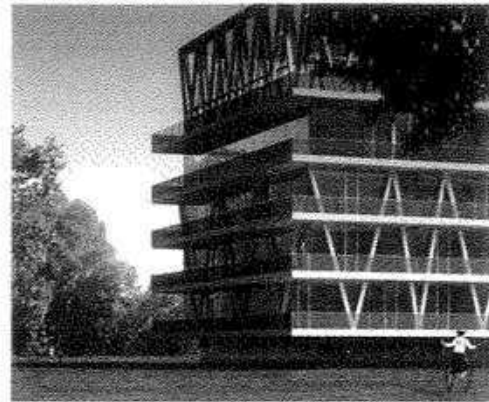


Fig. 338: Fotomontaje de la maqueta del edificio

En lugar de una composición libre de volúmenes independientes con diferentes funciones, se desarrolló una disposición espacial de carácter compacto en un único volumen cúbico

plejos escolares de la época de los *Gründerjahre* [último tercio del siglo XIX, etapa de fundación del moderno Estado alemán]. El principio de la superposición vertical de los distintos usos recuerda al "sueño moderno" formulado por Ludwig Hilberseimer y Le Corbusier, pero aquí no se repiten plantas idénticas. Las barras estructurales del entramado constructivo crean un orden monumental que hace que las plantas no sean intercambiables.

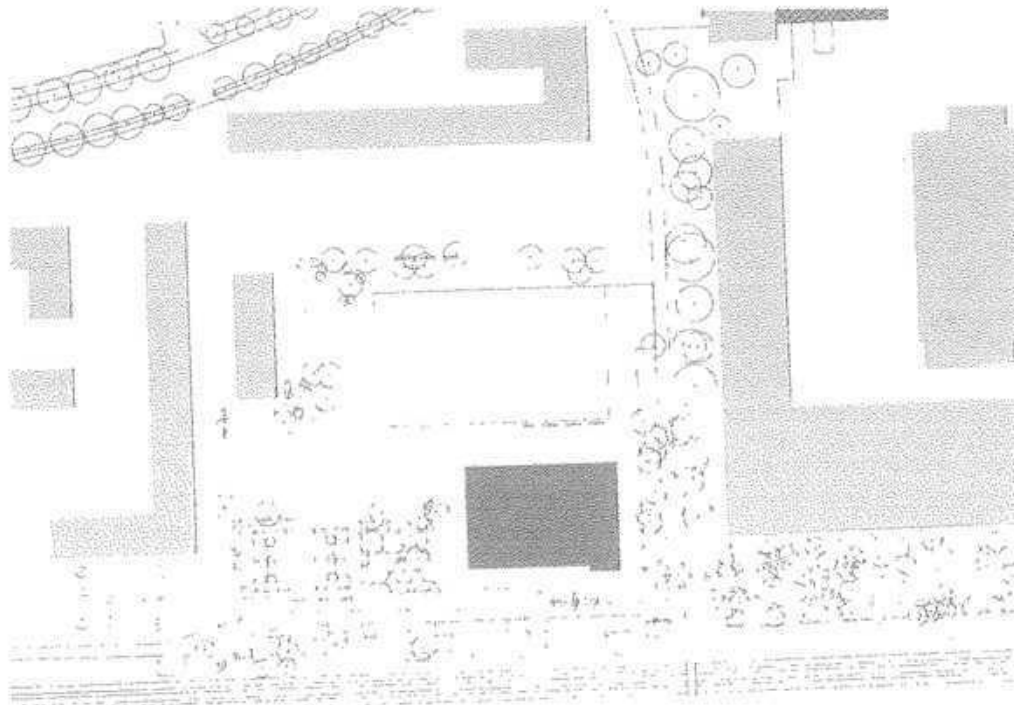


Fig. 339: Plano de situación, escala 1:2500

Promotor:	Departamento de Construcción del Ayuntamiento de Zürich
Arquitecto:	Christian Kerez, Zürich
Colaboradores:	Christian Scheidegger (director del proyecto), Lukas Campanovo, Andrea Casiraghi, Michael Eidenbenz
Ejecución:	Mayo 2005/abril 2008
Dirección de obra:	BGS Architekten GmbH, Rapperswil
Ingeniero civil:	Dr. Schwarz Consulting AG, Zug (dirección, construcción maciza) dsp Ingenieure & Planer AG (construcción en acero, excavación y cimentación) Gysi Leoni Mäder, Zürich
Geotecnia:	
Física de la construcción:	BAKUS, Zürich; Martin Lienhard
Instalaciones:	Waldhuter Haustechnik AG, Münchenstein
Electrotecnia:	Giovanni + Tanner, Uster
Paisajismo:	Ad AG, Berna

Organización

En la escuela se imparten clases de educación primaria y secundaria. Ambos niveles de enseñanza tienen vestíbulos distintos en la planta baja, en lados opuestos del edificio, y están rodeados por el comedor y los locales de la asociación de alumnos. En el centro del edificio se coloca una caja de escaleras que conduce hasta la cuarta planta y que conecta los dos niveles educativos separados. Las aulas de estos niveles están agrupadas y se conectan a través de vestíbulos con las escaleras de un tramo.

Los corredores de evacuación de las aulas discurren por el exterior de la fachada hasta las escaleras de emergencia. De este modo, los distribuidores situados en el interior no forman parte del sistema de evacuación, por lo que pueden amueblarse y además servir de lugares de estancia y docencia y, por tanto, formar parte de la superficie útil. Esta esmerada solución en planta hace innecesarios los pasillos de comunicación, reduce el volumen construido y permite comprender el sistema constructivo compuesto de acero y vidrio.

En la planta cuarta ambos tramos de escaleras desembarcan en un amplio vestíbulo rodeado por los espacios de uso común, como el salón de actos y la biblioteca. Un gimnasio dividido en tres zonas diferenciadas remata el edificio. Junto con los vestuarios y las duchas, constituye la mayor superficie común continua del edificio y determina como tal su superficie fundamental en planta.

Disposición espacial

El carácter esencial del edificio está determinado por la superposición de plantas de una gran variación de alturas. A partir de una planta baja aparentemente aplastada, el resto comienza a ganar altura. Dentro de esta dramaturgia, las cajas de las escaleras tienen un papel central, pues no están contenidas en núcleos cerrados, sino que se fusionan en cada planta con los vestíbulos orientados hacia el exterior.

Consecuentemente, en el edificio se evita cualquier compartimentación. La extraordinaria profundidad del volumen, a excepción de los forjados de hormigón, no articula el espacio, sino que adquiere una sutil división por zonas, con paredes interiores de vidrio traslúcido y puertas de vidrio transparente que dejan entrar la luz. Además, los paños exteriores de vidrio refuerzan la continuidad espacial entre el edificio y su entorno.

Para vincular aún más el espacio interior con el exterior, en la planta baja se coloca el mismo pavimento sin juntas del patio de recreo, que atraviesa el límite de la fachada de vidrio climatizado para introducirse en el edificio. En las plantas superiores, los forjados sobresalen desde ese límite acristalado y amplían el espacio interior mediante balcones con antepechos de vidrio.



Fig. 340: Esquema del volumen ocupado por las aulas. Los niveles de educación primaria y secundaria están separados mediante un doble sistema de vestíbulos de distribución de las circulaciones, superpuestos alternativamente y conectados entre sí.

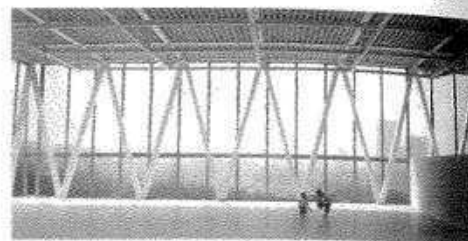


Fig. 341: Foto de la maqueta. Planta quinta: Gimnasio



Fig. 342: Foto de la maqueta. Planta cuarta: Vestíbulo



Fig. 343: Foto de la maqueta. Planta segunda: Vestíbulo



Fig. 344: Foto de la maqueta. Planta baja: Zona de la entrada

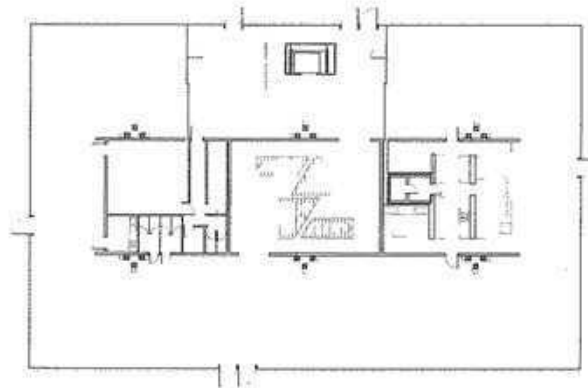
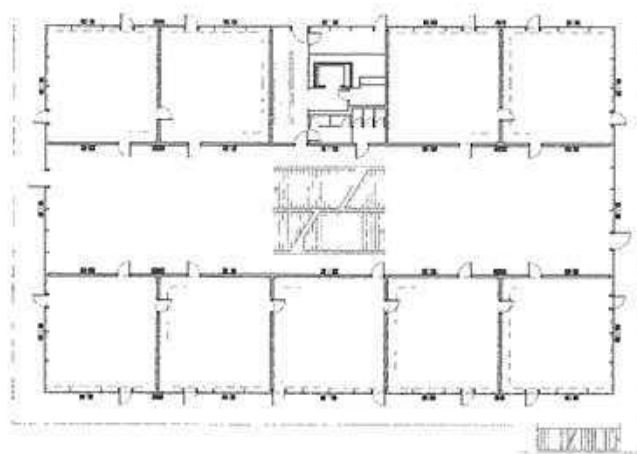
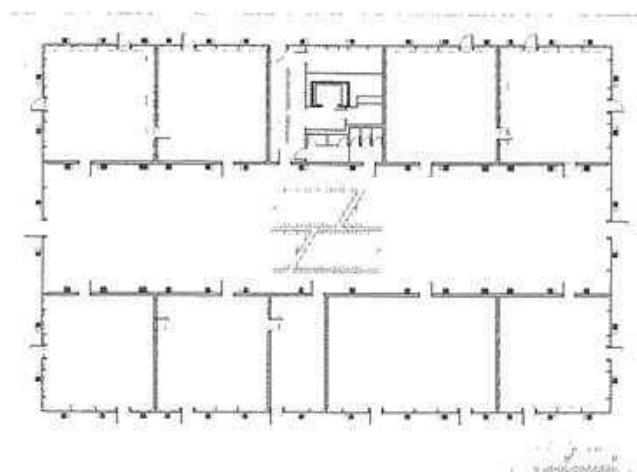


Fig. 345: Planta baja, escala 1:600



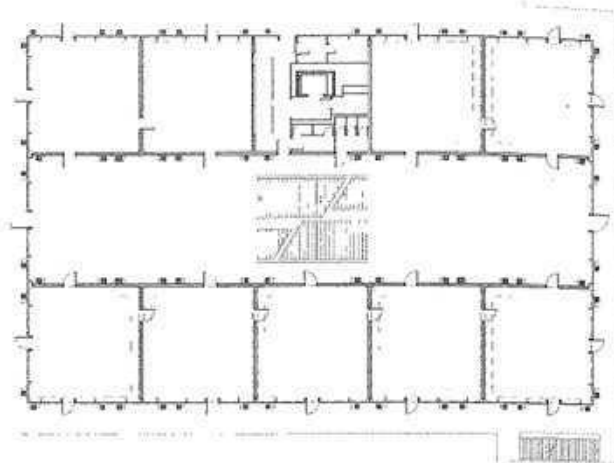
Lineas discontinuas: cortinas

Fig. 346: Planta primera, escala 1:600



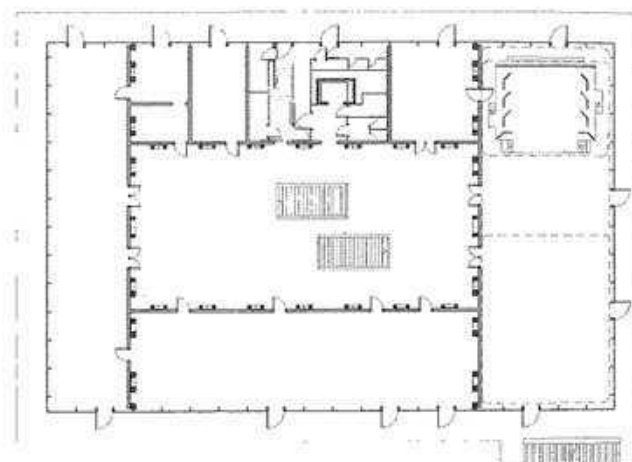
Lineas discontinuas: cortinas

Fig. 347: Planta segunda, escala 1:600



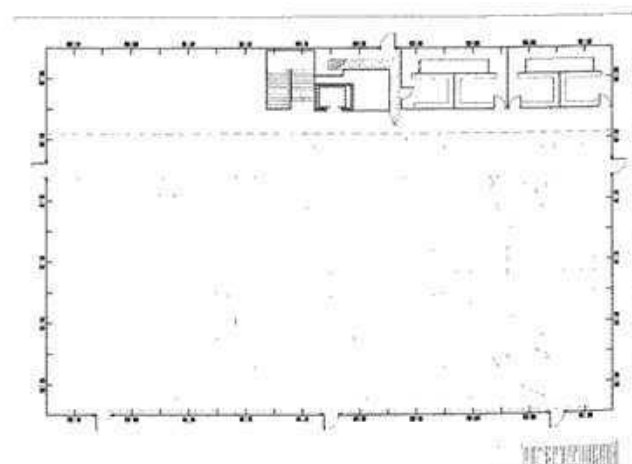
Líneas discontinuas: cortinas

Fig. 348: Planta tercera, escala 1:600



Líneas discontinuas: cortinas

Fig. 349: Planta cuarta, escala 1:600



Líneas discontinuas: marcas de campos deportivos

Fig. 350: Planta quinta, escala 1:600

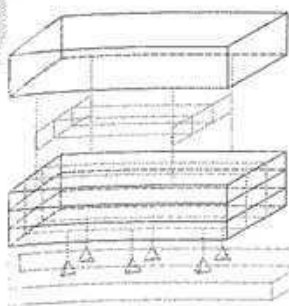


Fig. 351: Esquema de la transmisión vertical de cargas.
En gris: estructura dentro del límite climático
En negro: estructura fuera del límite climático

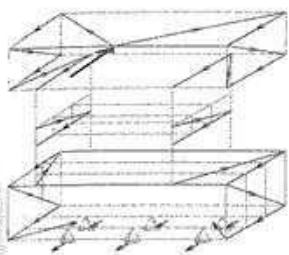


Fig. 352: Esquema de la transmisión horizontal de cargas.
Las flechas indican el flujo de cargas ante los esfuerzos horizontales

Estructura

Para que la estructura tuviera la menor repercusión posible en la configuración del espacio, se ha disuelto mediante la utilización de un entramado continuo de acero. El único elemento estructural del entramado que escapa a esta disolución son los forjados de hormigón.

Todos los espacios de uso común —comedor, local de la asociación de alumnos, biblioteca y salón de actos— se encuentran en zonas donde la estructura se retranquea respecto a la fachada, en el centro del edificio. En estos espacios, situados en la planta baja y en la cuarta, la vista exterior no se ve interrumpida por la estructura.

Por el contrario, todas las plantas que albergan las aulas están rodeadas por las vigas del entramado. Puesto que éstas discurren por el exterior del límite climático de la fachada, están aisladas térmicamente y se apoyan sobre forjados de gran resistencia. El entramado estructural que rodea las tres plantas de las aulas cuelga de ocho soportes en la planta cuarta. Estos soportes se encuentran en el extremo de dos cerchas longitudinales y dos transversales que se superponen y discurren por todo el edificio. Sobre las dos superiores transversales se coloca a su vez un entramado que se desarrolla en torno al gimnasio. Las longitudinales, situadas debajo, transmiten toda la carga del edificio a seis pilares en la planta baja, formados por tres barras de acero, y de ahí se transmiten

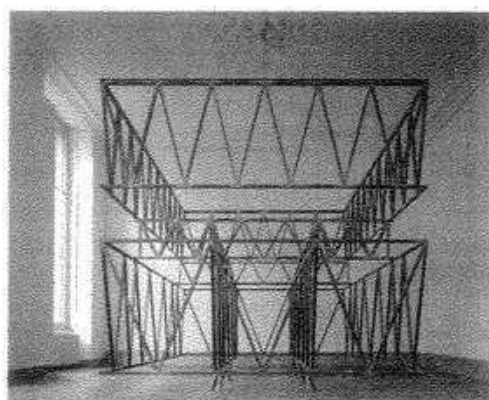


Fig. 354: Maqueta de la estructura

los esfuerzos al terreno a través de la planta sótano mediante zapatas corridas apoyadas en pilotes.

La distribución de cargas concentradas evita asentamientos diferenciales que puedan surgir debido a estar colocado sobre un terreno poco consistente, y permite también que el forjado sobre la zona de entrada sobresalga libremente, con un amplio voladizo de más de 10 m. Además, la fascinante impresión que produce es que la base del edificio no parece guardar relación alguna con el edificio que se apoya sobre ella.

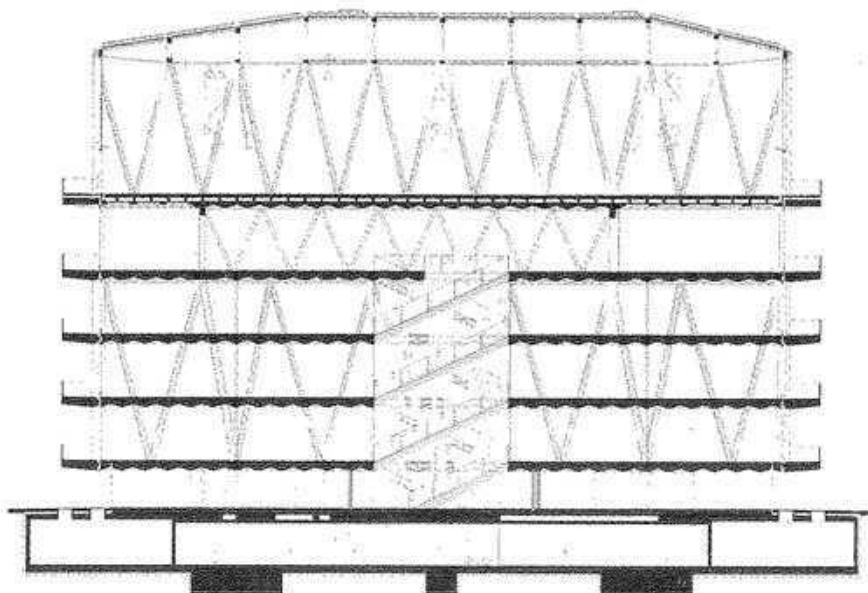


Fig. 355: Sección longitudinal, escala 1:500
La estructura de acero se protege contra el fuego por medio de una pintura especial y la instalación de extintores



Fig. 353: Voladizo sobre la planta baja
Seis pilares formados por tres barras de acero, colocados en el interior del edificio, soportan las plantas superiores en su conjunto

Sistema constructivo

El "ondulado" poligonal de la cara inferior vista de la losa de hormigón es resultado de una optimización que tiene en cuenta la capacidad portante, la tecnología constructiva y la acústica, así como la configuración formal. El perfil de la losa de hormigón eleva por un lado la capacidad portante del forjado de vigas planas dispuestas en una dirección, semejante a la de una viga, y permite, por otro, alojar las instalaciones de electricidad, ventilación, calefacción y protección contra el fuego, integradas totalmente en el mismo. Elementos de iluminación, altavoces y sensores se integran en la parte superior del techo, y los

extintores y aberturas para la salida del aire en la zona inferior. Con sus superficies inclinadas, el relieve del techo mejora la acústica espacial mediante la difusión del sonido. Para su absorción, se ha colocado un material poroso en algunas partes, y también se cuenta con el mobiliario de las propias aulas.

A fin de reducir el peso propio, en los forjados de las plantas superiores se utiliza hormigón ligero. El encofrado recuperable utilizado para su configuración consiste en tableros aglomerados de madera tratados con baquelita. Para economizar recursos, en el sótano se utilizó hormigón reciclado.

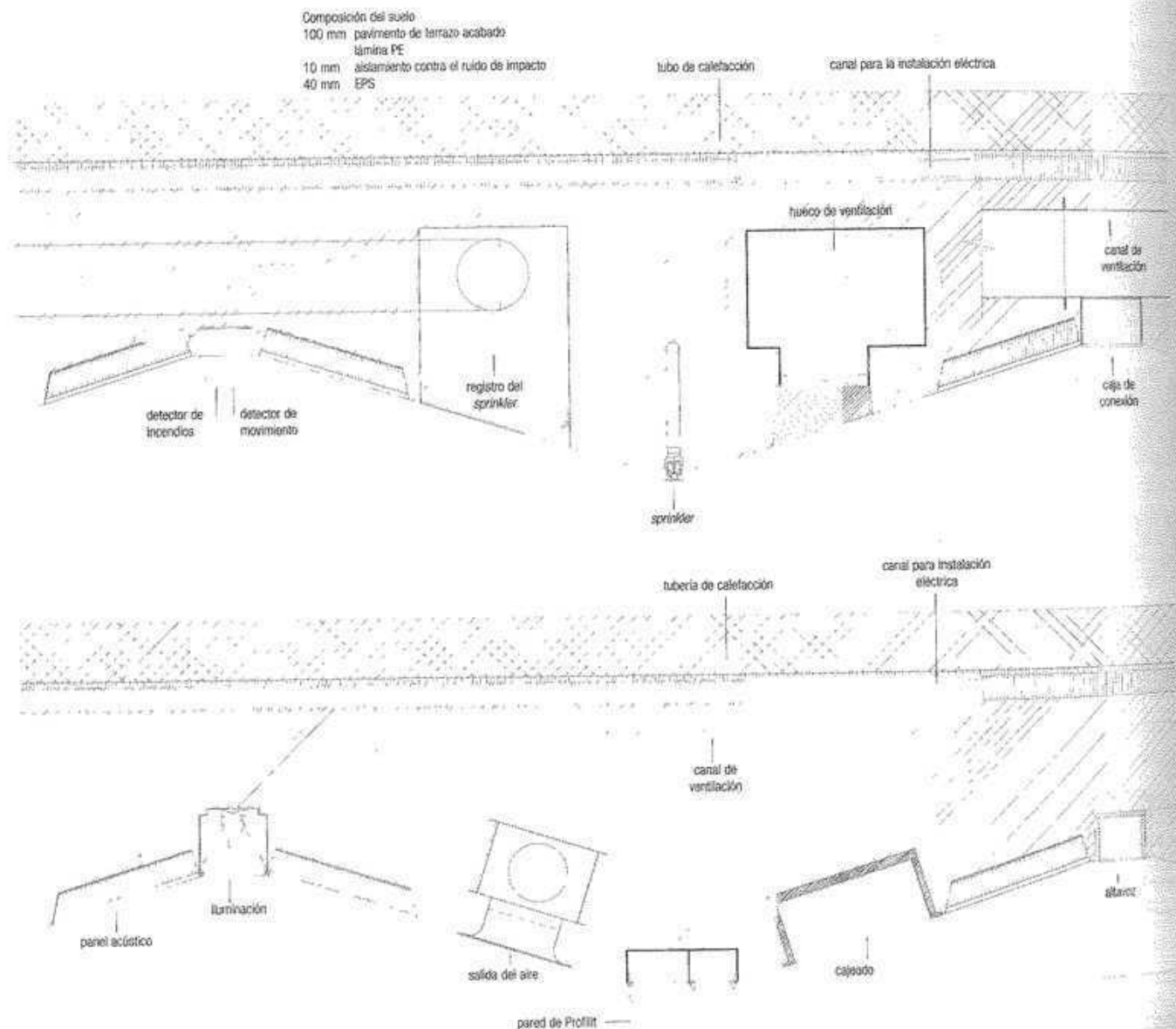


Fig. 356: Sección vertical a través del forjado, escala 1:10



Fig. 357: Plano del forjado de la planta baja,
escala 1:500

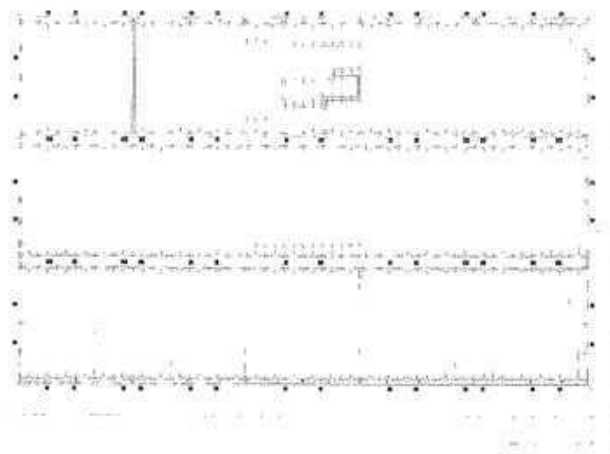


Fig. 358: Plano del forjado de la planta primera,
escala 1:600

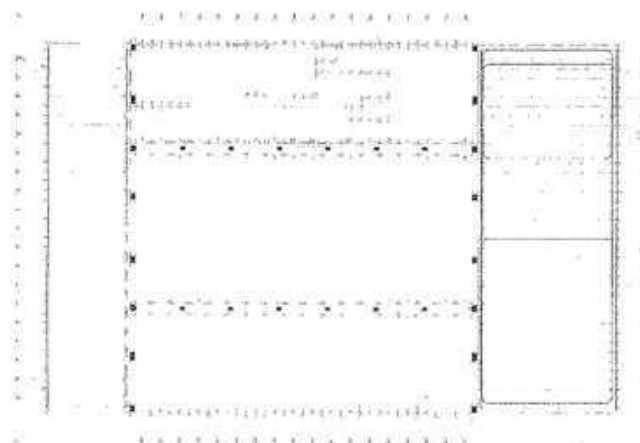


Fig. 359: Plano del forjado de la planta cuarta,
escala 1:600

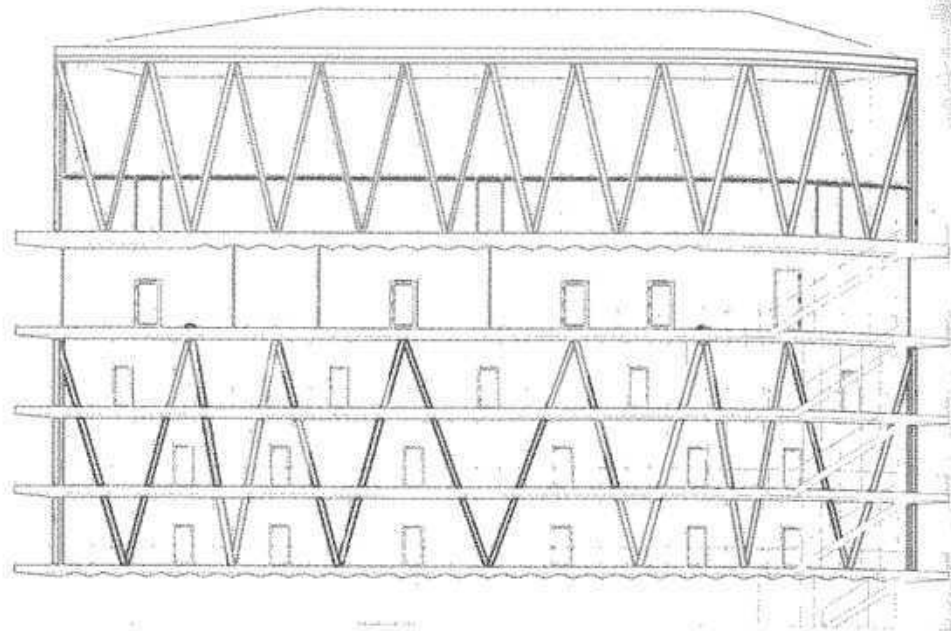


Fig. 360: Alzado, escala 1:400

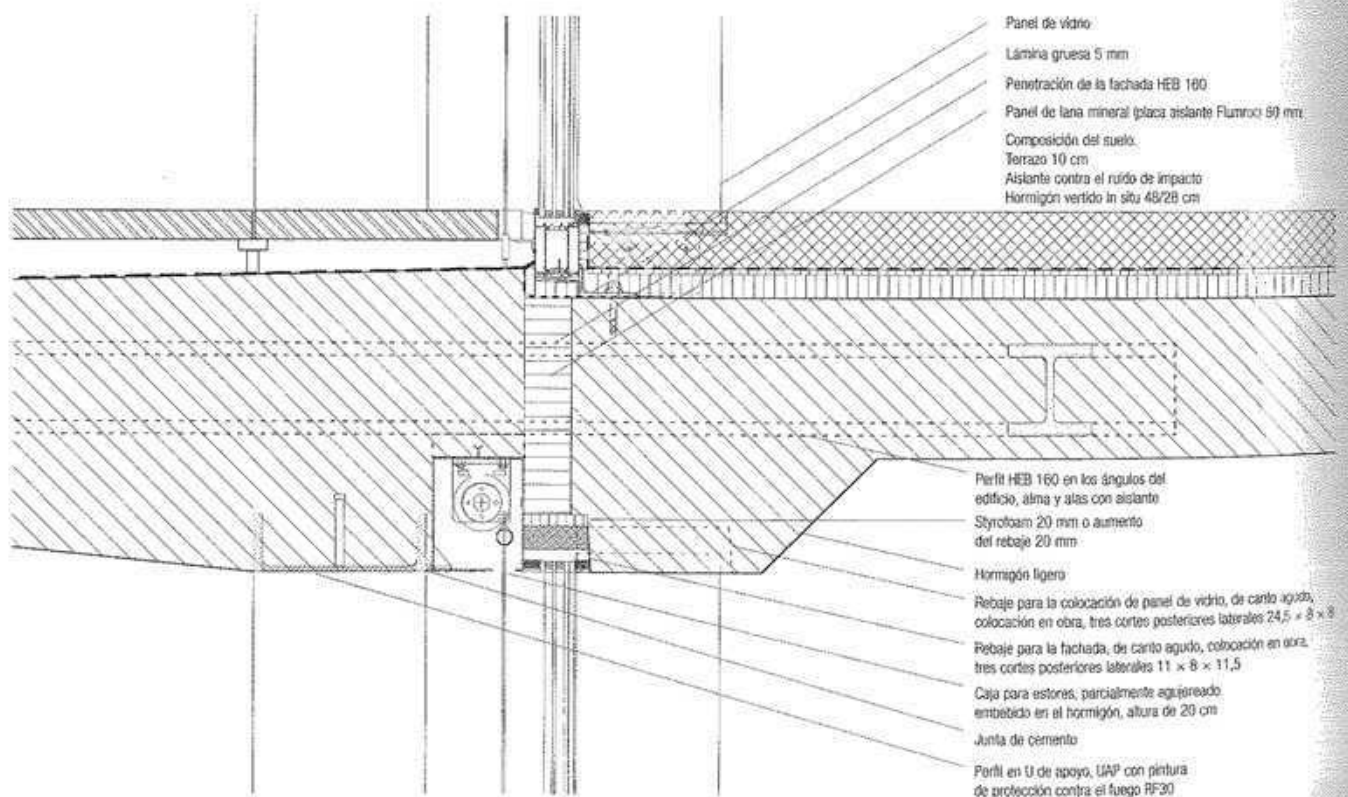


Fig. 361: Sección vertical a través de la fachada, escala 1:10

Las cargas a que está sometido el edificio, y con ello también la deformación de la compleja geometría del entramado de acero, aumentó paulatinamente durante el proceso constructivo con la colocación de los forjados de hormigón. Los pilares de acero provisionales se retiraban periódicamente y se volvían a colocar para absorber de manera controlada la deformación producida. La compleja geometría de la estructura dificultó el cálculo de las deformaciones previstas, por lo que el comportamiento del entramado tuvo que medirse continuamente. De este modo, una vez conocidas las deformaciones definitivas, pudieron dimensionarse las superficies acristaladas y encargarse con total seguridad.

El edificio conserva el carácter de una obra en bruto por el reducido número de elementos y la transición sin solución de continuidad entre diferentes materiales. En este sentido, tanto las paredes interiores como las exteriores de vidrio sin marcos están embebidas en suelos y techos.

La envolvente del edificio está compuesta por un triple acristalamiento arriostrado con montantes de vidrio. Las paredes interiores están montadas con perfiles de vidrio traslúcido Profilit. Las puertas exteriores e interiores se colocan en marcos de metal anclados únicamente en el suelo, de modo que sus superficies acristaladas no sufren carga alguna.

Los balcones que rodean al edificio protegen de la radiación solar directa. Además, la luz natural puede regularse por medio de estores colocados en la cara exterior de los paños de vidrio, en el voladizo del forjado.

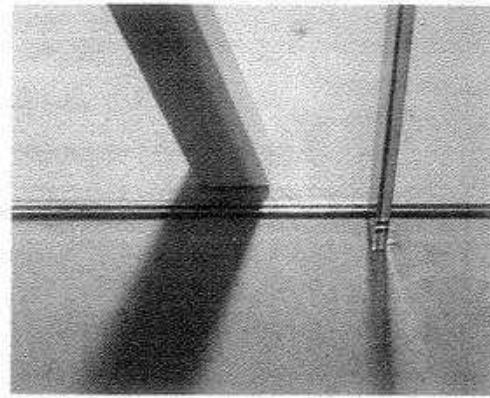


Fig. 364: Muestra de la fachada

A pesar de que partes de la estructura —vigas y losas en voladizo de los balcones— sobrepasan el límite térmico, la escuela satisface el estándar energético. Las pérdidas de calor se compensan por la compacidad del volumen del edificio y el excepcional rendimiento que proporciona el aislamiento de un vidrio triple. Para prevenir lesiones en aquellas partes que se enfrían por encima de los valores medios (puentes térmicos), debe evitarse a toda costa la condensación del agua.

Instalaciones

La energía para la calefacción se obtiene de la vecina central de combustión de basuras, distribuyéndose por el edificio a través de un suelo radiante de baja temperatura. El aire fresco se introduce mecánicamente en un conducto central vertical y se reparte por los canales de ventilación embebidos en el forjado. En las plantas superiores el aire fresco entra en los espacios interiores por aberturas colocadas en la parte inferior del techo y en la planta baja por el suelo.

El aire viciado se evacua por canales acústicos colocados en las paredes de los vestíbulos, y a partir de ahí se expulsa por los conductos verticales situados en el núcleo.

En verano el aire fresco puede enfriarse de forma pasiva mediante un sistema de intercambio de calor que humedece el aire viciado (enfriamiento adiabático). En invierno el aire fresco se precalienta con el aire viciado.

Las instalaciones de acondicionamiento del aire están ubicadas en el sótano y entre las vigas de la cubierta. Por medio de esta disposición, la planta baja diáfana puede mantenerse libre de los conductos verticales de ventilación.

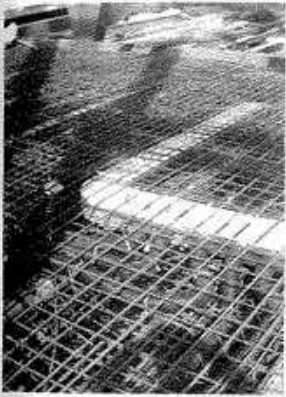


Fig. 362: Fotografía de la obra del forjado
Integración de las instalaciones, como los canales de ventilación, antes del vertido del hormigón en el forjado

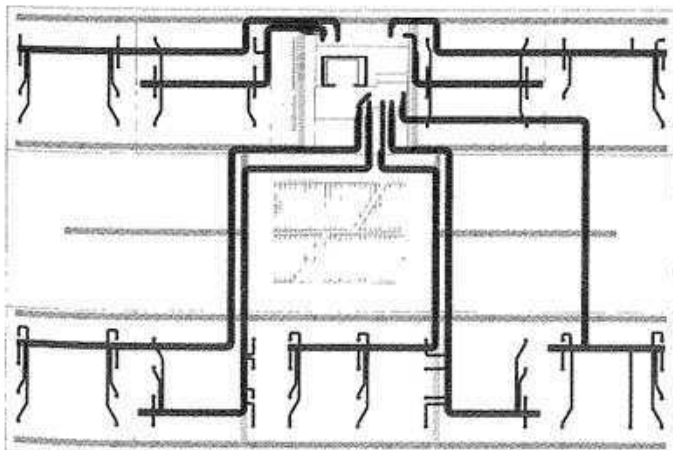


Fig. 363: Esquema del reparto horizontal de las instalaciones en el forjado de hormigón
En gris oscuro: canales de ventilación
En gris claro: red eléctrica

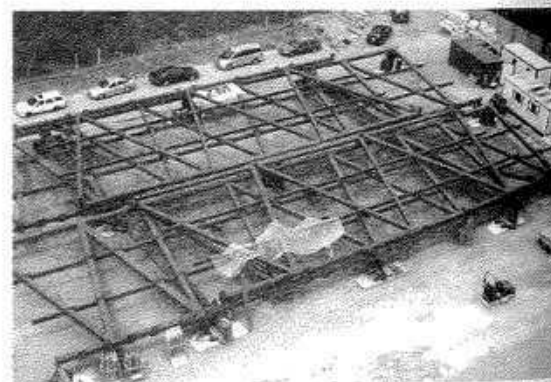
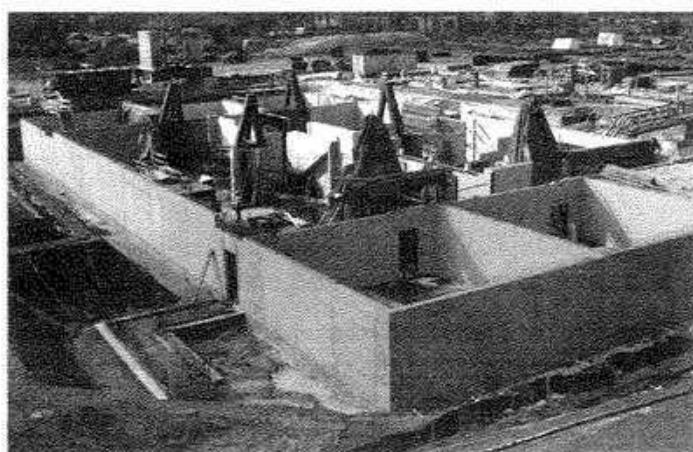
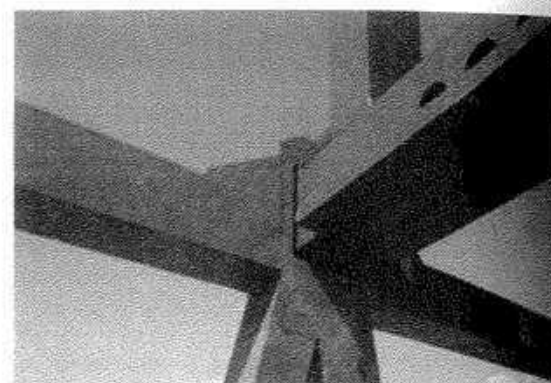
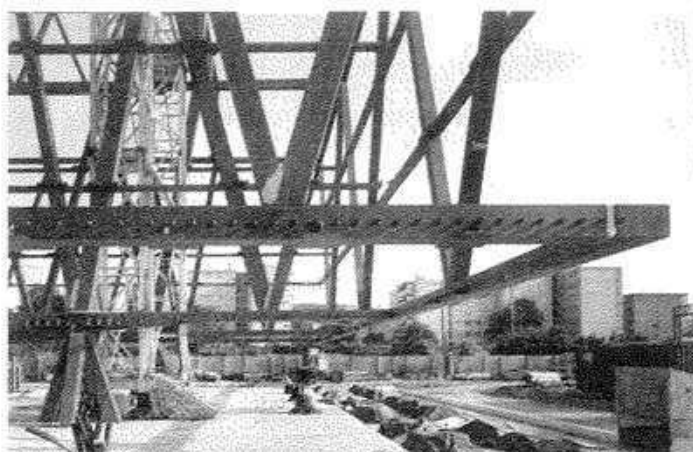
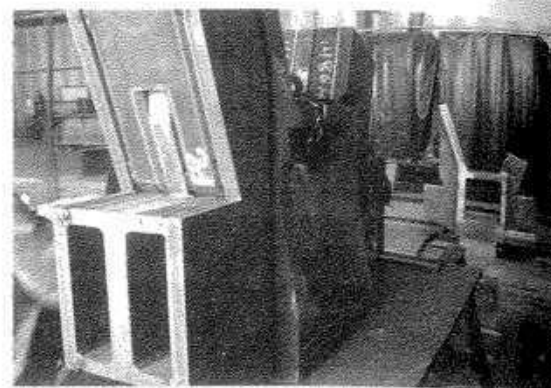
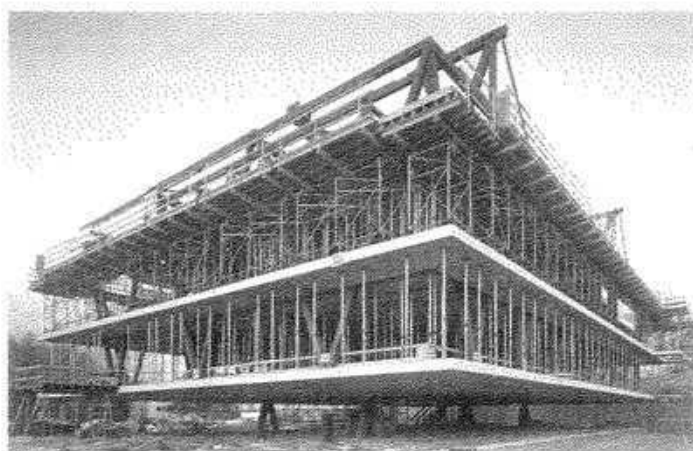
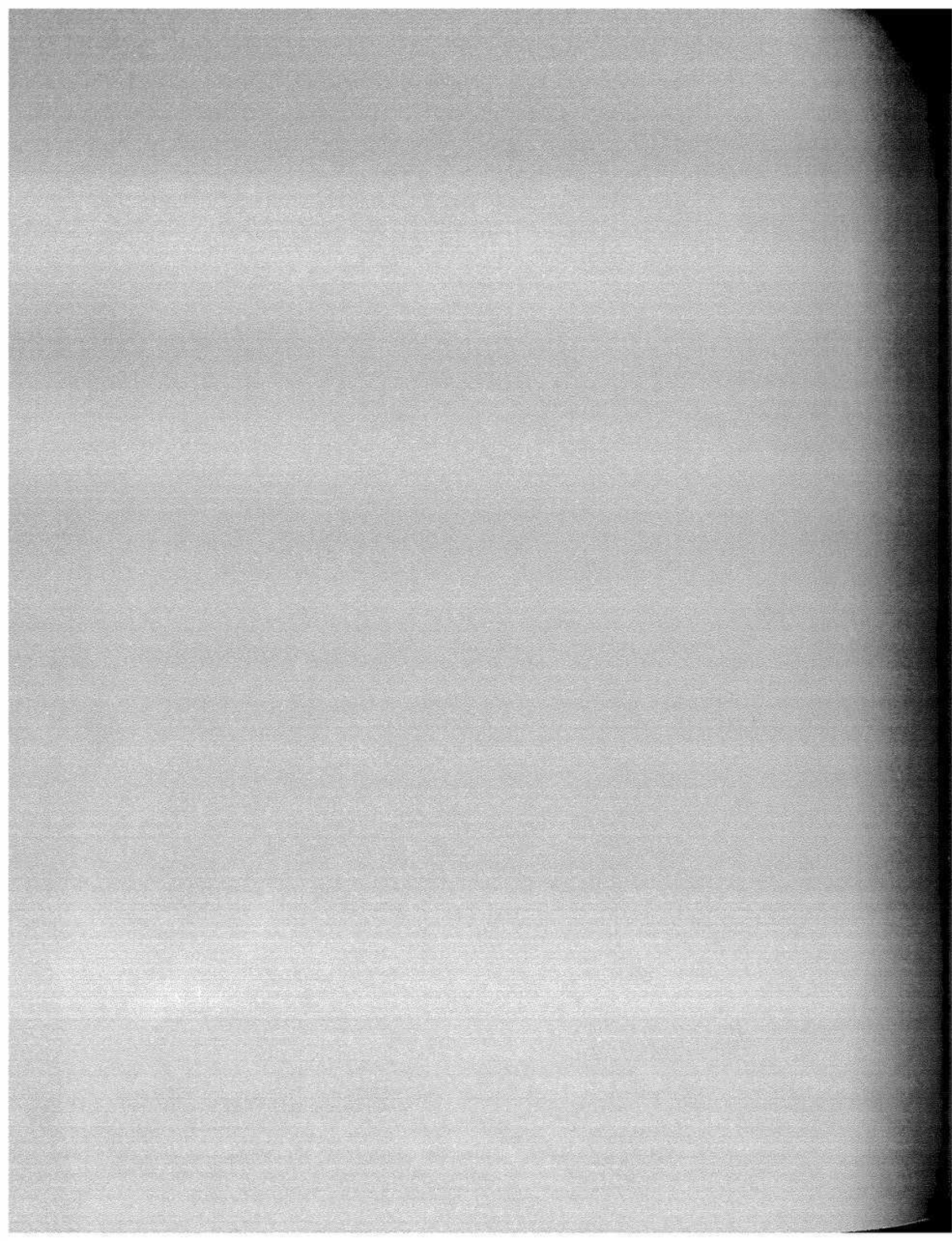


Fig. 365: Fotografías de la construcción

A la izquierda, de arriba a abajo: los torzados con el hormigón vertido in situ se funden con la estructura de acero y forman una unidad estructural. Seis pilares compuestos de tres barras de acero transmiten las cargas al terreno a través del sótano mediante zapatas corridas apoyadas sobre pilotes.

A la derecha, de arriba a abajo: el entramado exterior que discurre en torno al tramo de tres plantas de las aulas cubre de ocho soportes complejos aislados térmicamente. La estructura de acero se preparó en taller con grandes piezas prefabricadas aptas para su transporte y soldadas posteriormente en la propia obra.



Construcción: elaboración de los planos en la edificación

Extracto de la norma suiza SIA-Norm 400:2000

B.1.4 Escalas

Para cada dibujo se utiliza una escala, que debe figurar en el recuadro destinado al título del plano.

En la construcción se emplean las siguientes escalas:

Escala	De uso común entre los arquitectos
1:10.000 1: 5.000 1: 2.000	Plano general (p. ej., planos de zona)
1: 1.000 1: 500	Plano de situación, plano de catastro
1: 200	Plano de situación en ciudades Planos de concurso Planos de anteproyecto
1: 100	Proyecto
1: 50	Planos de obra
1: 20 1: 10 1: 5 1: 1	Planos de detalle Planos de ejecución

Fig. 1: Escalas comunes en los planos de los arquitectos

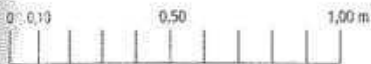


Fig. 2: Ejemplo de escala gráfica para planos a escala 1:20

Debido al uso extendido de las reducciones de planos, se recomienda acompañar cada dibujo de una escala gráfica. Este recurso permite reconocer la medida aproximada de la representación reducida.

Las reducciones y ampliaciones deben indicarse como tales.

B.5 MEDIDAS Y COTAS

B.5.1 Generalidades

Las cotas indicadas prevalecen respecto a la exactitud del dibujo. Se recomienda subrayar aquellas medidas que no se correspondan con las de la representación, tanto en los planos dibujados a mano como en los realizados por ordenador.

B.5.2 Unidades de medidas

Para las medidas y las cotas se emplean las unidades de km, m, cm y mm. En el plano debe figurar la unidad elegida.

Ejemplo: Escala en m

Las décimas de la unidad de medida se separan del número de la unidad con una coma (en el mundo anglosajón se utiliza el punto para este fin).

Ejemplos en m: 2,75
0,52

Cuando se adopta como medida básica el metro, de acuerdo con el uso actual de la construcción en Suiza, los elementos menores de esta unidad pueden darse en centímetros.

En este caso, los milímetros relacionados con las medidas en centímetros, se colocan como índice.

Ejemplos: 52 = 0,52 m
2⁵ = 2,5 cm
0⁵ = 0,5 cm

Los ángulos se indican según la vieja división en grados del círculo (360°):

Ejemplos: 24° 32,5° 45°

El concepto de pendiente se emplea para los desagües, superficies transitables y de tráfico rodado. Las pendientes e inclinaciones se indican en tanto por ciento (%) o tanto por mil (‰). La flecha de las pendientes indica el sentido descendente (p. ej., en la evacuación de aguas de la pendiente anterior a un garaje); o el ascendente (p. ej., en escaleras o rampas).

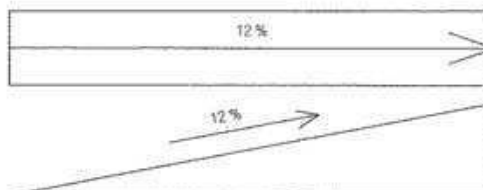


Fig. 3: Indicación de la inclinación en planta y en sección

B.5.3 Medidas

Tanto las líneas de las cotas como las auxiliares se representan con las líneas más finas de las utilizadas en el dibujo.

Los puntos de intersección entre las líneas de cotas y las auxiliares se señalan con una línea inclinada, de doble grosor que las de las cotas.

Las líneas auxiliares arrancan en la proximidad del objeto a medir. Debe evitarse la intersección de las mismas.

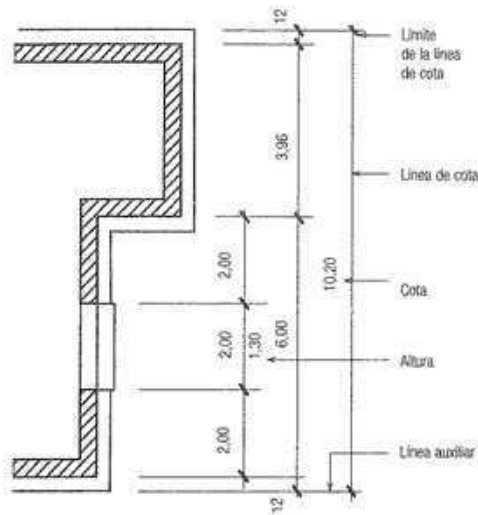


Fig. 4: Representación en planta de líneas de cota y de auxiliares

Las cotas se colocan sobre la línea, a una distancia aproximada de la mitad de la altura de los números, de forma que sean legibles desde el extremo inferior o derecho del plano.

En líneas oblicuas, las cotas se colocan siempre por encima de la línea, observada desde el borde inferior.

Las cotas que aparecen por debajo de la línea indican la altura tomada desde el extremo superior del suelo hasta el borde inferior del forjado o del dintel sin revestir. En las ventanas se mide desde el extremo superior del antepecho hasta el inferior del dintel.

En elementos de sección rectangular se proporciona la medida de su anchura y de su altura (p. ej., $30 \times 1,80$). En secciones circulares, el símbolo para indicar el diámetro se antepone a la cifra correspondiente (p. ej., $\varnothing 12$).

Diferentes ejemplos de acotación están representados en las figuras 5-8:

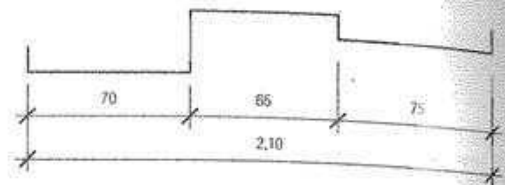


Fig. 5: Acotación alineada

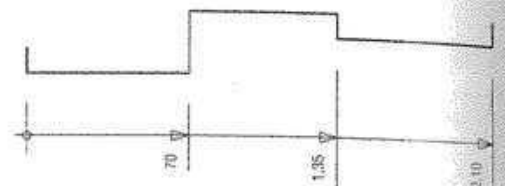


Fig. 6: Acotación escalonada

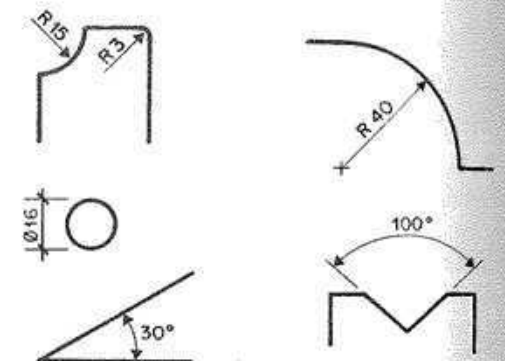


Fig. 7: Acotación de radios, diámetros y ángulos

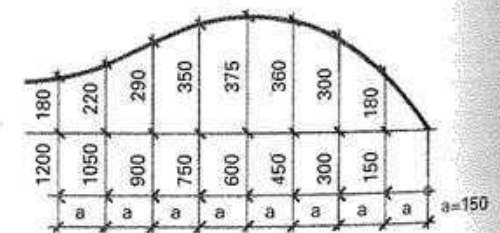


Fig. 8: Acotación en curvas

B.5.4 Cotas

Las cotas se deben indicar siempre en metros.

Como punto de partida se toma la cota $\pm 0,00$. Habitualmente, corresponde a la altura del suelo de la planta baja. Excepcionalmente puede definirse en cada planta una nueva cota $\pm 0,00$. De ser así, hay que especificarlo en la carátula del plano.

Ejemplo: cota $\pm 0,00$ en la planta 2 = 518,60 m sobre el nivel del mar.

Cuando una planta tiene una única cota de altura idéntica en toda su superficie, puede indicarse exclusivamente en el recuadro destinado al título del plano.

+3,21	Cota de altura, límite inferior, para la obra acabada
+3,00	Cota de altura, límite superior, para la obra sin acabar
+1,25	Cota de altura, límite inferior, para la obra sin acabar
+1,10	Cota de altura, límite superior, para la obra sin acabar
$\pm 0,00$ -0,10	Cota de altura, límite superior, para la obra acabada y también sin acabar

Fig. 9: Indicación de las cotas de altura en secciones

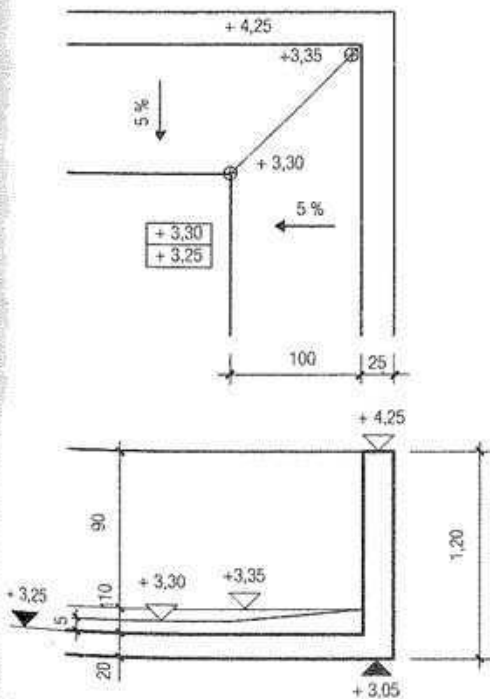


Fig. 10: Ejemplo: cotas de altura en planta y sección

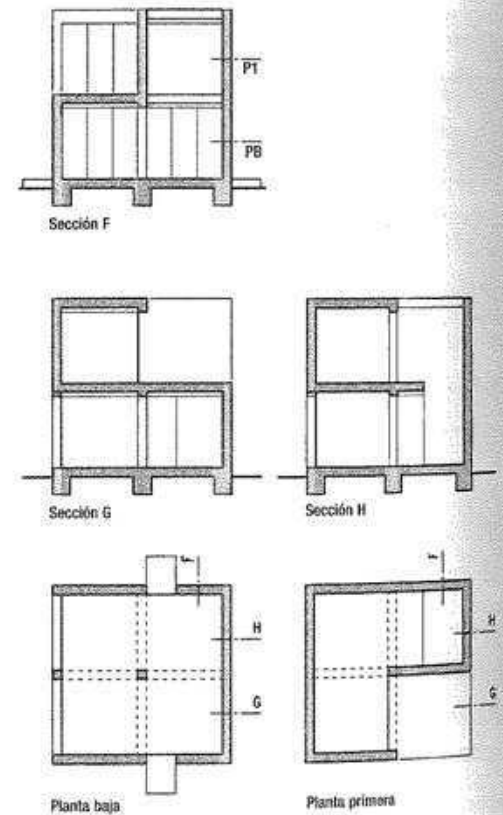
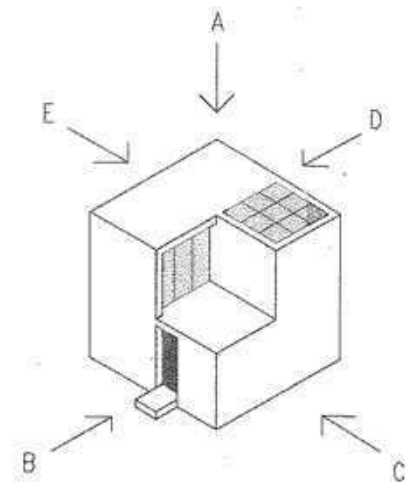
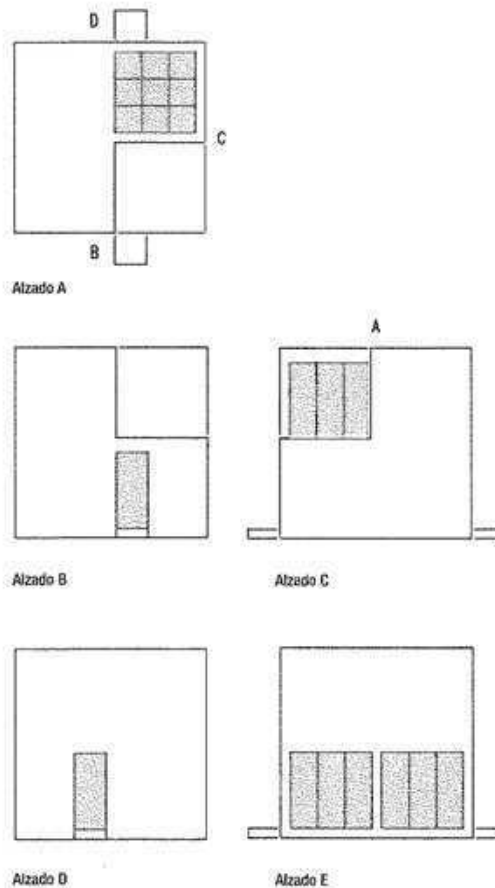
B.7 PROYECCIONES

B.7.1 Principios de representación

Todos los elementos constructivos son volúmenes tridimensionales que, sobre un papel, sólo pueden representarse de forma bidimensional. La representación tiene lugar mediante la proyección del volumen sobre un plano, el plano de dibujo.

En la figura 12 se representa un volumen en el que se basan las distintas representaciones siguientes.

B.7.2 Proyección normal



B.8.3 Materiales**B.8.3.1 Simbología**

Generalmente las superficies seccionadas se delimitan con una línea gruesa y se señalan con símbolos.

La intensidad de las líneas de los símbolos debe adecuarse a la escala del dibujo.

En representaciones a escala 1:100 o menores, las superficies seccionadas se dibujan frecuentemente en negro o con otros símbolos comunes a los materiales que son iguales.

Ladrillo		marrón-rojizo
Aceros E 1:1		
Fábricas ignífugas		rojo oscuro
Piedra caliza		gris
Bloques de cemento		verde oliva
Hormigón armado y en masa		verde
Bloques de hormigón, piedra artificial		azul grisáceo
Hormigón visto		verde
Mortero, yeso, revoco		violeta
Madera maciza		gama amarillo-marrón
Madera maciza, madera laminada		de amarillo a marrón
Derivados de la madera		marrón claro
Metal		azul claro
Aceros (seccionado)		negro
Materias aislantes		rosa
Barreras (viento vapor, impermeable)		negro/blanco
Relleno de juntas		amarillo
Vidrio		verde oscuro
Plástico		gris
Piedra natural		azul

B.8.3.2 Abreviaturas

Hormigón	H
Hormigón ligero	HL
Cemento Pórtland	CeP
Cal hidráulica	CaH
Cal blanca	CaB

Muro de fábrica	M
-----------------	---

Obra común de fábrica sin propiedades especiales de:

- Ladrillo
- Ladrillo ligero
- Bloque de cemento
- Bloque de cemento aligerado
- Piedra caliza
- Bloque de hormigón poroso
- Bloque de hormigón celular

La obra de fábrica con propiedades especiales se indica adicionalmente como:

- de aparejo
- prefabricada
- con resistencia declarada
- con revestimiento exterior
- armada
- pretensada
- vista expuesta a la intemperie
- vista no expuesta a la intemperie
- con alto grado de resistencia al fuego
- acústicamente aislante
- térmicamente aislante
- con exigencias especiales de seguridad sísmica

Madera laminada	ML
-----------------	----

B.9.3 Escaleras y rampas

En las plantas, las escaleras se seccionan a unos dos tercios de su altura. Cuando la escalera comunica varias plantas, se representa la parte superior del tramo inferior y la parte inferior del tramo superior.

La línea continua con una flecha indica el sentido de ascenso en las escaleras y en las rampas.

Cuando la escalera sólo asciende una planta, el tramo por encima de la altura de corte se representa con líneas de puntos y rayas.

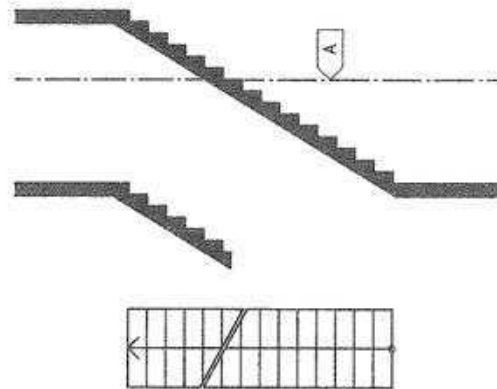


Fig. 14: Escalera de varias plantas
Planta y sección

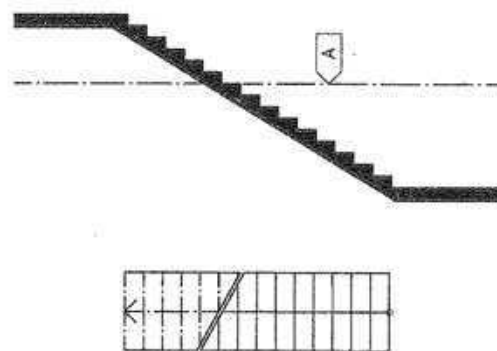


Fig. 15: Escalera de una sola planta
Planta y sección

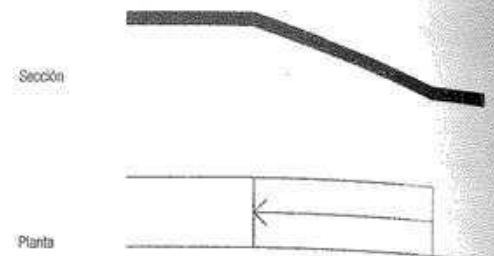


Fig. 16: Rampa
Planta y sección

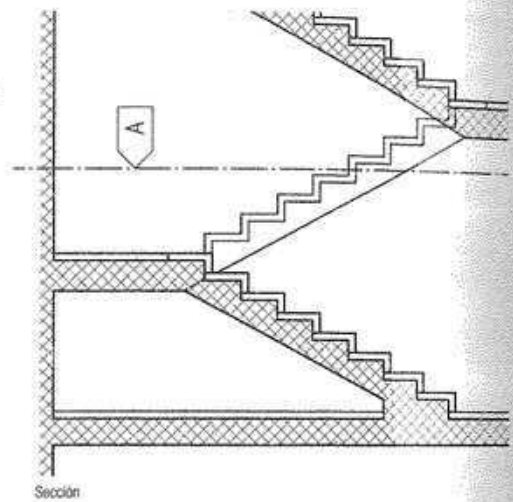
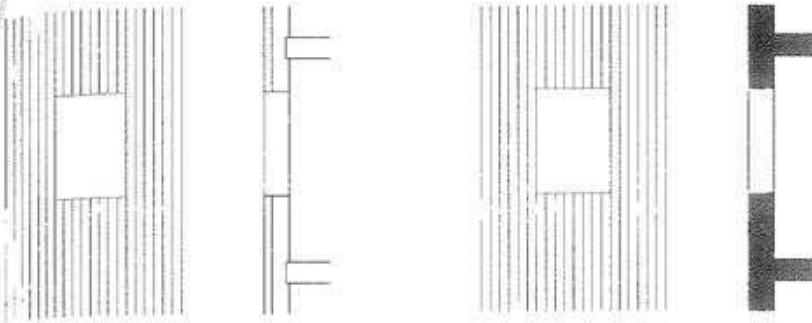


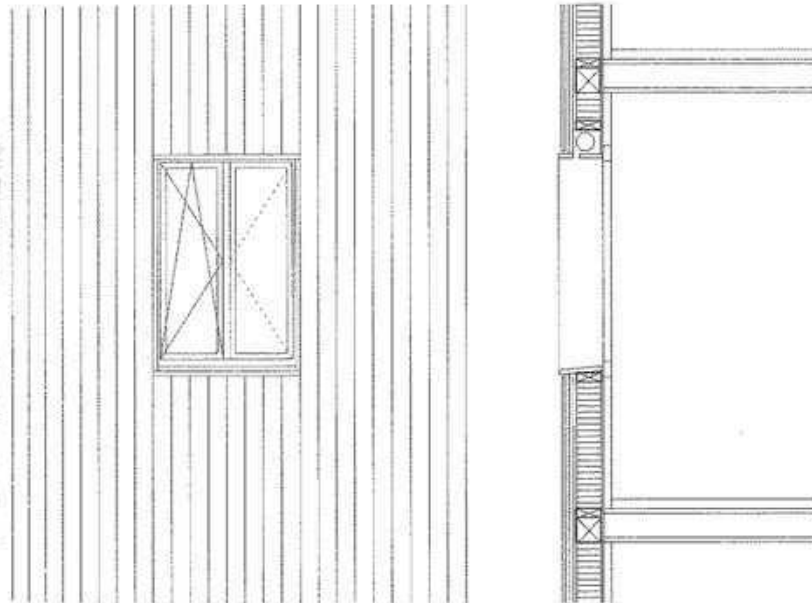
Fig. 17: Escalera de una sola planta
Planta y sección

Representación de planos

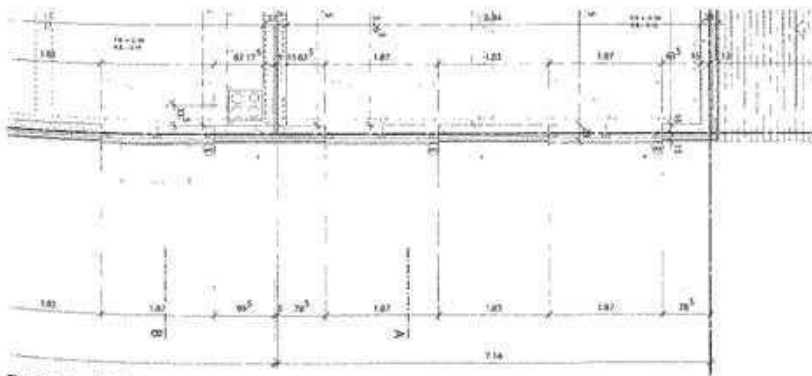
Ejemplo de construcción con un entramado de madera



Punta, sección, alzado E. 1:100, con líneas o con la sección en negro



Punta, sección, alzado E. 1:50



Ejemplo de acotación de un plano de obra

Planos del proyecto básico, E 1:100

Los planos del proyecto contienen todos los datos necesarios para el entendimiento del mismo. Esta información va dirigida (fundamentalmente) al constructor y a las autoridades administrativas del sector de la construcción.

- Plantas, secciones, alzados
- Límites, edificación colindante
- Terreno en el estado original, nuevo proyecto

La expresión del volumen y del espacio se proporciona de forma gráfica. Los huecos se representan como agujeros, bandas, etc. Las ventanas, zócalos, cornisas o revestimientos de fachada se dibujan únicamente en el caso de ser relevantes para el proyecto.

A partir de los planos del proyecto se elaboran los planos para la solicitud de la licencia de obra. En la mayor parte de los casos, ambos coinciden. Cada municipio prescribe la información adicional que debe proporcionarse para la concesión de la licencia de obra.

Planos del proyecto de ejecución E 1:50

Los planos de obra se limitan en lo esencial a la obra en bruto, y muestran los elementos constructivos como paredes, techos, cubiertas, antepechos, dinteles (con o sin protección solar) y escaleras. Estos planos sirven para la comunicación con los proyectistas de cada sector de la construcción y con los empresarios, así como para la ejecución de la obra. Las distintas capas (portante, aislante y de protección) se dibujan a la escala que resulte razonable su representación. Las superficies se definen mediante leyendas (texto).

Los detalles de transición zócalo-pared, huecos, pared-forjado, pared-cubierta, etc., se representan esquemáticamente (continuidad de las capas). No se tienen en cuenta las capas de grosor reducido, como el revoco.

Las ventanas pueden representarse de forma simplificada: marcos y hojas como un rectángulo. En el alzado se diferencian los marcos y hojas, y se dibuja el modo de apertura.

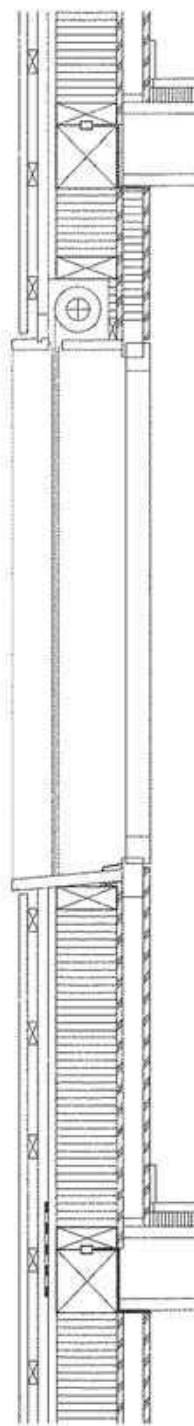
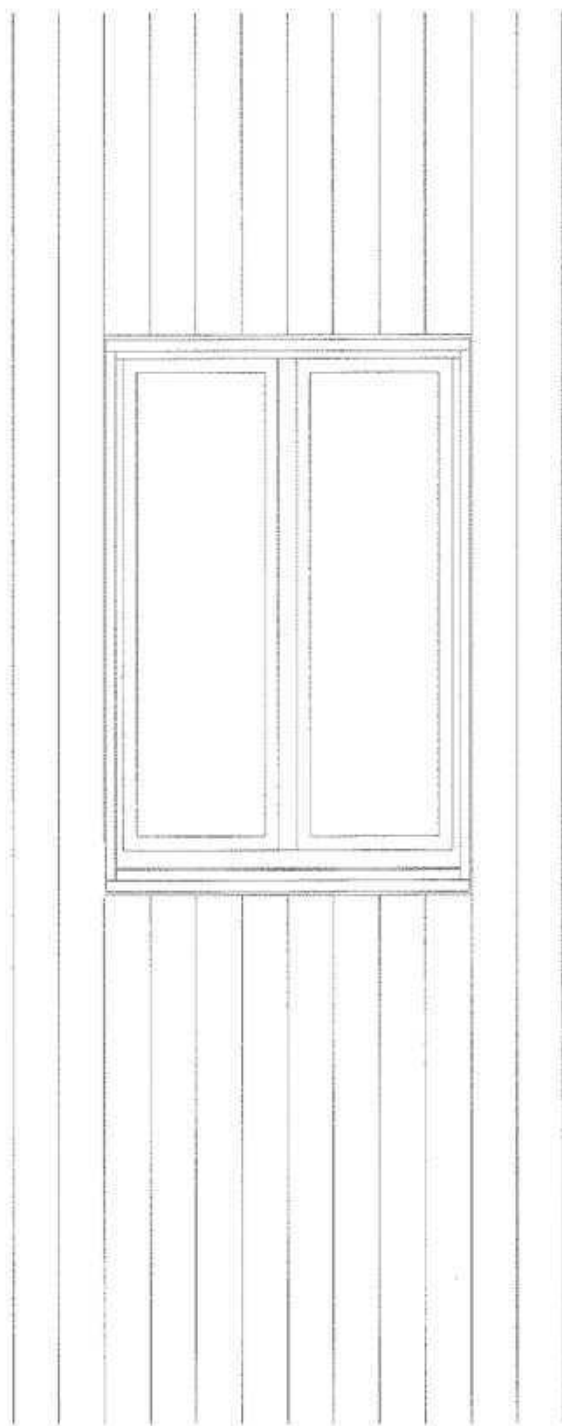
Debe indicarse asimismo el tipo de protección solar, interior o exterior.

La composición del forjado se describe en un texto.

La acotación de los planos de obra

La disposición de las cotas es jerárquica: se comienza por las generales para pasar a las de los diferentes elementos y acabar con las de detalle. Deben evitarse en la medida de lo posible las intersecciones de las líneas de cotas.

Los planos de ejecución suelen acotarse en metros (redondeando hasta el medio centímetro; 3,96%). Todas las medidas inferiores al metro se indican en centímetros (p. ej., 55 cm). En los planos de detalle que exigen una gran precisión, se proporcionan también las medidas en milímetros (como, p. ej., en planos de elementos metálicos). Hay que observar que se use siempre la misma unidad de medida, y que en el recuadro que encabece el plano se haga la referencia correspondiente (incluidas las medidas en mm).



Planta, sección, alzado E 1:20

Planos de detalle E 1:20

Hay que entender los planos de detalle como el complemento de los planos de ejecución a escala 1:50. En ellos se representa cada capa, identificada con la trama correspondiente. Las partes portantes de la construcción se dibujan con una línea más gruesa. Los elementos de transición, como los apoyos del forjado, deben dibujarse y describirse de forma detallada. Las ventanas, con sus marcos y hojas, se representan esquemáticamente mediante dos rectángulos. Todos sus elementos constructivos, como la protección solar con rieles, los listones, los alféizares, los dinteles, etc., deben ser reconocibles.

También el suelo debe dibujarse con todas sus capas, incluyendo juntas y remates. En caso de que existan instalaciones especiales (como tuberías de suelo radiante), deben mencionarse.

Para más ejemplos relativos al dibujo de planos, véanse también las páginas referentes a los elementos constructivos. Son detalles parciales, dibujados con mucho detalle. Los dibujos a mano pueden mostrar un mayor grado de abstracción. Además, debe reflexionarse sobre la composición del plano antes de su realización.

- Tamaño del plano, formato del papel
- Planta, sección, alzado coherente.

Generalidades sobre la representación de planos

Muchas empresas (p. ej., los fabricantes de ventanas), proporcionan dibujos de detalle en diferentes formatos y con una gran definición (a escala 1:1). Se aceptan, en efecto, a escala inferior a la 1:1, pues permiten mucha exactitud, y aunque presenten un cierto carácter de abstracción, básicamente son suficientes.

Hay que pensar en cada caso para quién se dibuja el plano y los datos que, efectivamente, resulta imprescindible aportar. En la medida de lo posible debe trabajarse en formatos DIN.

Formato	Medida en mm
DIN A4	210 × 297
DIN A3	297 × 420
DIN A2	420 × 594
DIN A1	594 × 841
DIN A0	841 × 1.189

El intercambio de planos entre especialistas y proyectistas tiene lugar con distintos formatos: dxf o dwg.

Información del plano en la carátula:

- Promotor
- Autor del plano
- Contenido del plano
- Escala
- Escala gráfica en caso de reducciones
- Indicación de la dirección norte
- ± 0,00 = m sobre el nivel del mar

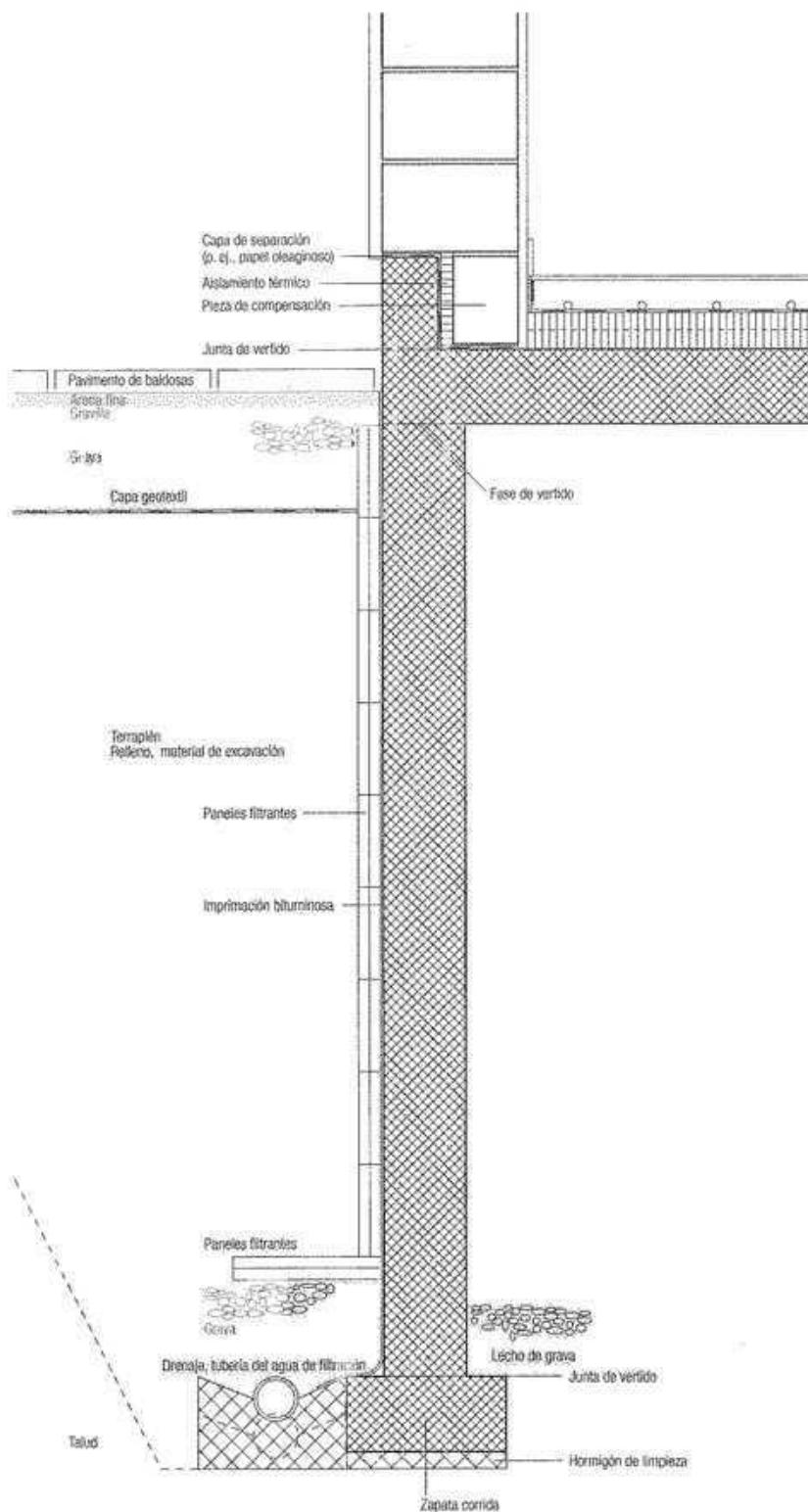
Símbolos

Leyenda relativa a los dibujos de las páginas dedicadas a elementos constructivos

	Barrera de vapor
	Barrera contra la humedad, barrera contra el viento
	Capa de separación
	Aislamiento frente al ruido de impacto
	Aislamiento térmico
	Aislamiento térmico estanco al vapor de agua
	Aislamiento térmico resistente al agua
	Bloque de hormigón, piedra artificial
	Hormigón vertido in situ
	Hormigón pobre
	Panel de madera conglomerada
	Sección transversal de madera maciza

Zócalo de un muro de fábrica de una hoja

1:20



Composición de la fachada

- Enfoscado	35 mm
- Muro de fábrica de una hoja 36,5/24,8/23,8	365 mm
- Enlucido	25 mm
Total	425 mm

Composición del forjado

- Baldosas de clinker	10 mm
- Mortero de agarre	5 mm
- Suelo radiante	80 mm
- Capa de separación (p. ej., lámina de 1 mm)	
- Aislamiento térmico estanco al vapor de agua (p. ej., Foamglas)	150 mm
- Losa de hormigón	200 mm
Total	445 mm

Composición del muro en sótano húmedo

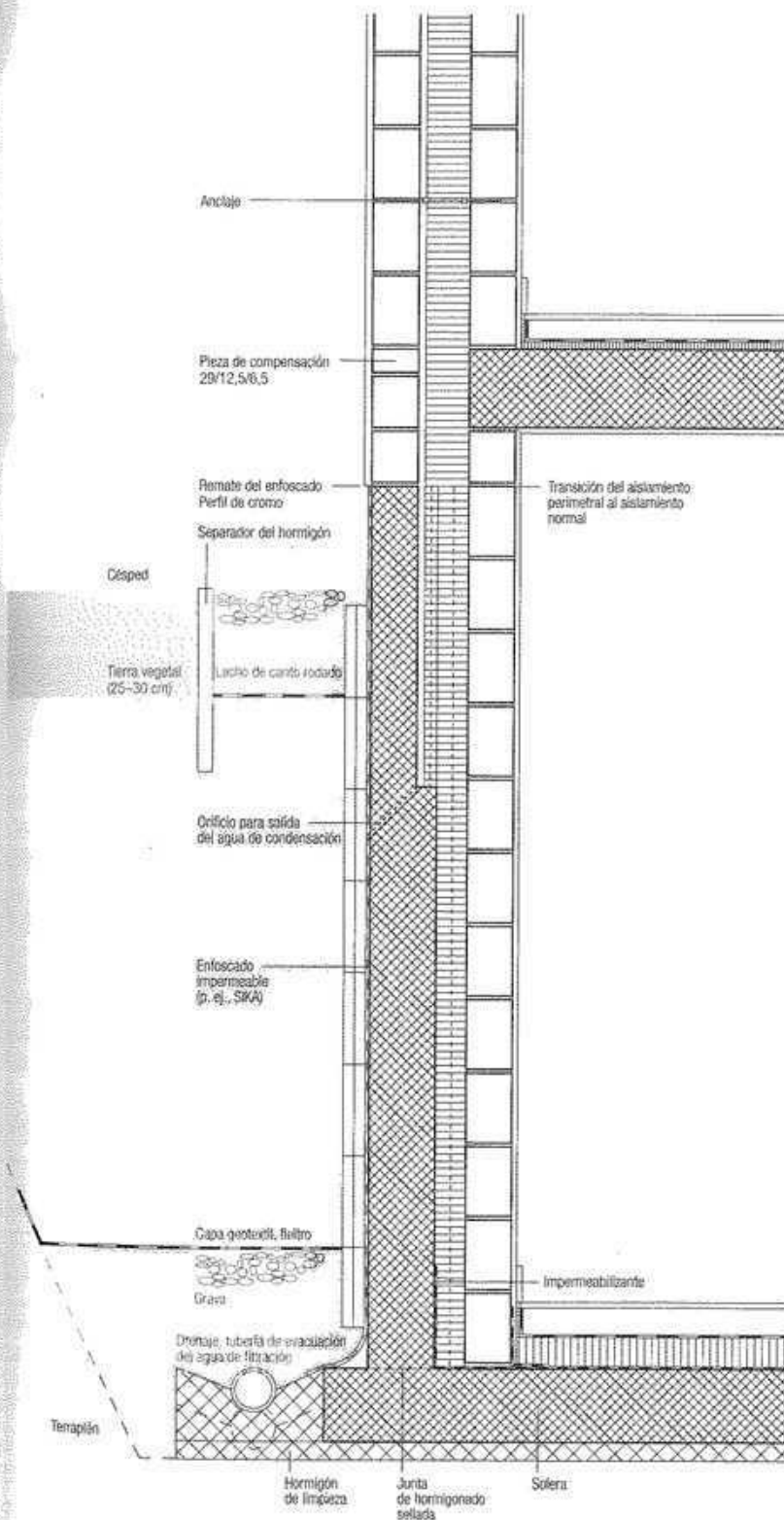
- Paneles filtrantes	60 mm
- Impermeabilizante (p. ej., imprimación bituminosa)	2 mm
- Muro de hormigón vertido in situ	220 mm
Total	282 mm

Composición de la solera en sótano húmedo

- Lecho de grava (p. ej., grava de canto rodado)	200 mm
--	--------

Zócalo de un muro de fábrica de dos hojas, con revoco

1:20



Composición de la fachada

- Revoco	20 mm
- Muro de fábrica de ladrillo 29/12,5/19	125 mm
- Cámara de aire (tolerancia constructiva)	20 mm
- Aislamiento térmico (p. ej., lana mineral)	150 mm
- Muro de fábrica de ladrillo 29/12,5/19	125 mm
- Enlucido	15 mm
Total	455 mm

Composición del forjado

- Parqué encolado	15 mm
- Mortero	60 mm
- Capa de separación (p. ej., lámina de 1 mm)	
- Aislamiento contra el ruido de impacto	20 mm
- Losa de hormigón	210 mm
- Enlucido	10 mm
Total	315 mm

Composición del muro en sótano con calefacción

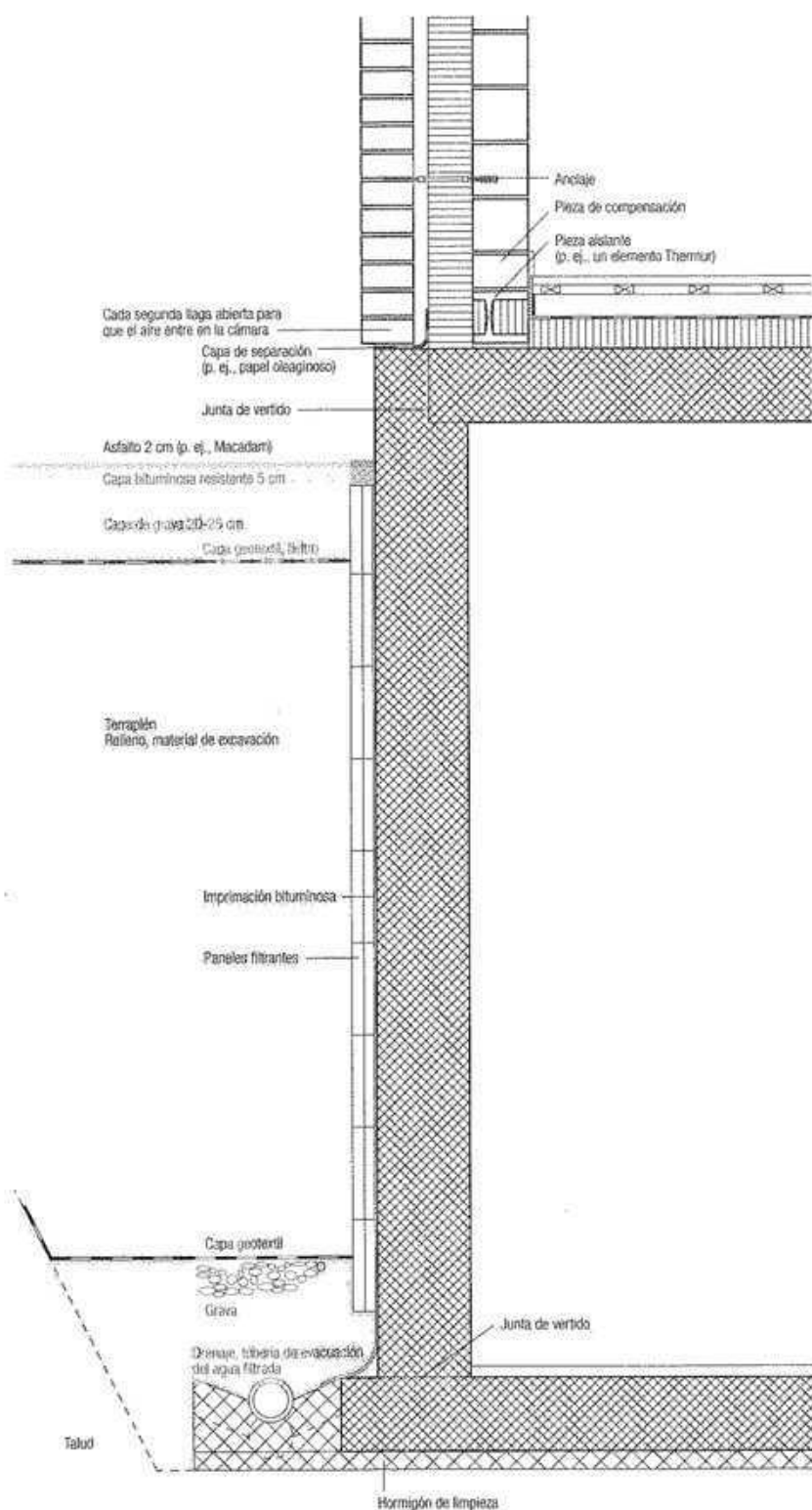
- Paneles filtrantes	60 mm
- Enfoscado estanco al agua	10 mm
- Muro de hormigón vertido in situ	180 mm
- Aislamiento térmico (estanco al vapor de agua)	100 mm
- Muro de fábrica de ladrillo 25/12/14	120 mm
- Enlucido	10 mm
Total	480 mm

Composición de la solera en sótano con calefacción

- Parqué encolado	15 mm
- Mortero de nivelación	80 mm
- Aislamiento térmico (p. ej., Foamglas o Styrofoam)	100 mm
- Barrera de humedad (p. ej., Robit)	
- Solera de hormigón	200 mm
- Hormigón de limpieza	50 mm
Total	445 mm

Zócalo de un muro de fábrica visto

1:20



Composición de la fachada

- Fábrica de ladrillo, capa 1: 29/14/6,5	140 mm
- Fábrica de ladrillo, capa 2: 29/14/6,5 (variantes: módulos vistos, bloques prefabricados o elementos de hormigón, etc.)	40 mm
- Cámara de aire, como mínimo	150 mm
- Aislamiento térmico (p. ej., lana mineral)	150 mm
- Fábrica de ladrillo 25/15/14	150 mm
Total	480 mm

Composición del forjado

- Tarima	24 mm
- Rastreles	30 mm
- Capa de fieltro	2 mm
- Mortero de nivelación	60 mm
- Capa de separación (p. ej., lámina de 1 mm)	
- Aislamiento térmico estanco al vapor de agua	100 mm
- Losa de hormigón	200 mm
Total	416 mm

Composición del muro en sótano
sin calefacción

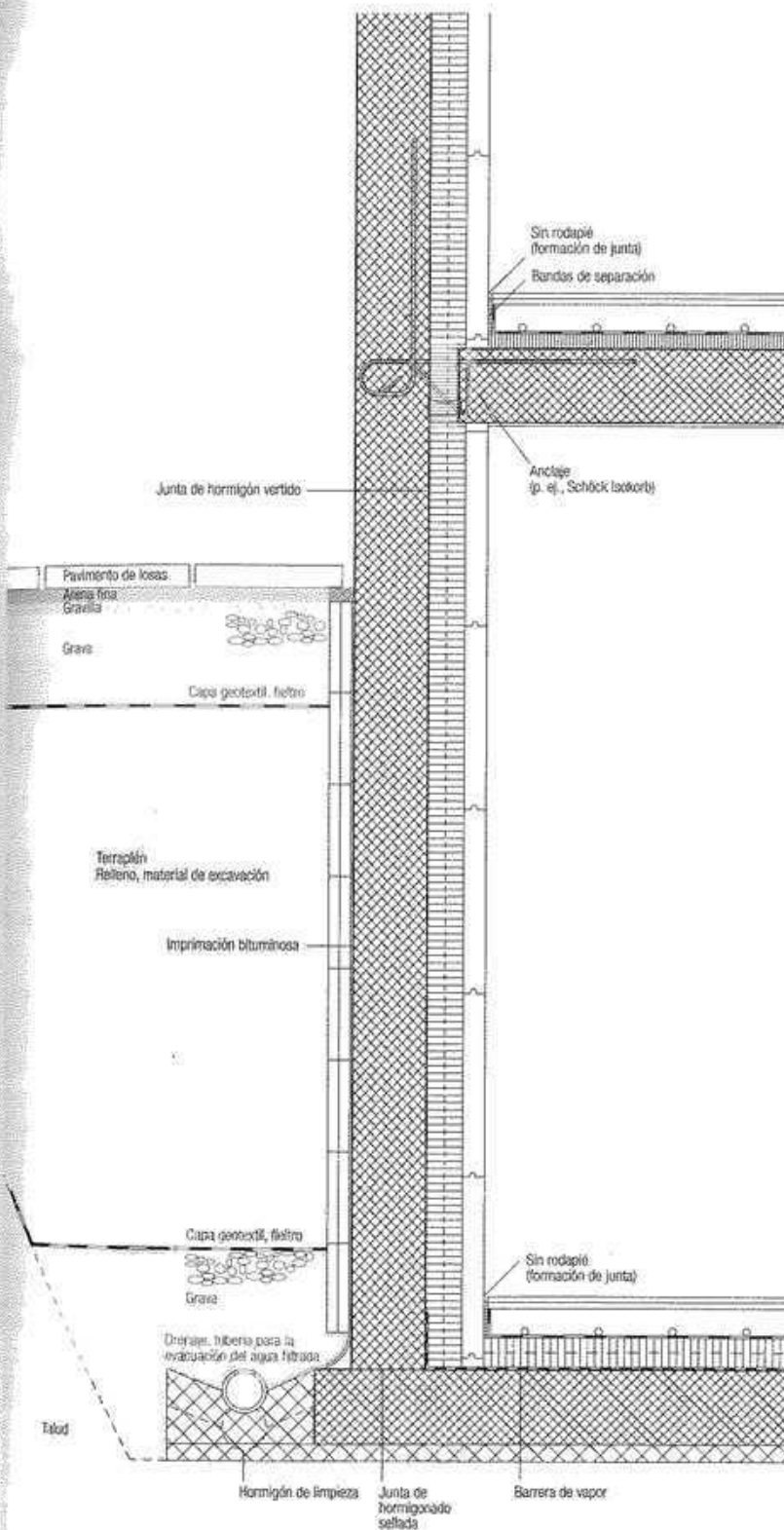
- Paneles filtrantes	60 mm
- Impermeabilizante (p. ej., imprimación bituminosa)	2 mm
- Muro de hormigón vertido in situ	240 mm
Total	302 mm

Composición de la solera en sótano
sin calefacción

- Capa de cemento	30 mm
- Solera de hormigón	200 mm
- Hormigón de limpieza	50 mm
Total	280 mm

Zócalo de un muro de hormigón visto con aislamiento interior

1:20



Composición de la fachada

- Hormigón visto coloreado	220 mm
- Aislamiento térmico de vidrio celular estanco al vapor de agua (p. ej., Foamglas)	150 mm
- Placas de yeso emplastadas para tapar las juntas y pintadas	60 mm
Total	430 mm

Composición del forjado

- Placas de piedra natural	15 mm
- Mortero	15 mm
- Suelo radiante	80 mm
- Capa de separación (p. ej., lámina de 1 mm)	
- Aislamiento contra el ruido de impacto	40 mm
- Losa de hormigón	200 mm
- Enlucido	10 mm
Total	360 mm

Composición del muro en sótano con calefacción

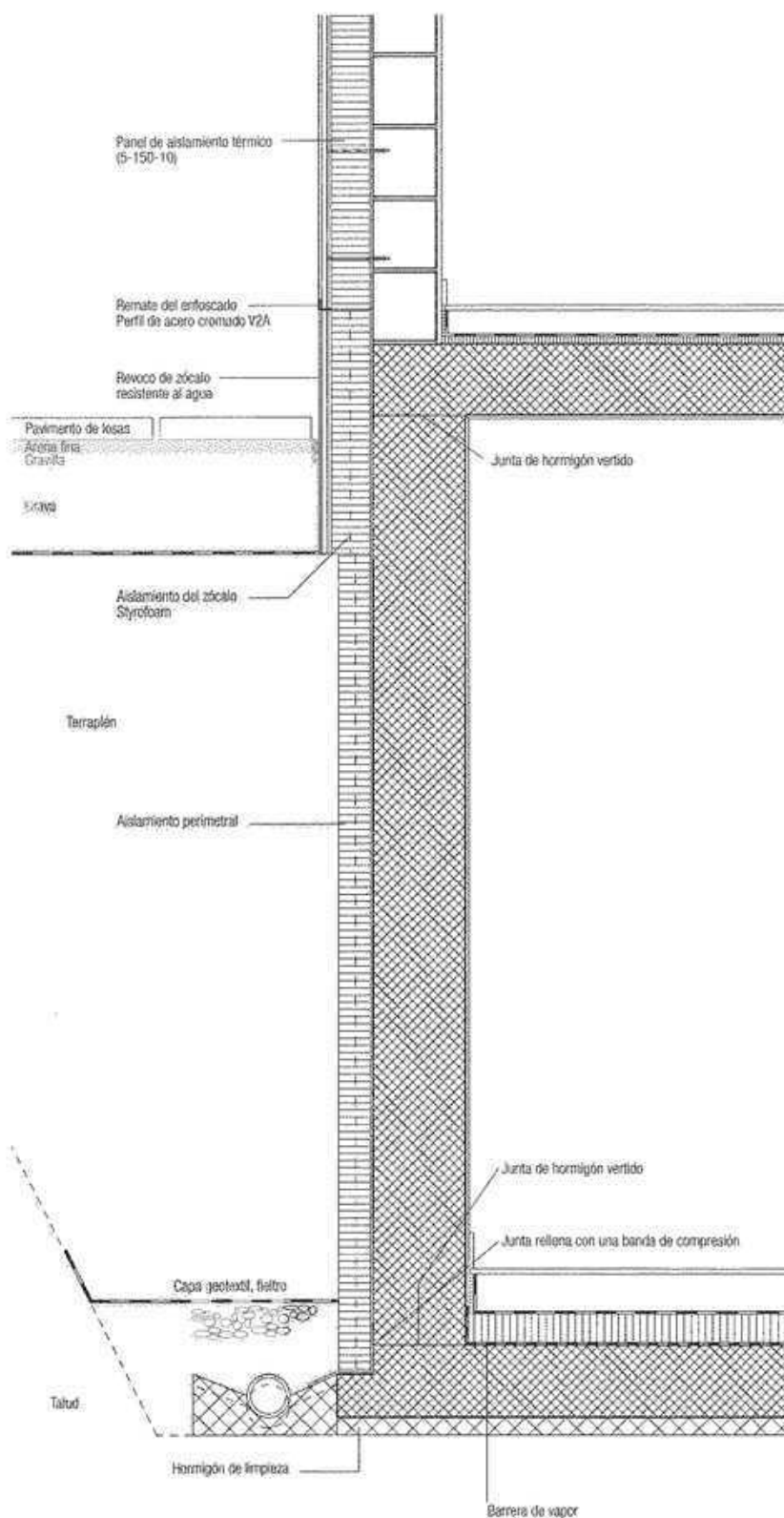
- Paneles filtrantes	60 mm
- Hormigón con aditivos impermeabilizantes (p. ej., relleno Efa)	220 mm
- Aislamiento térmico estanco al vapor de agua (p. ej., Foamglas)	100 mm
- Placas de yeso emplastadas y pintadas	60 mm
Total	440 mm

Composición de la solera en sótano con calefacción

- Losas de piedra natural	15 mm
- Mortero	15 mm
- Suelo radiante	80 mm
- Aislamiento térmico resistente al agua (p. ej., Foamglas)	100 mm
- Barrera contra la humedad (p. ej., Robit)	
- Solera de hormigón	200 mm
- Hormigón de limpieza	50 mm
Total	460 mm

Zócalo con aislamiento exterior, revoco

1:20



Composición de la fachada

Por ejemplo, Wancor-Therm K

- Revoco mineral (coloreado o para pintar)	2 mm
- Capa de agarre (con trama de vidrio embebida en toda su superficie)	4 mm
- Enfoscado mineral	20 mm
- Panel de aislamiento térmico 5-110-10 (tres capas), sujeción con tacos atornillados de plástico	165 mm
- Fábrica de ladrillo 29/17,5/19	175 mm
- Enlucido	15 mm
Total	381 mm

Composición del forjado

- Cemento con fibra de madera (sin juntas)	15 mm
- Mortero	65 mm
- Capa de separación (p. ej., lámina de 1 mm)	
- Aislamiento contra el ruido de impacto	20 mm
- Losa de hormigón	200 mm
- Enlucido	10 mm
Total	310 mm

Composición del muro en sótano con calefacción

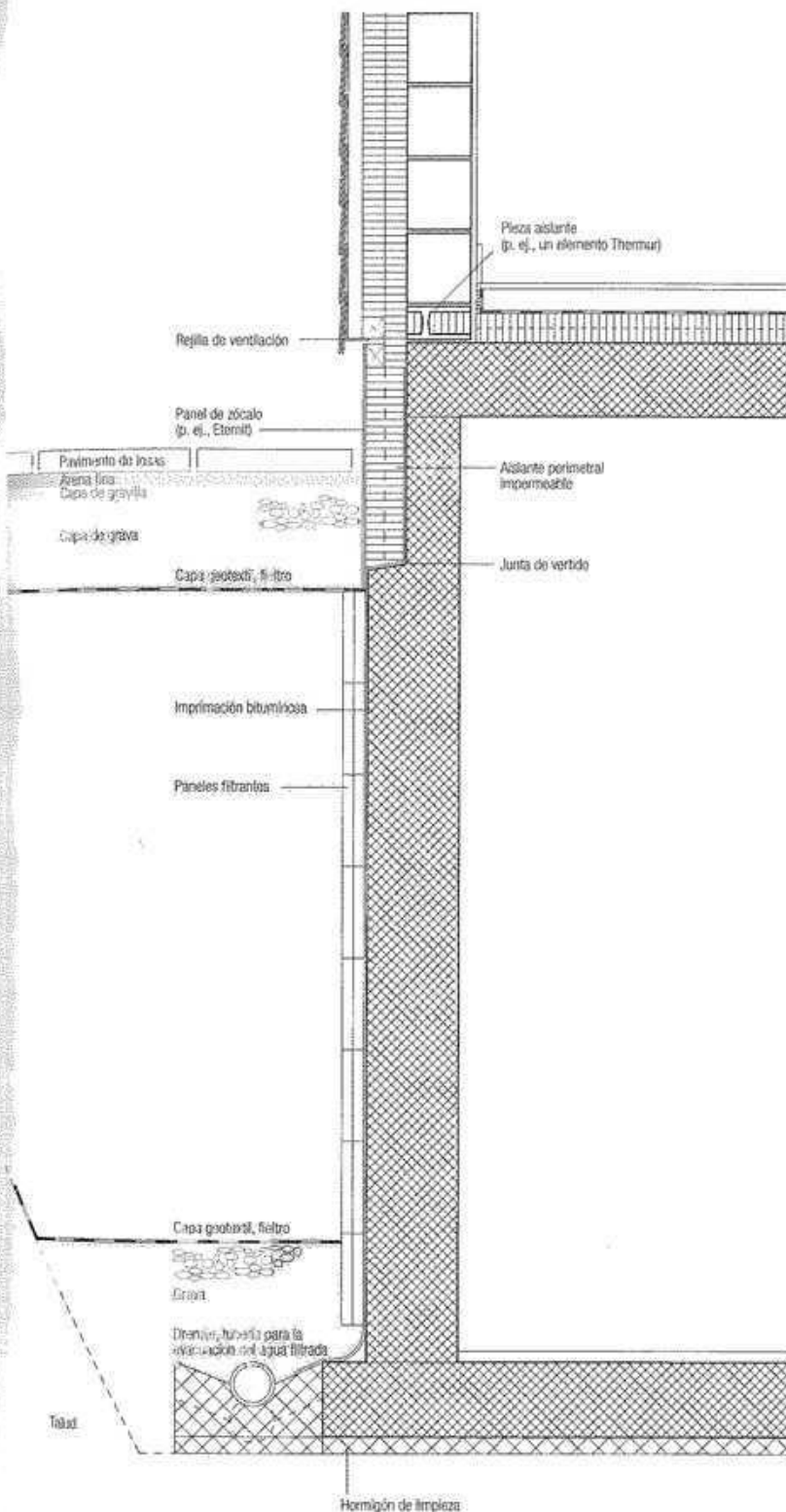
- Recubrimiento de mortero (resistente al agua)	3 mm
- Aislamiento térmico perimetral con ranuras fresadas contra la filtración del agua	100 mm
- Impermeabilizante (p. ej., imprimación bituminosa)	2 mm
- Muro de hormigón vertido in situ	240 mm
- Enlucido	10 mm
Total	355 mm

Composición de la solera en sótano con calefacción

- Cemento con fibra de madera	15 mm
- Mortero	80 mm
- Capa de separación (p. ej., lámina de 1 mm)	
- Aislamiento térmico (p. ej., Floormate 200)	100 mm
- Barrera de humedad (p. ej., Robit)	200 mm
- Solera de hormigón	50 mm
- Hormigón de limpieza	
Total	445 mm

Zócalo con revestimiento exterior ligero

1:20



Composición de la fachada

- Revestimiento de formato mediano y grande (p. ej., paneles de Eternit), cubrición doble con elementos rectangulares de 300/600 mm	10 mm
- Cámara de ventilación (rastres verticales de 40/70 mm)	40 mm
- Aislamiento térmico de 2 x 60 mm, con rastres horizontales de 60/60 mm	150 mm
- Fábrica de ladrillo de 29/17,5/19	175 mm
- Enlucido	15 mm
Total	390 mm

Composición del forjado

- Parqué encolado	15 mm
- Mortero de nivelación	60 mm
- Capa de separación (p. ej., lámina de 1 mm)	
- Aislamiento térmico estanco al vapor de agua (p. ej., Styrofoam)	100 mm
- Losa de hormigón	200 mm
Total	375 mm

Composición del muro en sótano sin calefacción

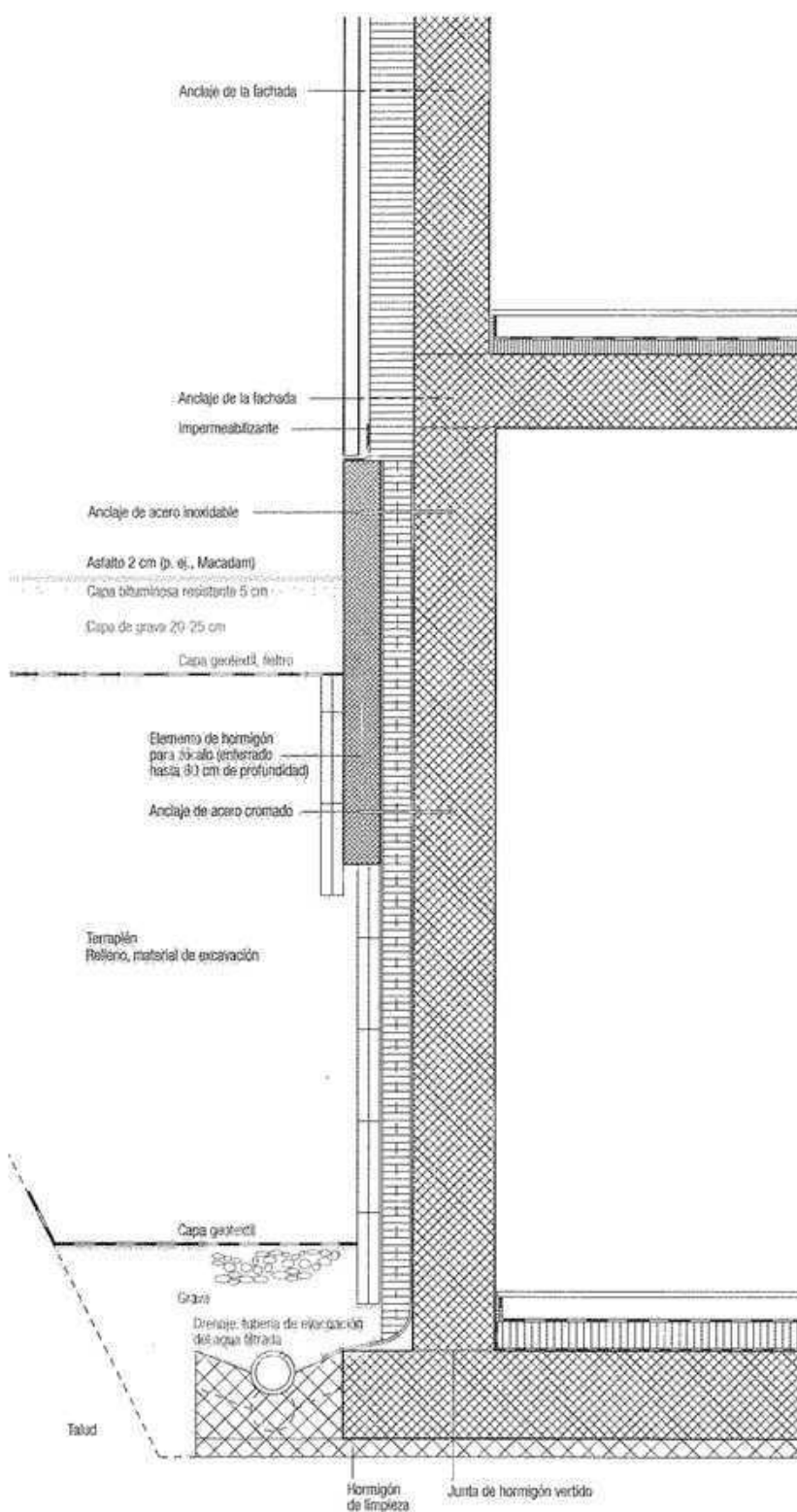
- Paneles filtrantes	60 mm
- Impermeabilizante (p. ej., imprimación bituminosa)	3 mm
- Muro de hormigón vertido in situ	260 mm
Total	323 mm

Composición de solera en sótano sin calefacción

- Capa de cemento	30 mm
- Solera de hormigón rugoso	200 mm
- Hormigón de limpieza	50 mm
Total	280 mm

Zócalo con revestimiento exterior pesado

1:20



Composición de la fachada

- Aplacado (p. ej., piezas de pizarra)	20-40 mm
- Cámara de aire	30 mm
- Aislamiento térmico	150 mm
- Hormigón visto al interior	200 mm
Total	400-420 mm

Composición del forjado

- Parqué encolado	15 mm
- Mortero de nivelación	80 mm
- Capa de separación (p. ej., lámina 1 mm)	
- Aislamiento contra el ruido de impacto	40 mm
- Losa de hormigón	200 mm
Total	335 mm

Composición del muro en sótano con calefacción

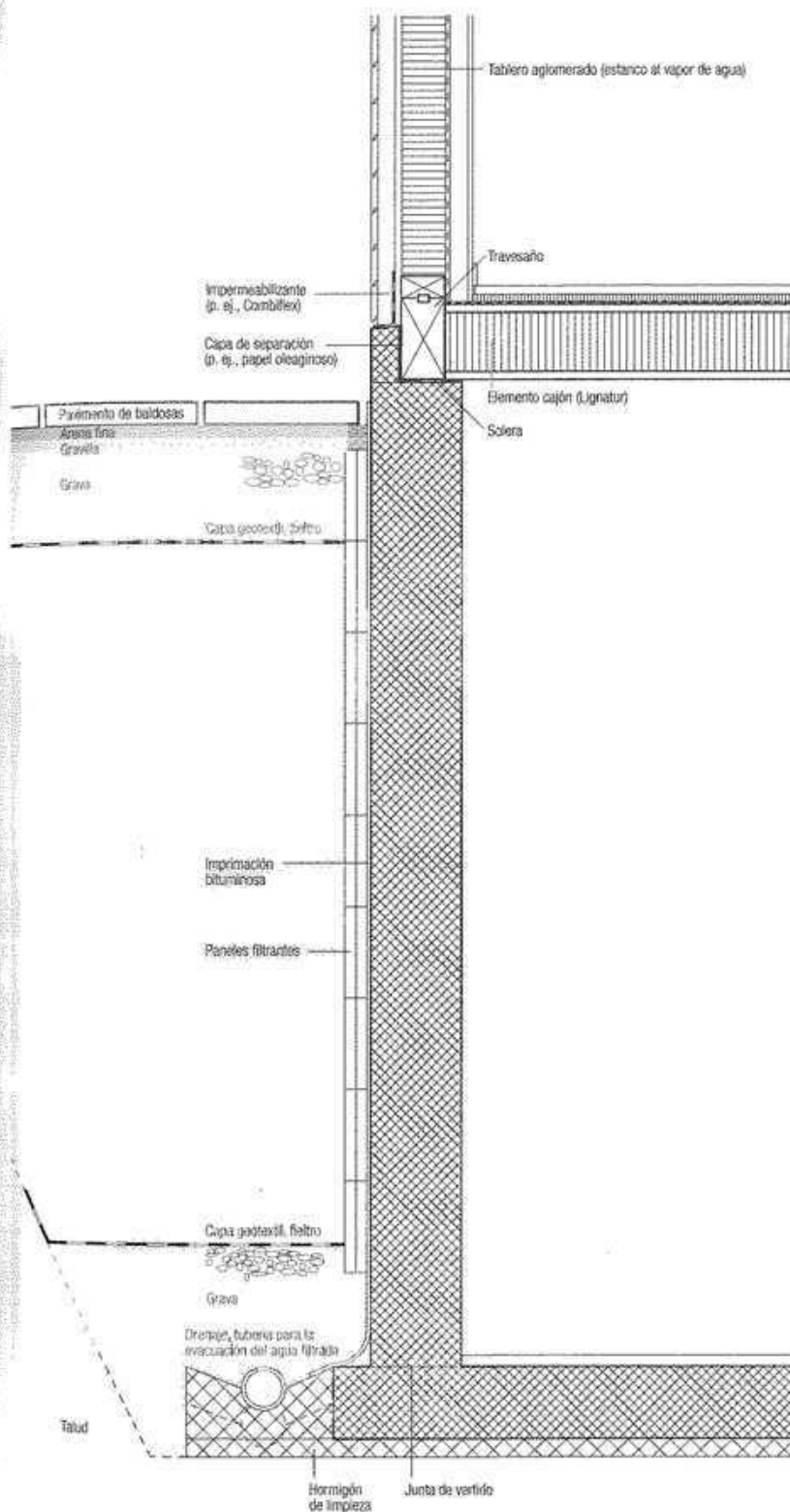
- Elemento prefabricado de hormigón para zócalo	100 mm
- Aislamiento térmico perimetral	100 mm
- Impermeabilizante (p. ej., imprimación bituminosa)	2 mm
- Muro de hormigón vertido in situ	220 mm
Total	422 mm

Composición de la solera en sótano con calefacción

- Parqué encolado	15 mm
- Mortero de nivelación	80 mm
- Capa de separación (p. ej., lámina de 1 mm)	
- Aislamiento térmico (p. ej., Foamglas)	100 mm
- Barrera contra la humedad (p. ej., Robit)	
- Solera de hormigón	240 mm
- Hormigón de limpieza	50 mm
Total	485 mm

Zócalo para un entramado de madera

1:20



Composición de la fachada

- Tablazón horizontal	24 mm
- Rastrel vertical (ventilación)	40 mm
- Panel bituminado de fibra blanda (estanco al viento)	18 mm
- Pie derecho, aislamiento térmico (p. ej., Isofloc)	150 mm
- Tablero aglomerado (estanco al vapor de agua)	12 mm
- Rastrel vertical (instalaciones)	50 mm
- Panel de fibra de madera con aglutinante de cemento (p. ej., Fermacell) o tablero de fibras y yeso (p. ej., Sasmox)	12 mm
Total	306 mm

Composición del forjado

- Tableros machihembrados de tres capas, flotantes	27 mm
- Aislamiento contra el ruido de impacto	20 mm
- Barrera de vapor	
- Elemento cajón Lignatur, capa inferior vista	220 mm
Total	267 mm

Composición del muro en sótano sin calefacción

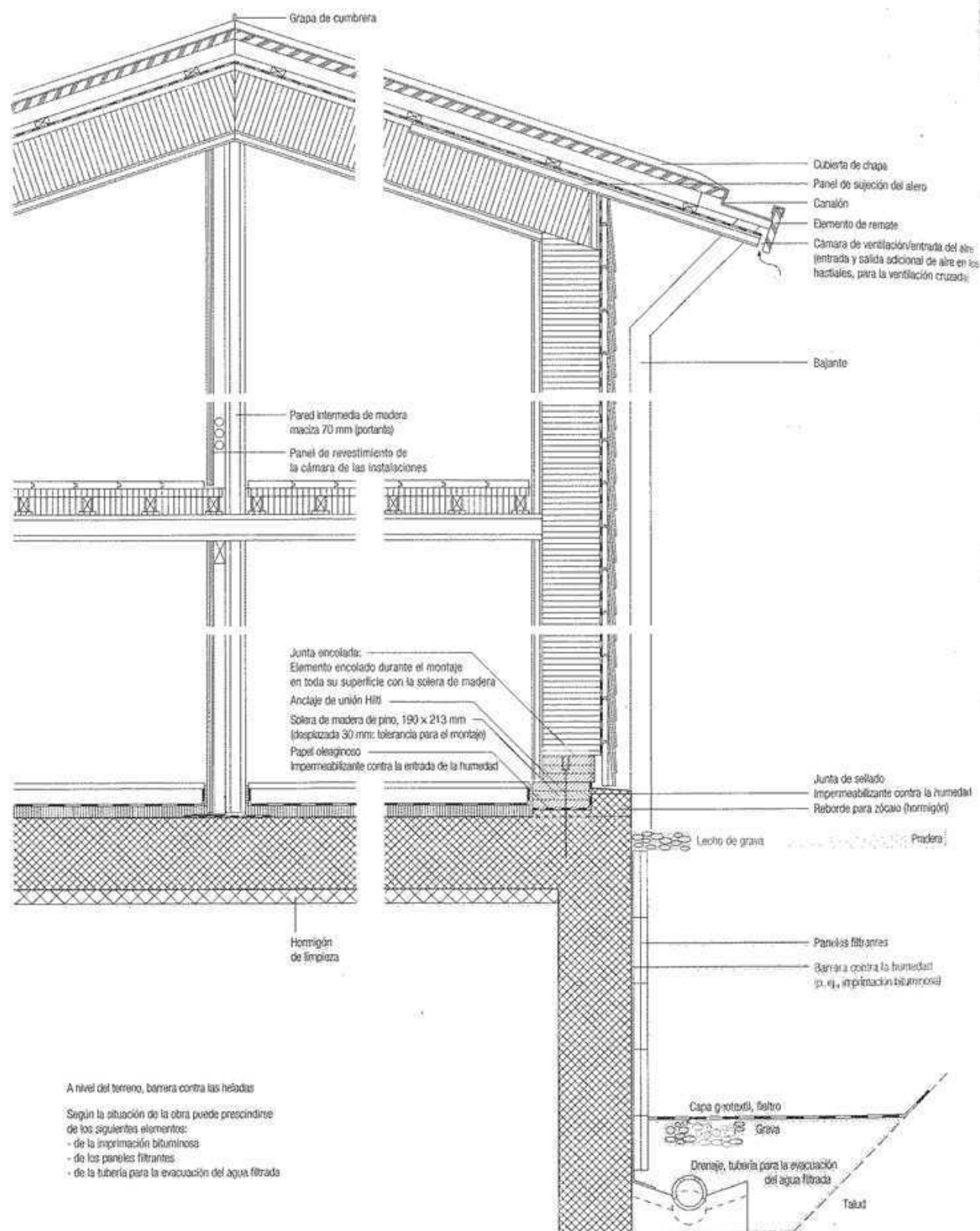
- Paneles filtrantes	60 mm
- Impermeabilizante (p. ej., imprimación bituminosa)	2 mm
- Muro de hormigón vertido in situ	240 mm
Total	302 mm

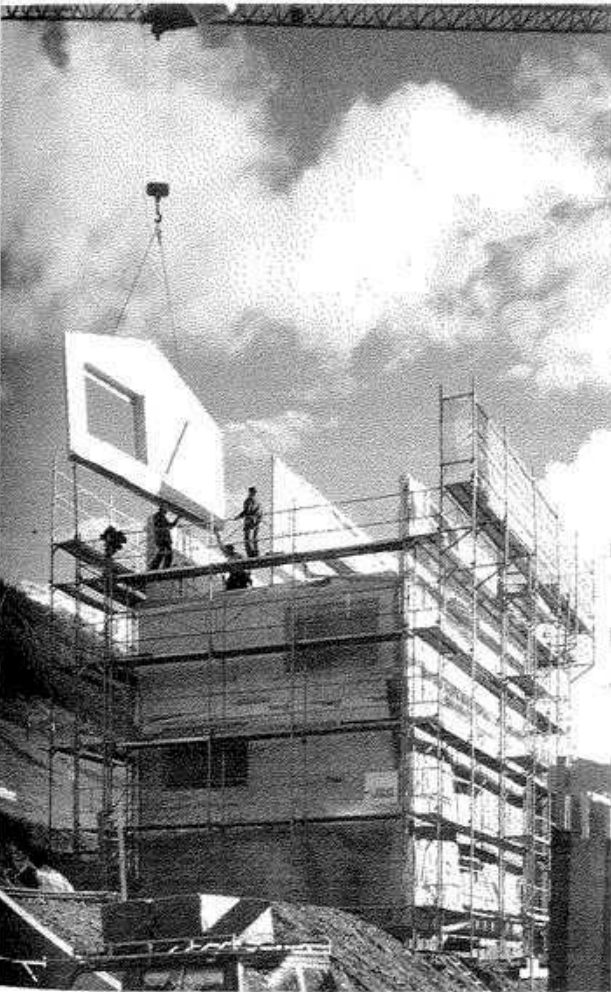
Composición de la solera en sótano sin calefacción

- Cemento	30 mm
- Losa de hormigón	200 mm
- Hormigón de limpieza	50 mm
Total	280 mm

Sistema constructivo de armazón con paneles de madera maciza: zócalo-cubierta

1:20





Figs. 1 y 2: Sistema constructivo de armazón, con paneles de madera maciza
Arriba: la casa acabada con el revestimiento de ripas. Abajo: el montaje de los paneles
Bearth & Deplazes: casa Bearth-Candinas, Sumvitg, Suiza, 1998

Composición de la cubierta

- Cubierta de chapa	0,6 mm
- Panel de cubierta	30 mm
- Rastres 30/50 mm (cámara de ventilación)	80 mm
- Listoncillos para la ventilación transversal 30/50 mm	30 mm
- Lámina impermeable	3 mm
- Panel blando de fibra	22 mm
- Pares 40/200 mm, con aislamiento térmico entre ellos	200 mm
- Paneles madera maciza	35 mm
Total	400 mm

Composición del forjado, planta 1

- Pavimento de tarima maciza (machihembrada, con tornillos ocultos)	24 mm
- Listones 40/30 mm (con aislamiento intermedio)	30 mm
- Rastres 50/30 mm (con aislamiento intermedio)	50 mm
- Banda elástica como capa de separación bajo los rastres (aislamiento contra el ruido de impacto)	10 mm
- Paneles de madera maciza (luz de 3 m)	90 mm
Total	204 mm

Composición de la pared

- Ripas de alerce (sin ventilación), tres capas	20 mm
- Entablado de pino (machihembrado), horizontal	20 mm
- Cartón estanco al viento	
- Aislamiento térmico entre los pies derechos	200 mm
- Paneles de madera maciza (portantes, estancos al vapor gracias al encolado)	35 mm
Total	275 mm

Composición del forjado de la planta baja

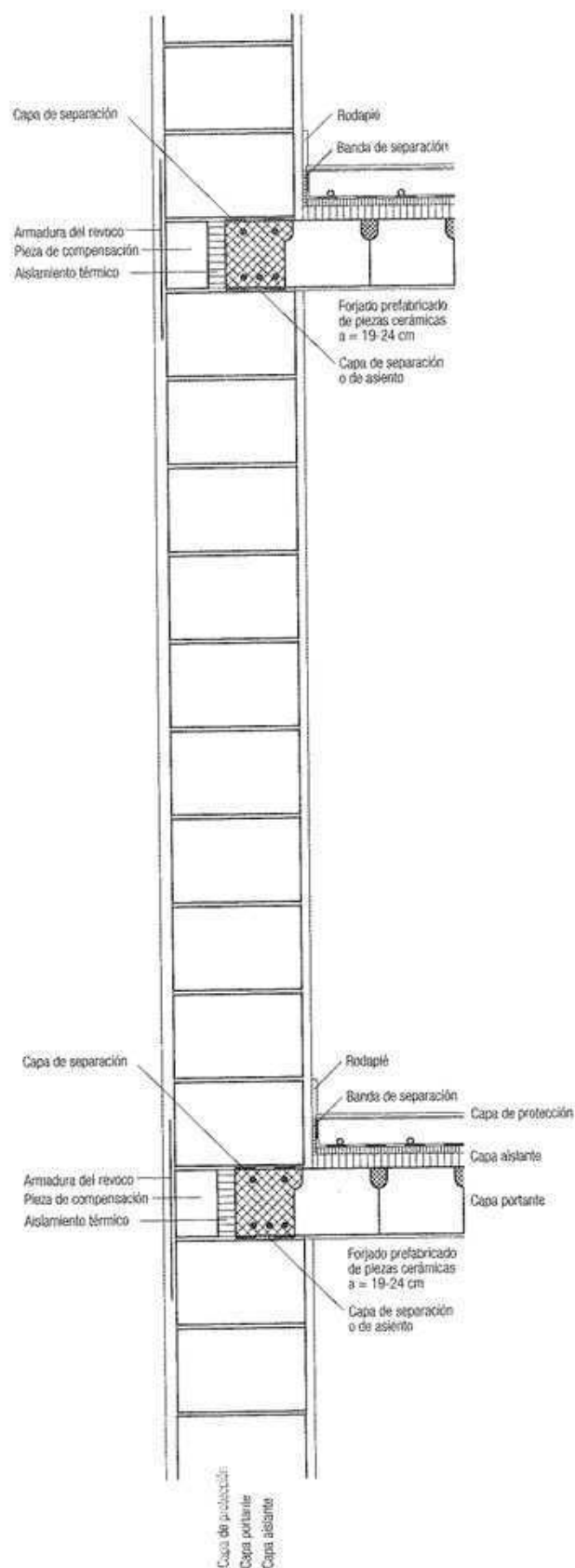
- Baldosas de clinker	30 mm
- Suelo radiante	60 mm
- Capa de separación (fieltro)	2 mm
- Aislamiento contra el ruido de impacto	40 mm
- Losa de hormigón armado	250 mm
- Hormigón de limpieza	50 mm
Total	432 mm

Ejemplo:

Bearth & Deplazes: casa Bearth-Candinas,
Sumvitg, Suiza, 1998

Muro de fábrica de una hoja, con revoco

1:20



Sección transversal

Composición de la fachada

- Revoco exterior	35 mm
- Fábrica de una capa 36,5/24,8/23,8	365 mm
- Enlucido	25 mm
Total	425 mm

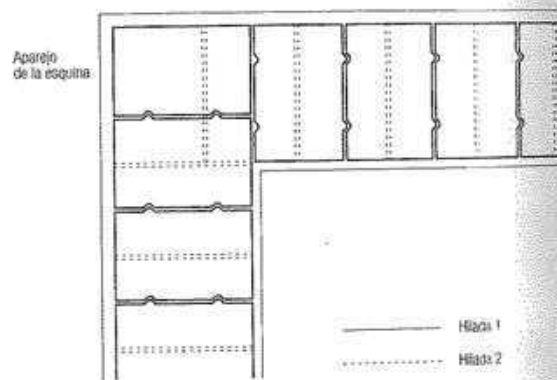
Composición del forjado

- Baldosas de clinker	10 mm
- Mortero	5 mm
- Suelo radiante flotante	80 mm
- Capa de separación (p. ej., lámina de 1 mm)	
- Aislamiento contra el ruido de impacto	20 mm
- Aislamiento térmico	40 mm
- Forjado prefabricado de elementos cerámicos con zuncho perimetral (sistema dispuesto en una dirección)	195 mm
- Enlucido	10 mm
Total	360 mm

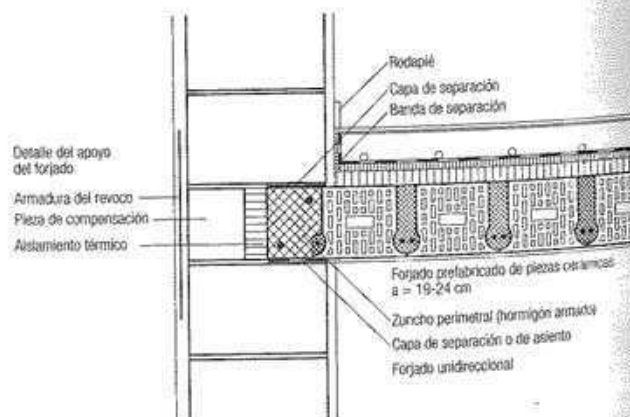
Ejemplo:

Giuliani & Hänger y Doetsch & Roth:

Edificio de viviendas, Erlenbach, Suiza, 1993-1996



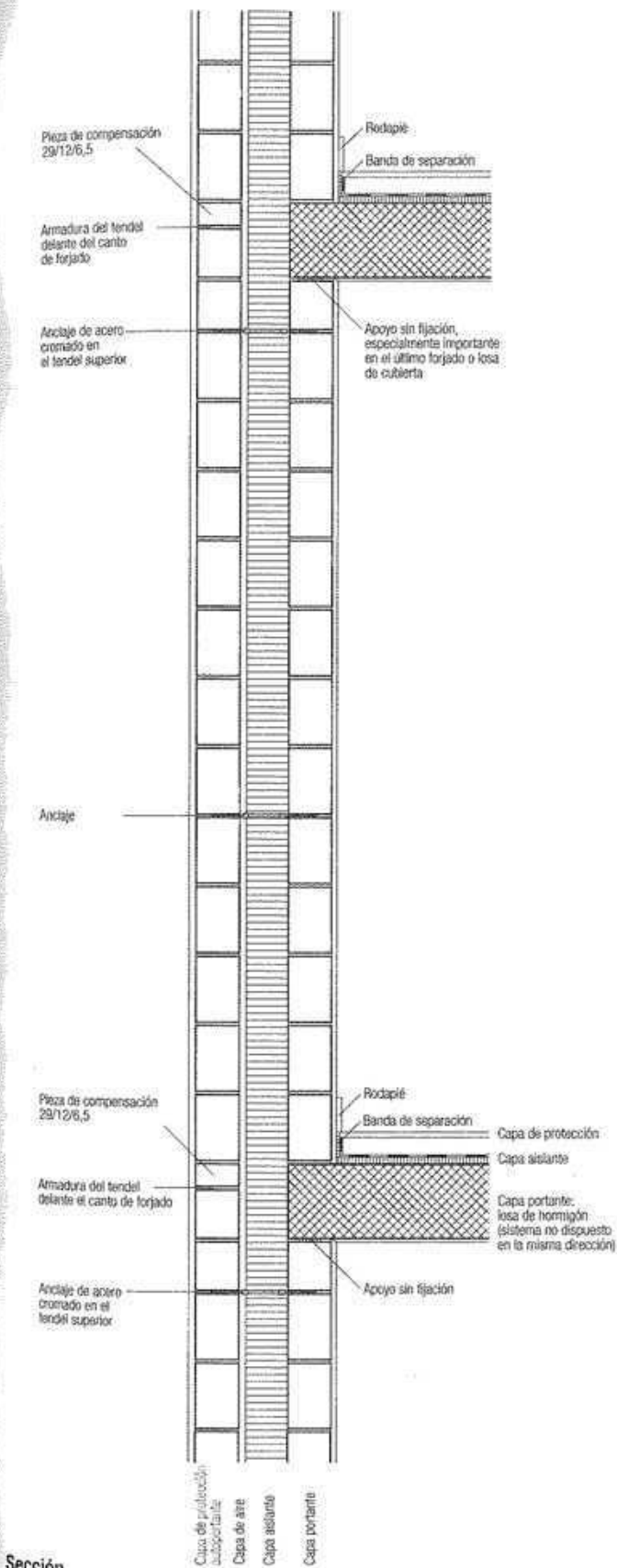
Planta



Sección longitudinal

Muro de fábrica de dos hojas, con revoco

1:20



Sección

Composición de la fachada

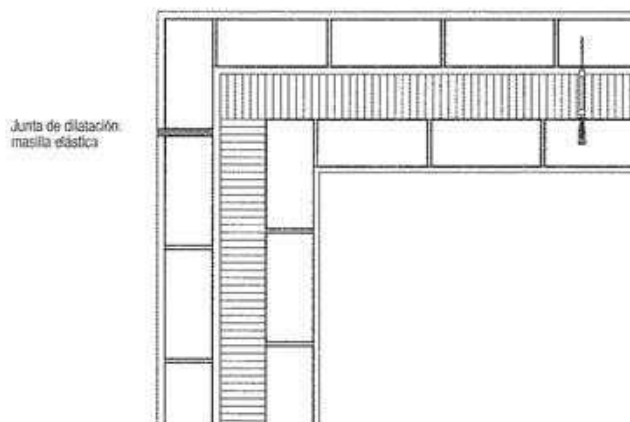
- Revoco	20 mm
- Fábrica de ladrillo 29/12,5/19	125 mm
- Cámara de aire (tolerancia constructiva)	20 mm
- Aislamiento térmico (p. ej., lana mineral)	150 mm
- Fábrica de ladrillo 29/12,5/19	125 mm
- Enlucido	15 mm
Total	455 mm

Composición del forjado

- Parqué encolado (parqué y cola)	15 mm
- Suelo radiante flotante	60 mm
- Capa de separación (p. ej., lámina de 1 mm)	
- Aislamiento contra el ruido de impacto	20 mm
- Losa de hormigón (grosor variable en función de las solicitaciones, sistema no dispuesto en la misma dirección)	210 mm
- Enlucido	10 mm
Total	315 mm



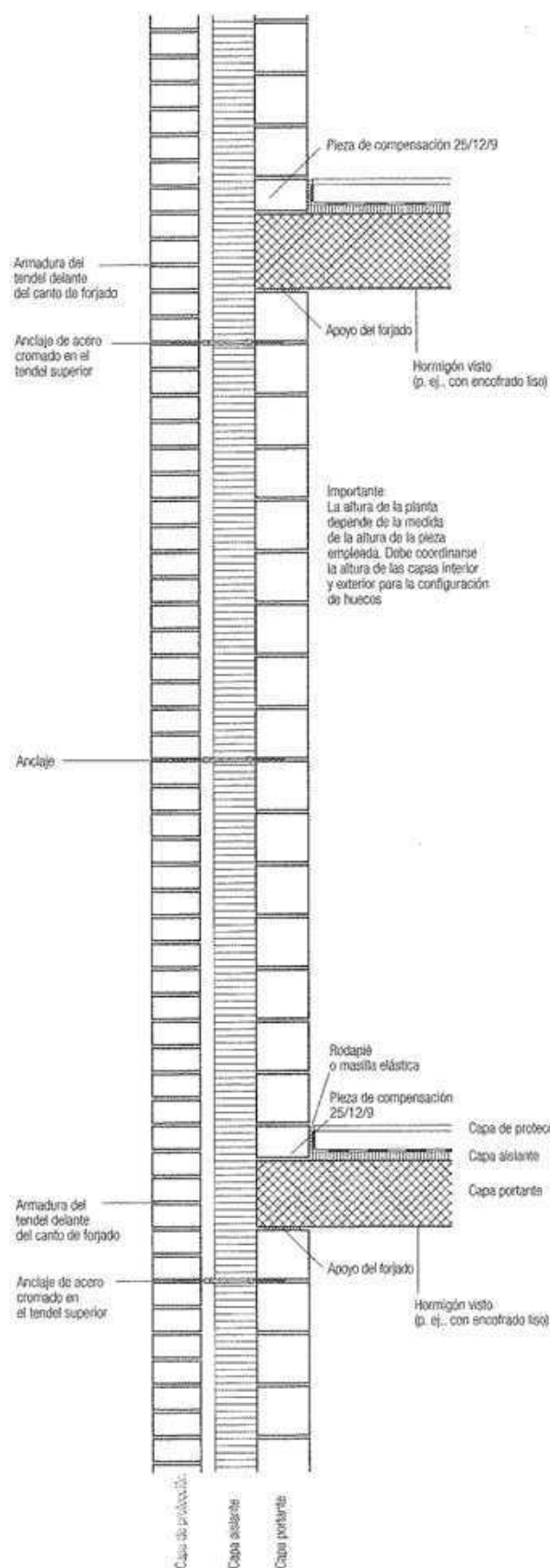
Planta de la hilada 1



Planta de la hilada 2

Muro de fábrica visto

1:20



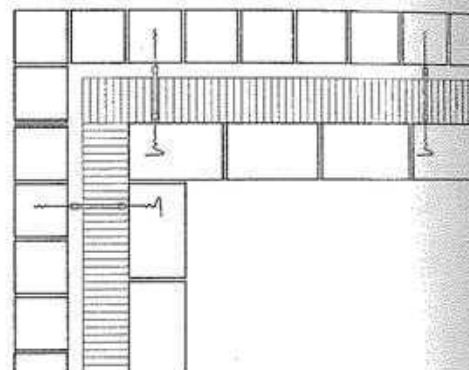
Sección

Composición de la fachada

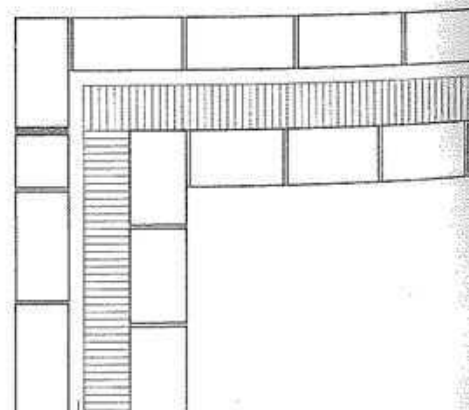
- Fábrica de ladrillo, capa 1: 29/14/6,55	
Fábrica de ladrillo, capa 2: 14/14/6,5	140 mm
(variantes: diversas piezas vistas, bloques o elementos de hormigón, etc.)	
- Cámara de aire, como mínimo	40 mm
- Aislamiento térmico (p. ej., lana mineral)	150 mm
- Fábrica de ladrillo 25/15/14	150 mm
Total	480 mm

Composición del forjado

- Parqué encolado (parqué y cola)	15 mm
- Suelo radiante flotante	60 mm
- Capa de separación (p. ej., lámina de 1 mm)	
- Aislamiento contra el ruido de impacto	20 mm
- Losa de hormigón visto	200 mm
Total	295 mm

Junta de dilatación:
masilla elásticaSeparador de acero cromado
anclado en la fábrica

Planta de la hilada 1

Junta de dilatación:
masilla elásticaCámara de ventilación, con un
mínimo 40 mm, que tiene que
permanecer abierta en sentido vertical

Planta de la hilada 2

Muro de hormigón visto con aislamiento interior

1:20

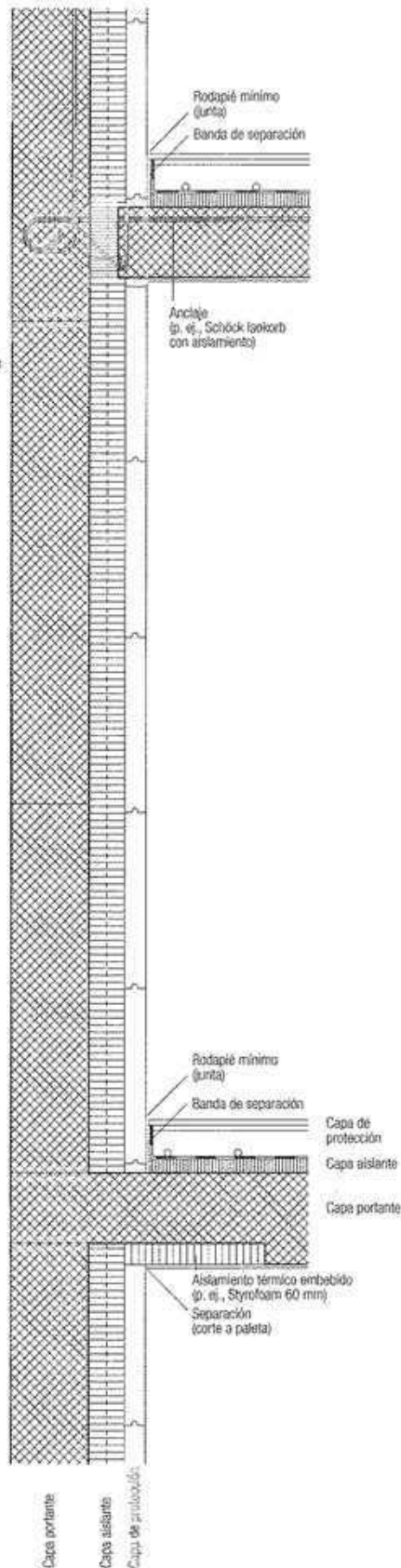
Variante 1:
forjado y muro
unidos con un anclaje

Junta de hormigón
dependiente de la altura
del dintel de las ventanas,
conexión vertical de la armadura

Junta de hormigón
dependiente de la altura
del dintel de las ventanas,
conexión vertical
de la armadura

Variante 2:
forjado y muro unidos
rígidamente

Particularidad: frente
del forjado visto al exterior



Composición de la fachada

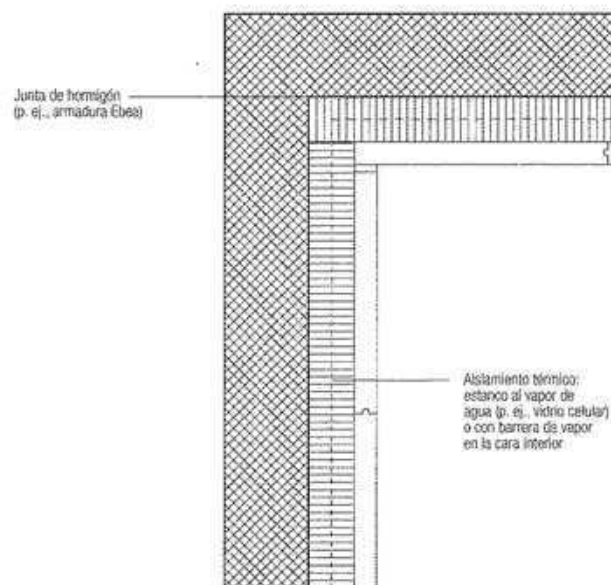
- Hormigón visto coloreado	220 mm
- Aislamiento térmico de vidrio celular, estanco al vapor de agua (p. ej., Foamglas)	150 mm
- Paneles de cartón yeso, emplastados y pintados	60 mm
Total	430 mm

Composición del forjado

- Baldosas de piedra natural	15 mm
- Mortero de agarre	15 mm
- Suelo radiante (flotante)	80 mm
- Capa de separación (p. ej., lámina de 1 mm)	
- Aislamiento contra el ruido de impacto	40 mm
- Losa de hormigón	200 mm
- Enlucido en techo	10 mm
Total	360 mm

Ejemplo:

Diener & Diener: edificio de viviendas y oficinas
en Steinen vorstadt, Basilea, Suiza, 1995

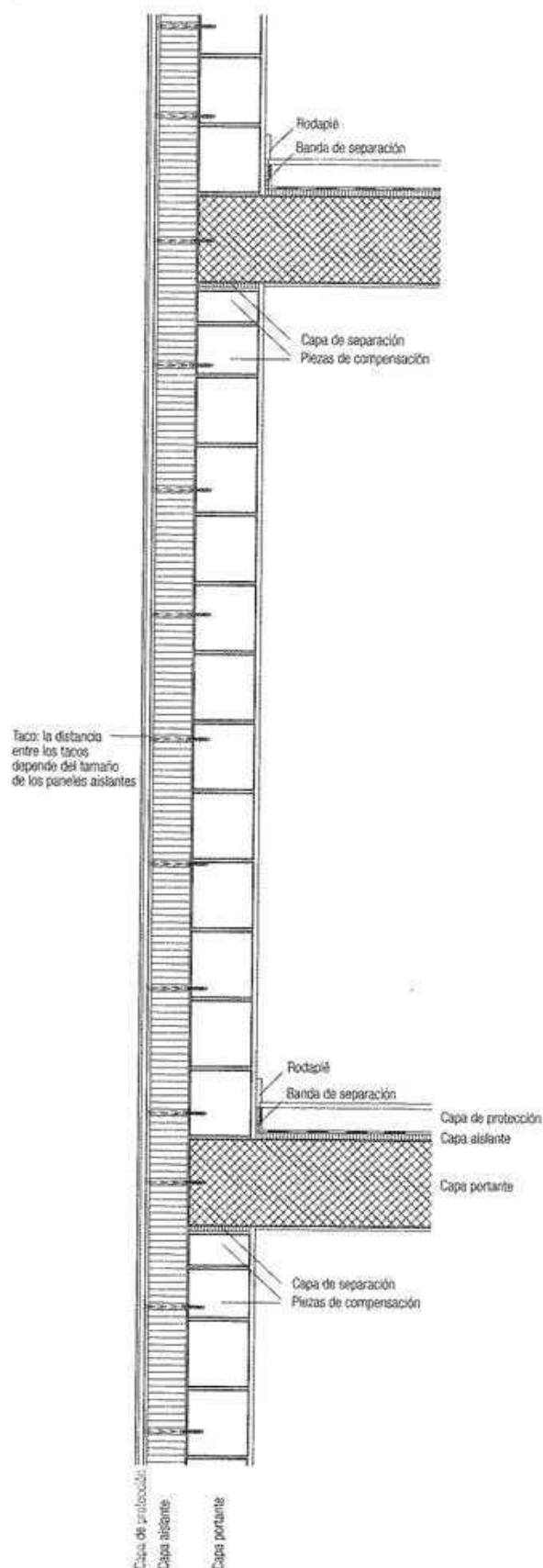


Sección

Planta

Muro con aislamiento exterior, con revoco

1:20



Sección

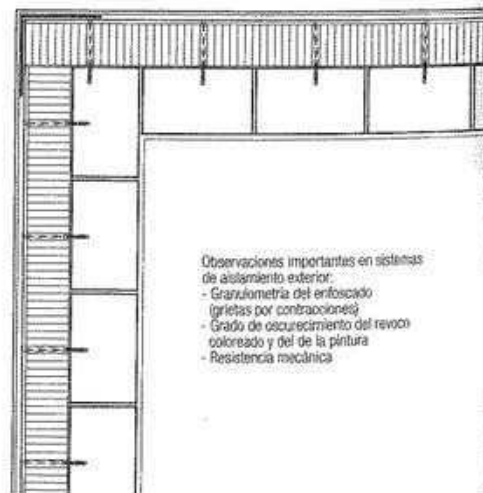
Composición de la fachada

P. ej., Wancor-Therm K,	
revoco mineral (coloreado o para pintar)	2 mm
- Capa de agarre (con armadura textil de fibra de vidrio, embebida totalmente en la capa de agarre)	4 mm
- Enfoscado mineral	20 mm
- Aislamiento térmico 5/110/10 (tres capas) Fijación con tacos de plástico	165 mm
- Muro de fábrica de ladrillo 29/17,5/19	175 mm
- Enlucido	15 mm
Total	381 mm

Composición del forjado

- Pavimento continuo de cemento de fibras de madera	15 mm
- Mortero de agarre	65 mm
- Capa de separación (p. ej., lámina de 1 mm)	
- Aislamiento contra el ruido de impacto	20 mm
- Losa de hormigón	200 mm
- Enlucido en techo	10 mm
Total	310 mm

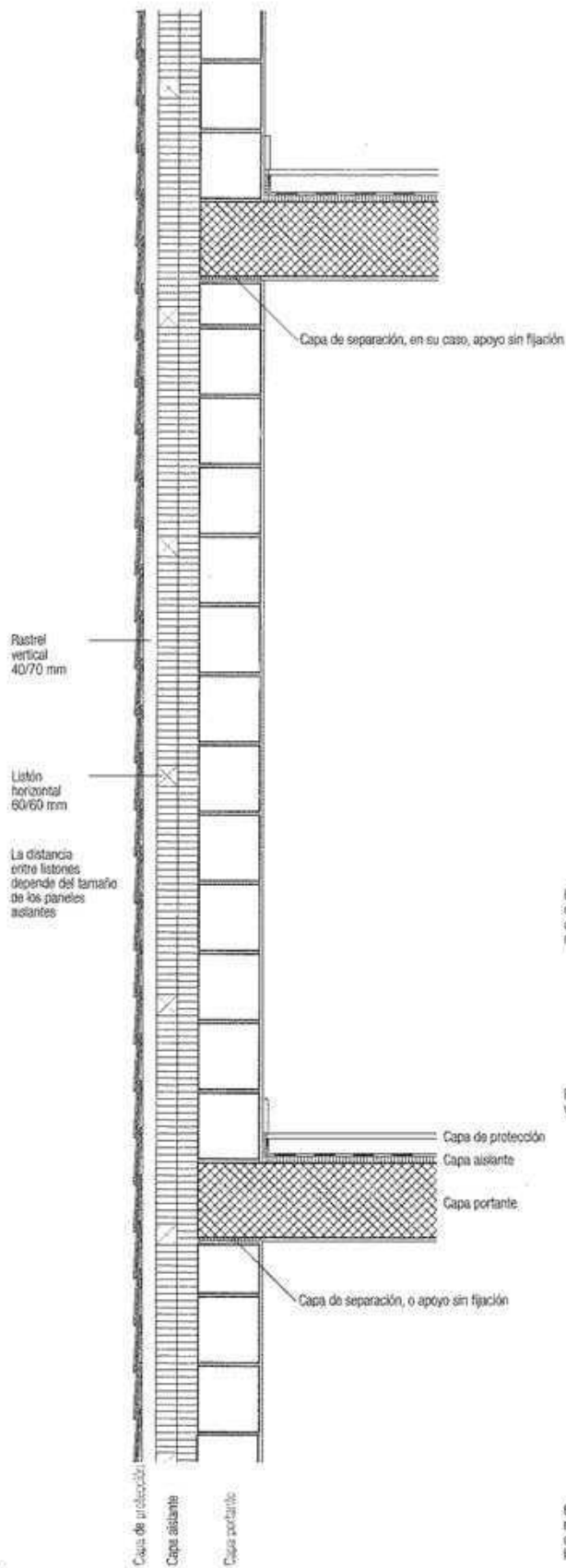
Armadura adicional para la protección de las esquinas



Planta

Muro con revestimiento exterior, ligero

1:20



Sección

Composición de la fachada

- Revestimiento de elementos de tamaño mediano o grande; p. ej., placas de Eternit, cubrición doble con placas rectangulares 300/600/5 mm 10 mm
- Variantes*
- Entablado de piezas machihembradas 24 mm*
- Paneles: placas, p. ej., de chapa, Eternit, madera*
- Ventilación de la fachada (rastreles verticales 40/70 mm) 40 mm
- Variantes con revestimiento de piezas pequeñas: (Eternit cubrición triple, revestimientos cerámicos)*
- Rastreles horizontales 30/50 mm*
- Aislamiento térmico 2 x 60 mm colocado entre listones cruzados 150 mm
- Muro de fábrica de ladrillo 29/17,5/19) 175 mm
- Revestimiento interior (entucido) 15 mm
- Total 390 mm**

Composición del forjado

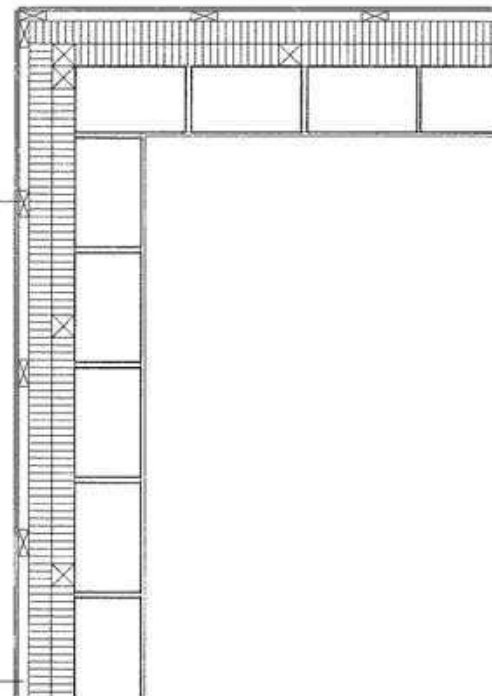
- Parqué encolado 15 mm
- Mortero de agarre 60 mm
- Capa de separación (p. ej., lámina de 1 mm)
- Aislamiento contra el ruido de impacto 20 mm
- Losa de hormigón 200 mm
- Total 295 mm**

Importante: la disposición de los rastreles (verticales, en algunos casos también horizontales), depende del tamaño de los elementos del revestimiento

Debe tenerse cuidado en la configuración del revestimiento en la esquina

Rastreles verticales 40/70

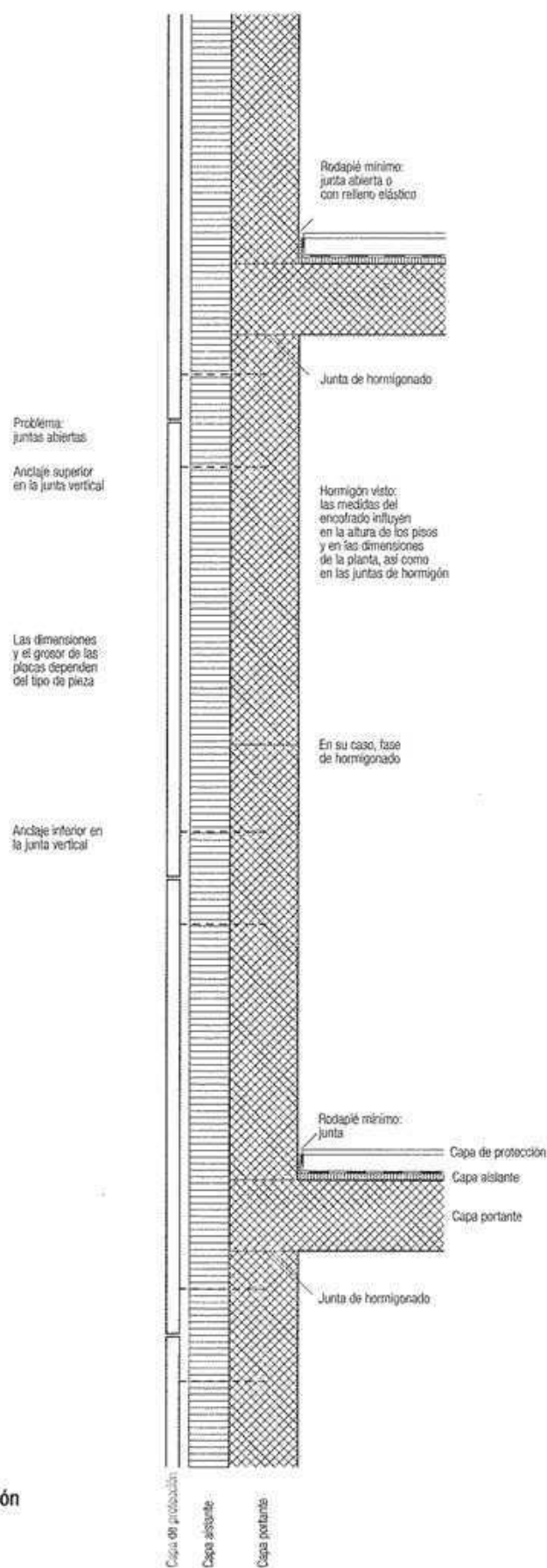
Cámara de aire: mínimo 40 mm, debe permitirse siempre la circulación vertical de aire



Planta

Muro con revestimiento exterior, pesado

1:20



Composición de la fachada

- Aplacado de piezas (p. ej., pizarra)	20-40 mm
- Cámara de ventilación	30 mm
- Aislamiento térmico	150 mm
- Muro de hormigón visto	200 mm
Total	420 mm

Composición del forjado

- Parqué encolado (parqué y cola)	15 mm
- Mortero de agarre	60 mm
- Capa de separación (p. ej., lámina de 1 mm)	
- Aislamiento acústico frente a ruido de impacto	20 mm
- Losa de hormigón	200 mm
Total	295 mm

Nota importante para revestimientos no autoportantes:

- Cuelgue con anclajes portantes y de sujeción

Nota importante para revestimientos autoportantes:

- Anclaje para estabilización (ejemplo de referencia: Beirth & Dopfner, edificio de viviendas in den Lachen, Chur; elementos prefabricados de hormigón visto para fachadas)

Esquina, p. ej., piedra cortada a inglete

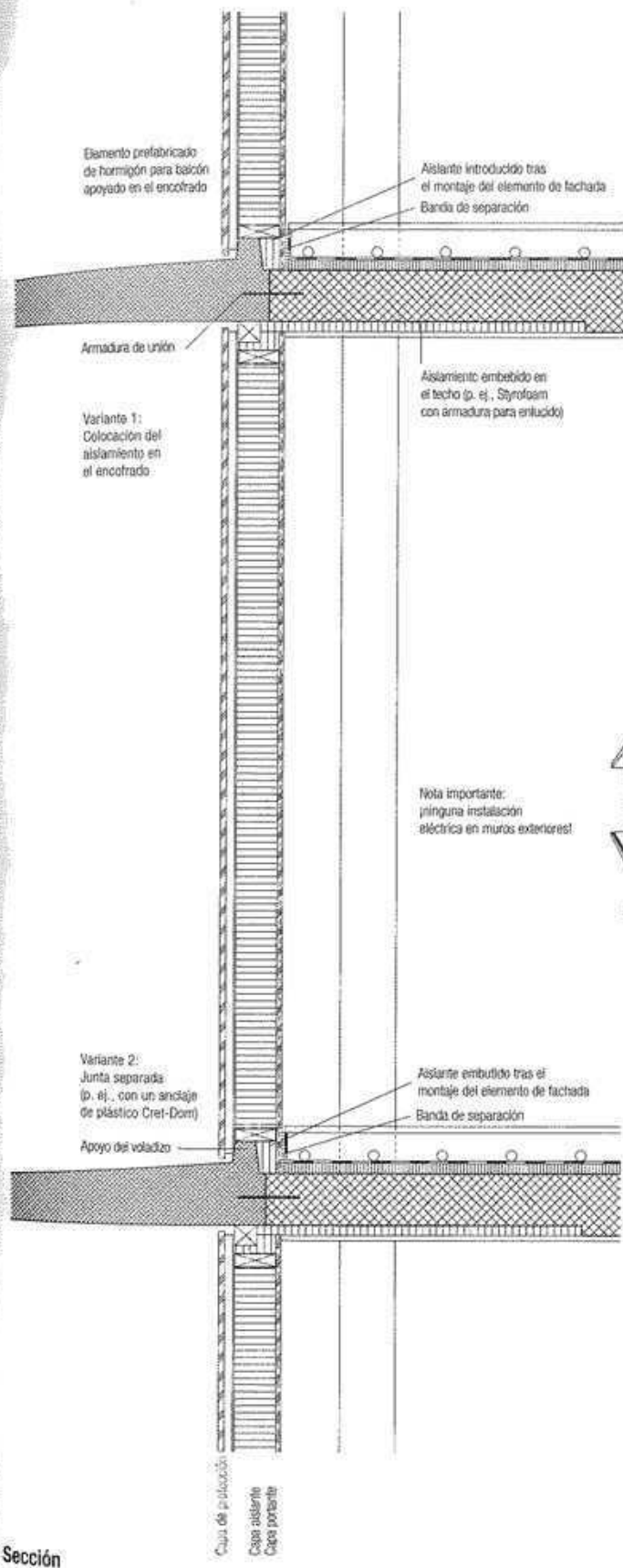
Anclaje para junta horizontal

Anclaje para junta vertical, embebido en el hormigón



Fachada no portante

1:20



Composición de la fachada (entramado de madera)

- Tableros reforzados de fibrocemento (p. ej., Duripanel para pintar)	20 mm
- Cámara de aire ventilada	25 mm
- Tablero de fibras, duro	8 mm
- Aislamiento térmico (lana de celulosa, p. ej., Isofluc)	150 mm
- Paneles de madera conglomerada (barrera de vapor)	15 mm
Total	218 mm

Composición del forjado

- Parqué encolado	20 mm
- Suelo radiante	80 mm
- Capa de separación (p. ej., lámina de 1 mm)	
- Aislamiento contra el ruido de impacto	30 mm
- Losa de hormigón	180 mm
- Aislamiento térmico (p. ej., Styrofoam)	30 mm
- Enlucido en techo	10 mm
Total	350 mm

Ejemplo

Morger & Degelo: edificio de viviendas en Müllheimerstrasse, Basilea, Suiza, 1993

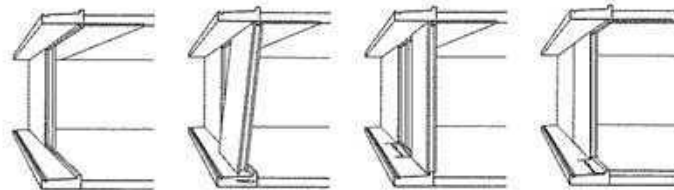
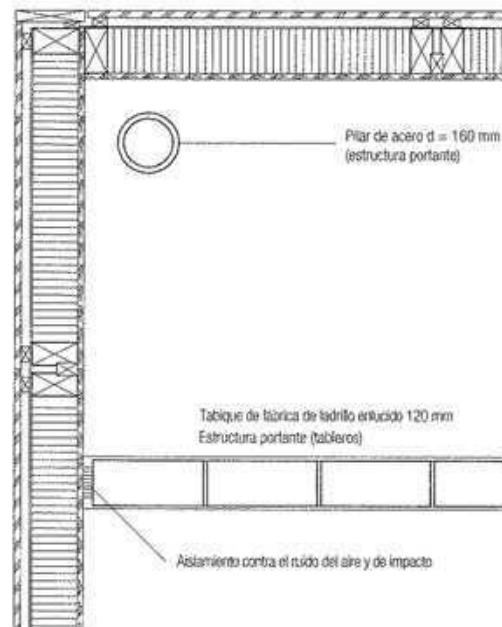


Fig. 1: Colocación y montaje de los elementos de la fachada

Remate de esquina

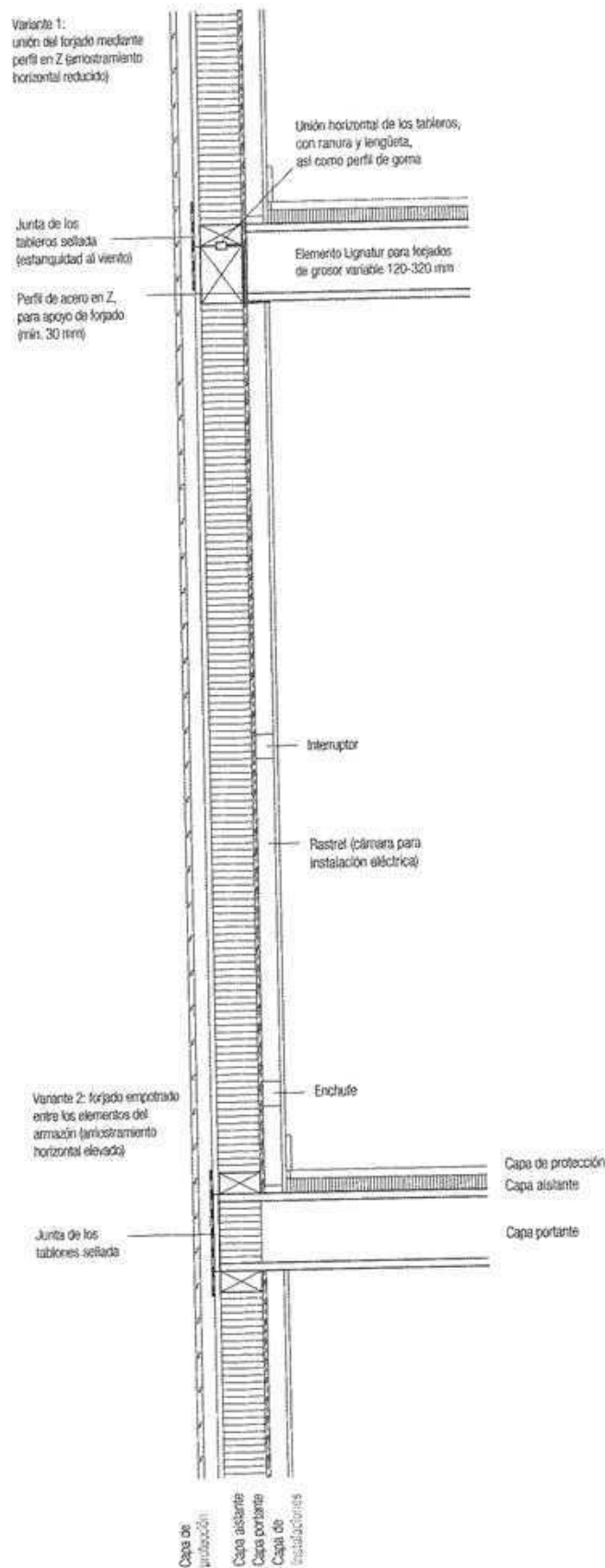


Planta

Sección

Fachada de entramado de madera

1:20



Sección

Composición de la fachada

- Entablado horizontal	24 mm
- Rastres verticales	40 mm
- Tablero de fibras bituminoso (estanco al viento)	18 mm
- Pies derechos, aislamiento térmico (lana de celulosa, p. ej., Isofloc)	150 mm
- Paneles de madera aglomerada (barrera de vapor)	12 mm
- Rastres verticales (instalaciones)	50 mm
- Tablero de fibrocemento o de cartón yeso	12 mm
Total	306 mm

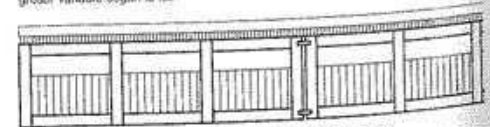
Composición del forjado

- Panel de tres capas, flotante, con ranura y lengüeta	27 mm
- Aislamiento contra el ruido de impacto	40 mm
- Elemento hueco Lignatur, cara inferior vista	220 mm
Total	287 mm



Planta

Elemento Lignatur de 100 mm de anchura, aislado o sin aislar, grosor variable según la luz

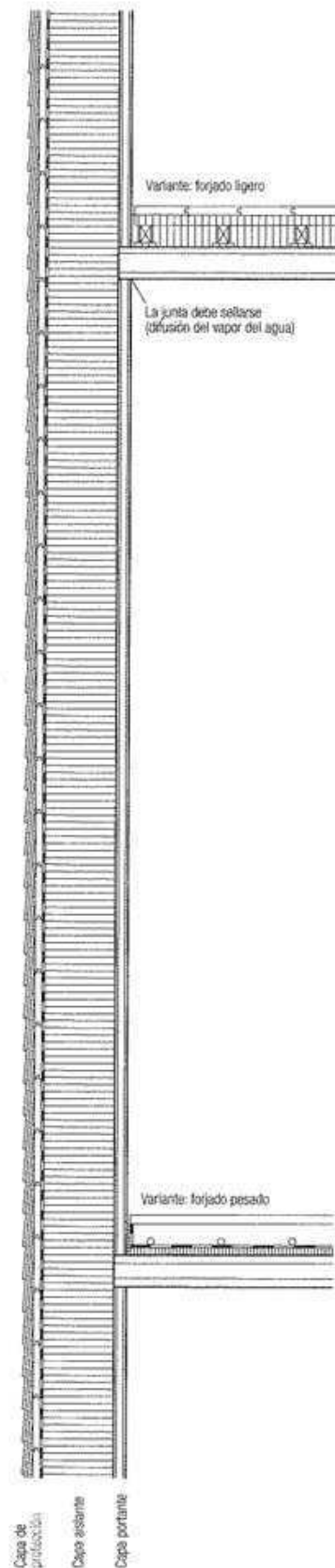


Unión de dos elementos con lengüeta de madera aglomerada

Esquema de forjado

Fachada con paneles de madera maciza

1:20



Composición de la fachada

- Ripias de alerce (sin ventilación), 3 capas	20 mm
- Entablado de pino (machihembrado), horizontal	20 mm
- Cartón oleaginoso	
- Aislamiento térmico entre los elementos estructurales de madera maciza	200 mm
- Paneles de madera maciza (portantes, con barrera de vapor gracias al encolado)	35 mm
Total	275 mm

Composición de forjado ligero

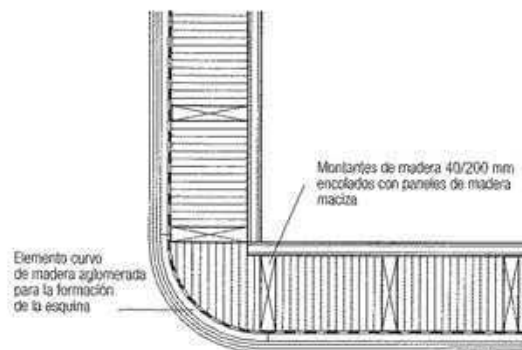
- Pavimento de tarima maciza (machihembradas, con tornillos ocultos)	24 mm
- Listones 40/30 mm (con aislamiento intermedio)	30 mm
- Rastres 50/30 mm (con aislamiento intermedio)	50 mm
- Banda elástica como capa de separación bajo los rastres (aislamiento contra el ruido de impacto)	10 mm
- Paneles de madera maciza (luz de 3 m)	90 mm
Total	204 mm

Composición de forjado pesado

- Baldosas de clinker	30 mm
- Suelo radiante	60 mm
- Capa de separación (fieltro)	2 mm
- Aislamiento contra el ruido de impacto	40 mm
- Paneles de madera maciza (luz de 3 m)	90 mm
Total	222 mm

Ejemplo:

Bearth & Deplazes: casa Bearth-Candinas, Sumvitg, Suiza, 1998

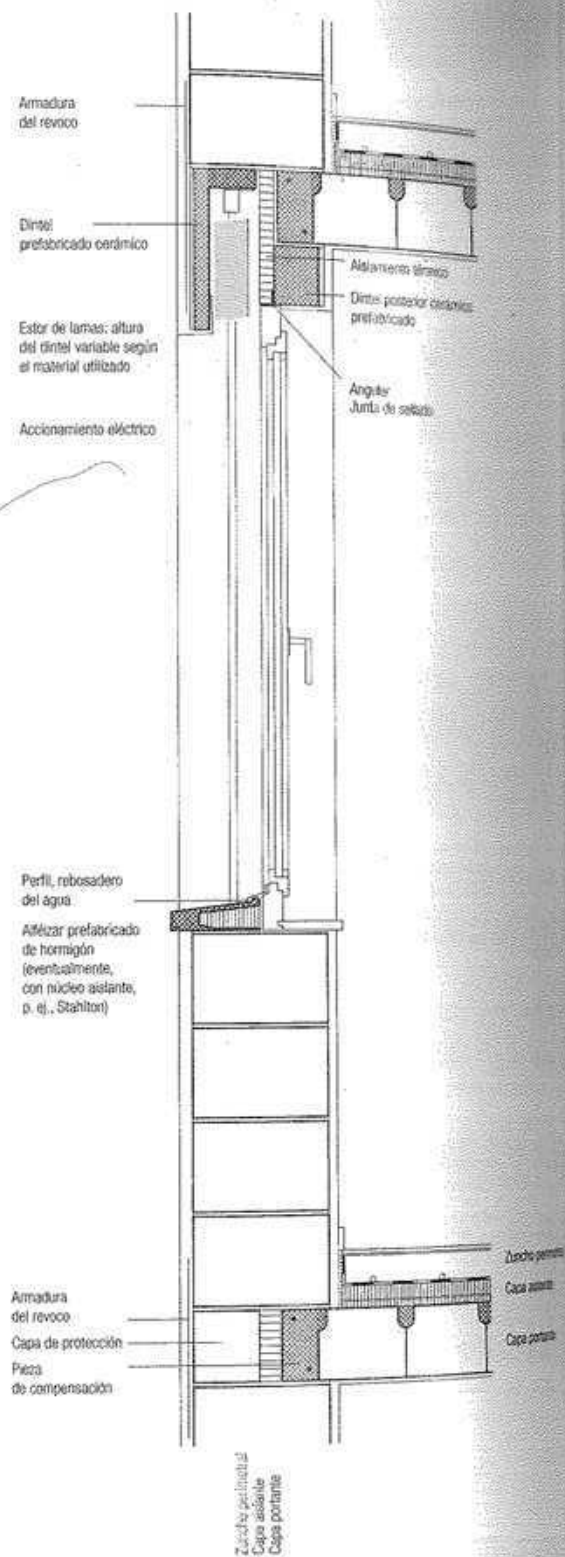
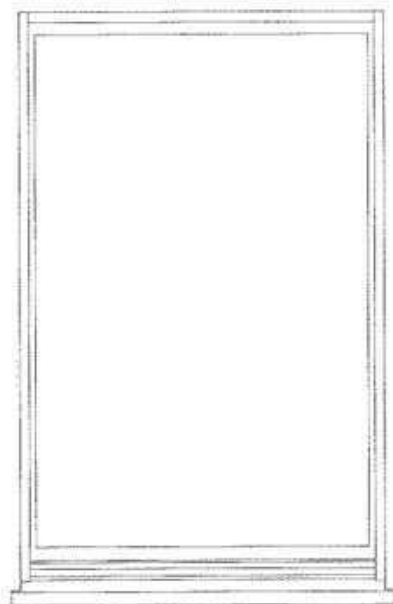


Planta

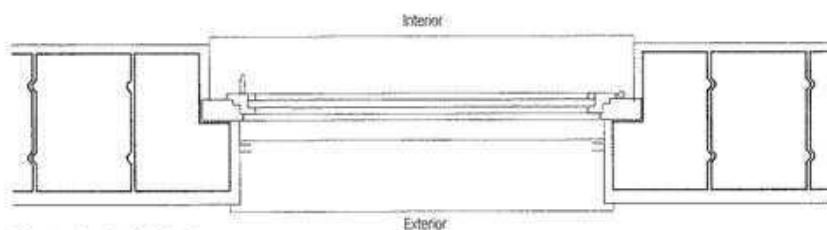
Sección

Hueco en un muro de fábrica de una hoja

1:20



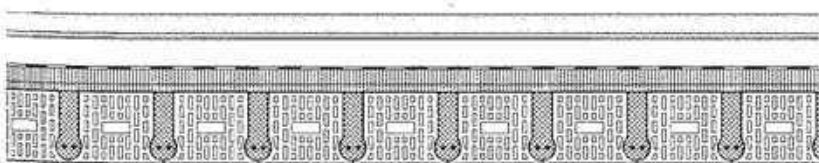
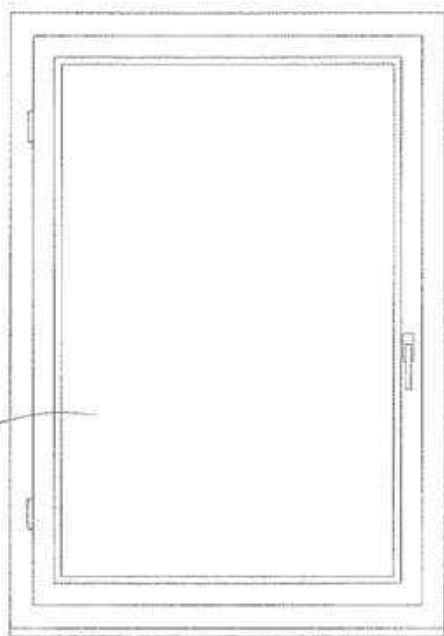
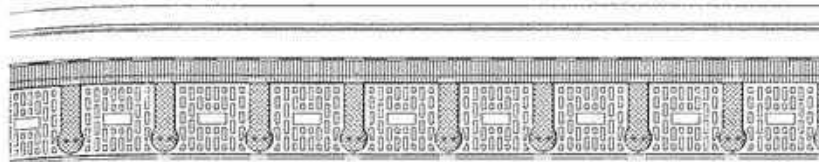
Alzado exterior



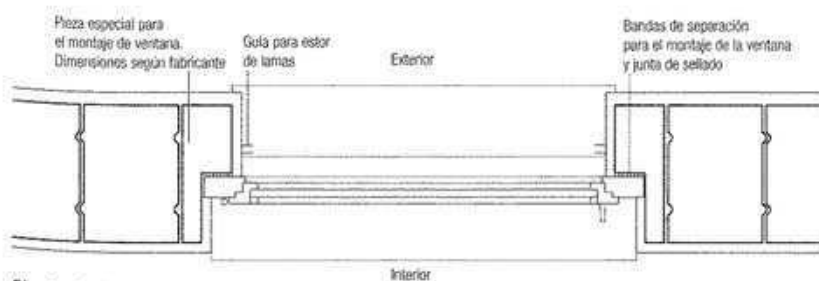
Planta de la hilada 1

Composición de la fachada

- Revoco	35 mm
- Muro de fábrica de una capa 36,5/24,8/23,8	365 mm
- Enlucido	25 mm
Total	425 mm



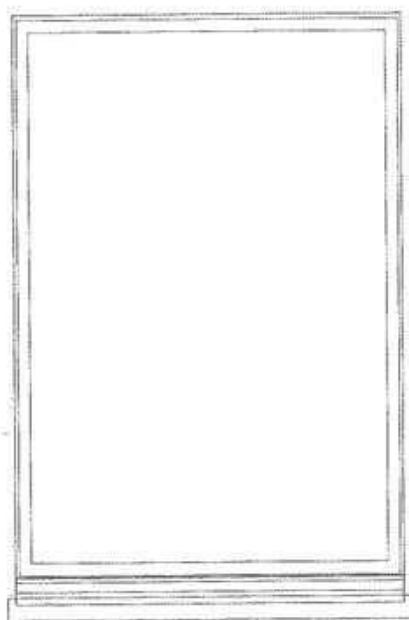
Alzado interior



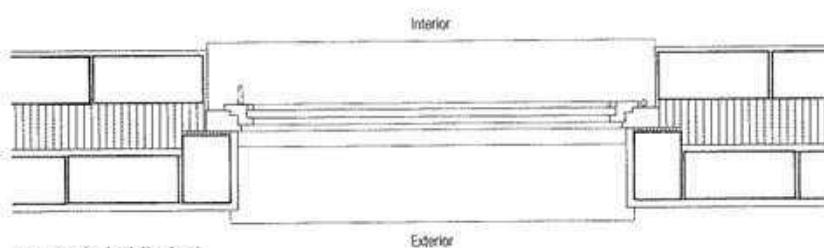
Planta de la hilada 2

Hueco en muro de fábrica de dos hojas, con revoco

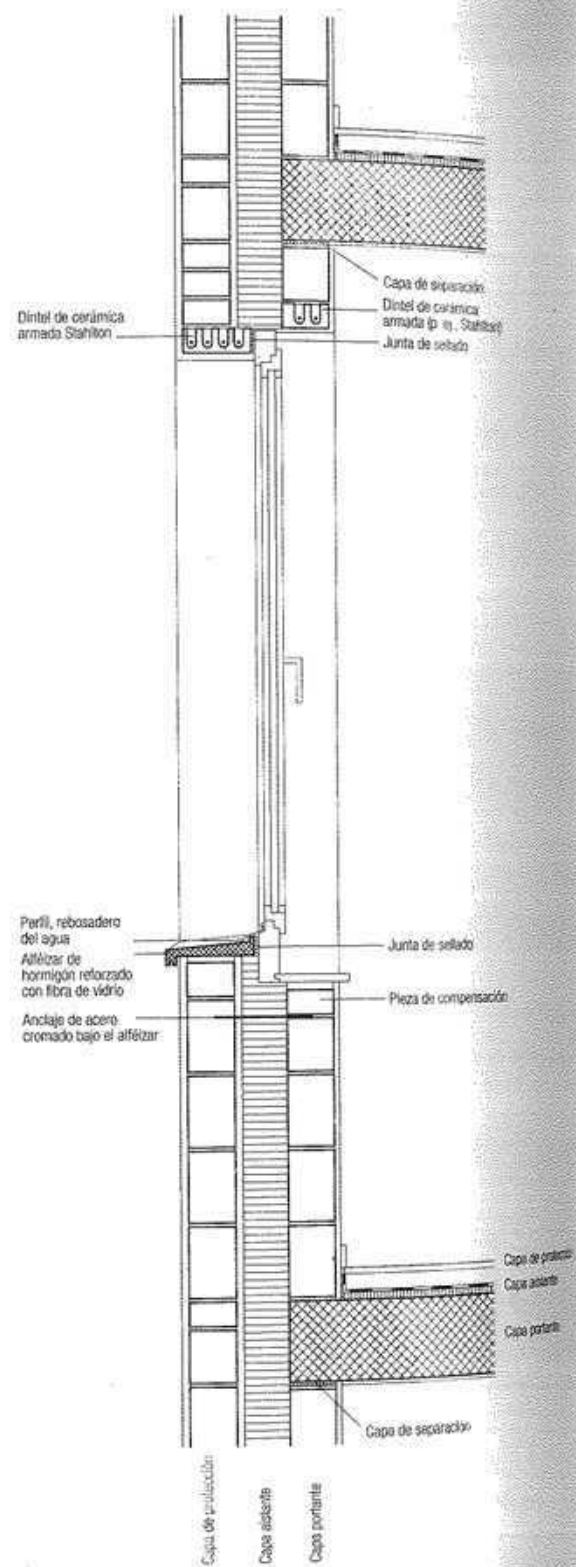
1:20

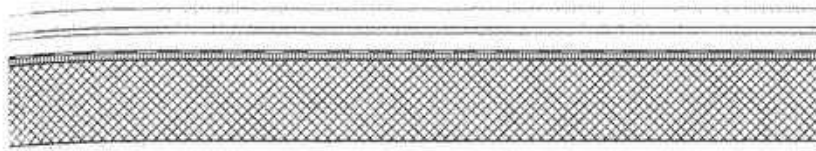


Alzado exterior

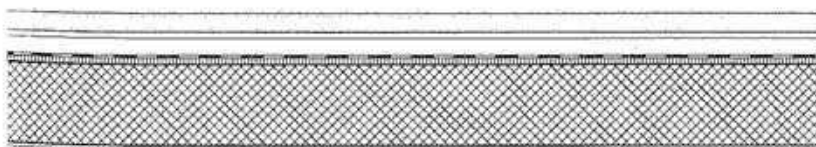
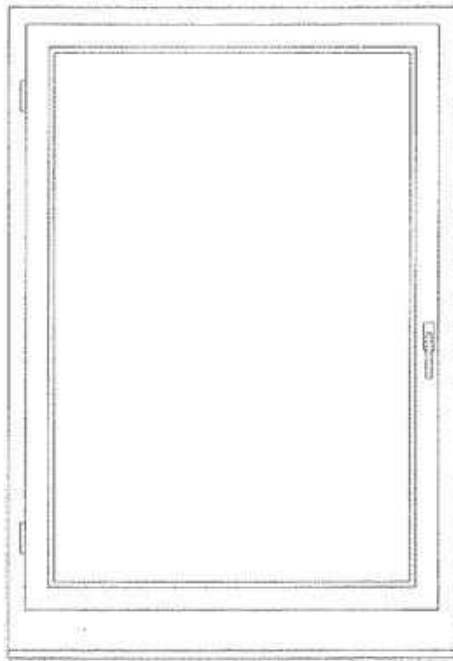
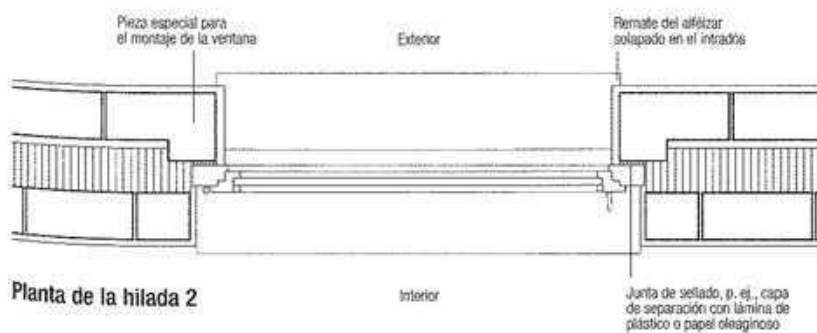


Planta de la hilada 1



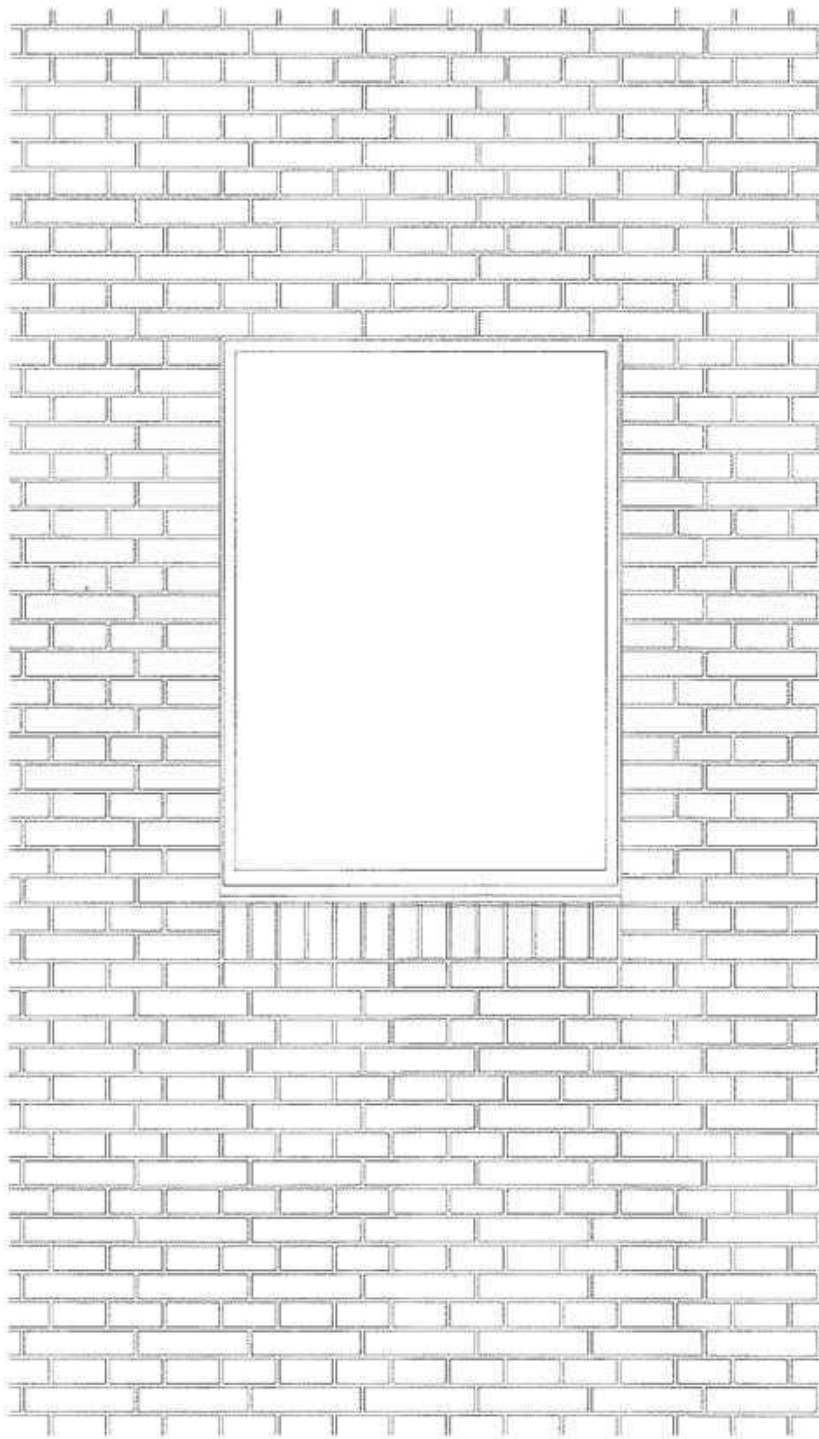
**Composición de la fachada**

- Revoco	20 mm
- Muro de fábrica de ladrillo 29/12,5/19	125 mm
- Cámara de aire (tolerancia de obra)	20 mm
- Aislamiento térmico (p. ej., lana mineral)	150 mm
- Muro de fábrica de ladrillo 29/12,5/19	125 mm
- Enlucido	15 mm
Total	455 mm

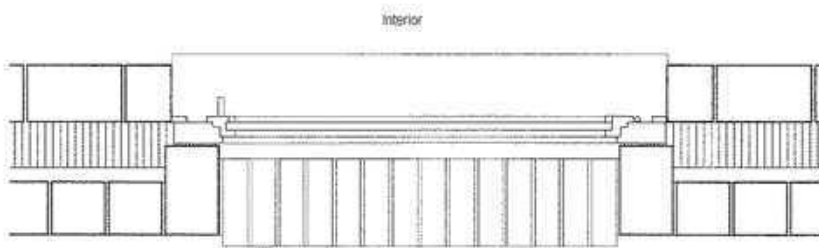
**Alzado interior****Planta de la hilada 2**

Hueco en un muro de fábrica vista

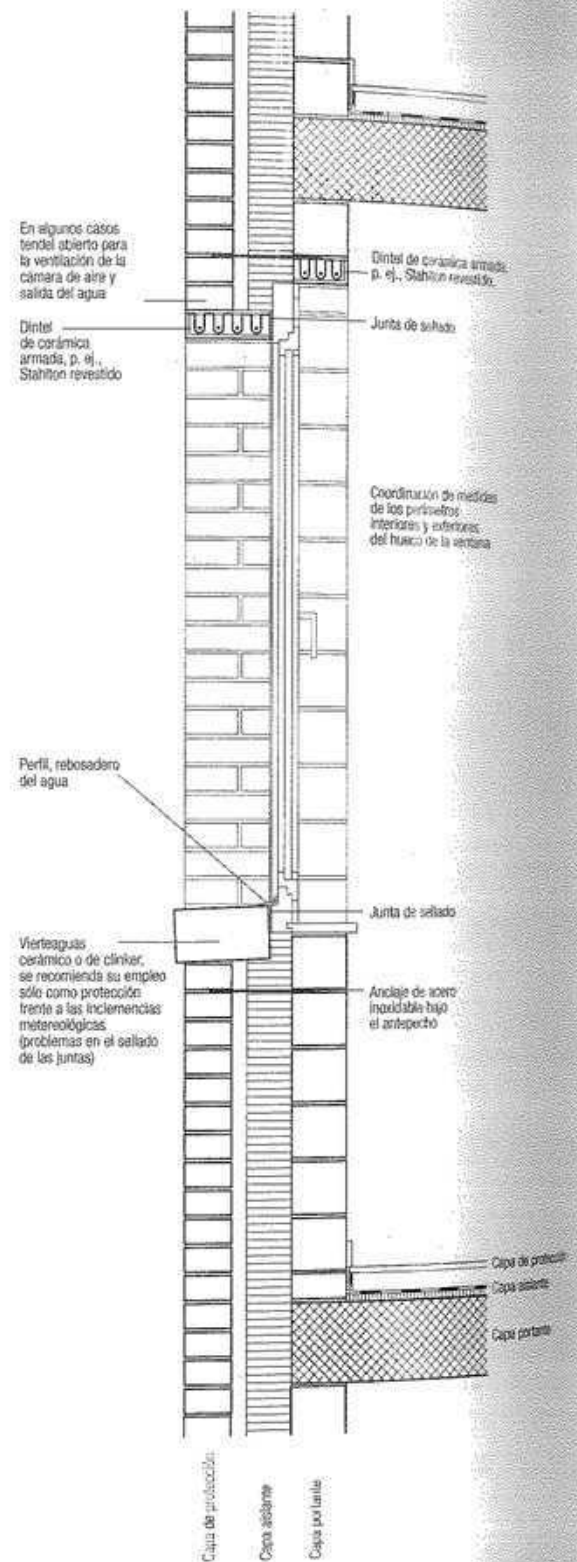
1:20



Alzado exterior

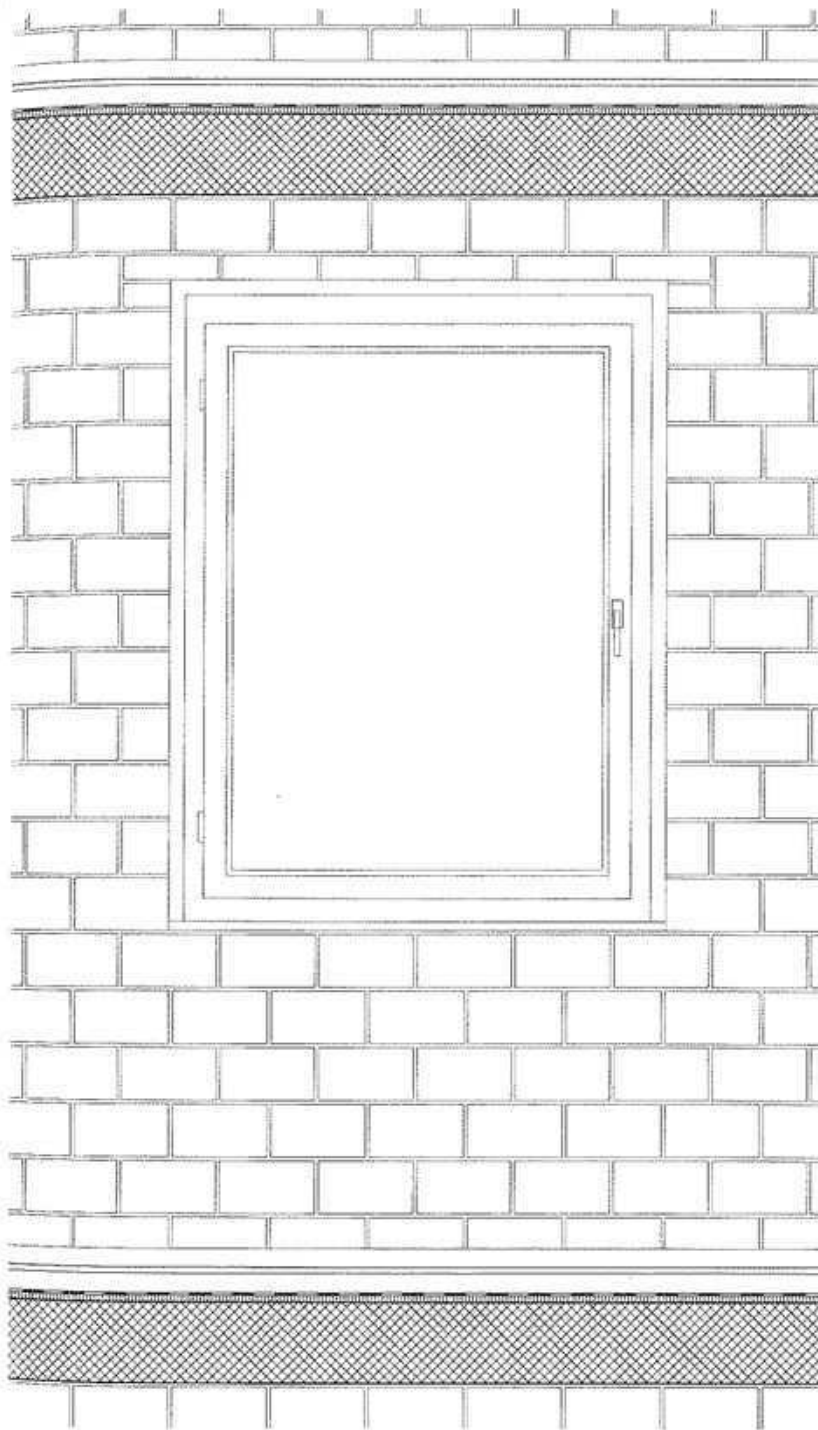
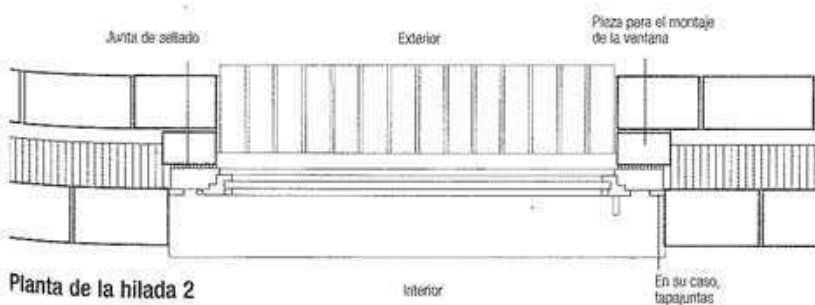


Planta de la hilada 1



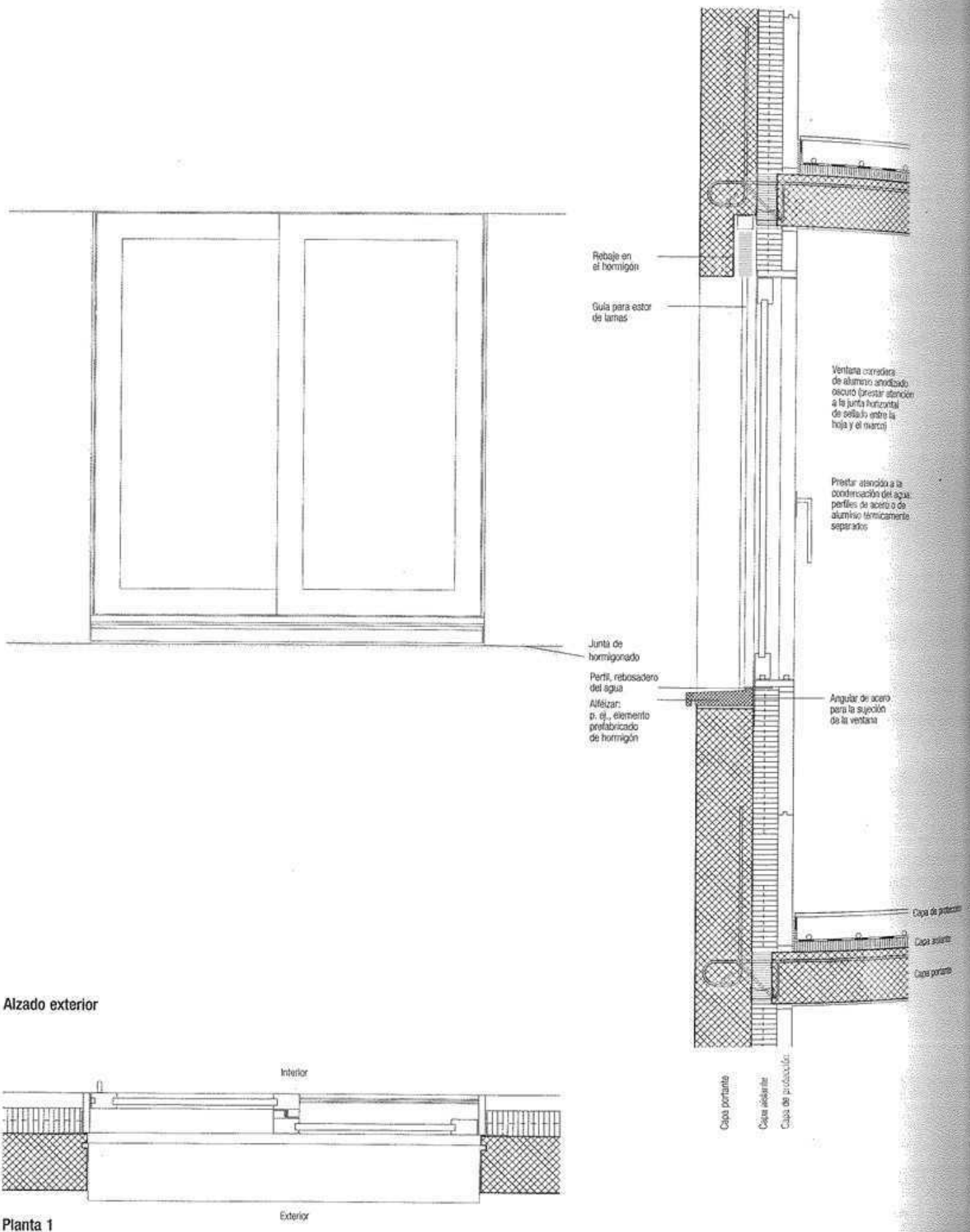
Composición de la fachada

- Muro de fábrica de ladrillo capa 1 14/14/6,5	140 mm
- Muro de fábrica de ladrillo capa 2 29/14/6,5 (variantes: diversos bloques cerámicos o de piedra, bloques o elementos prefabricados de hormigón)	
- Cámara de aire (grosor mínimo)	40 mm
- Aislamiento térmico (p. ej., lana mineral)	150 mm
- Muro de fábrica de ladrillo 25/15/14	150 mm
Total	480 mm

**Alzado interior****Planta de la hilada 2**

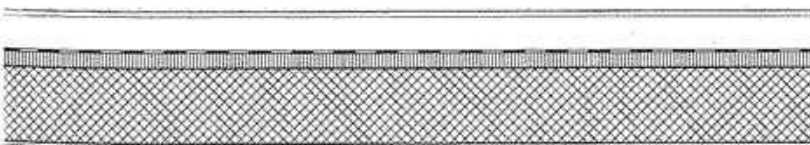
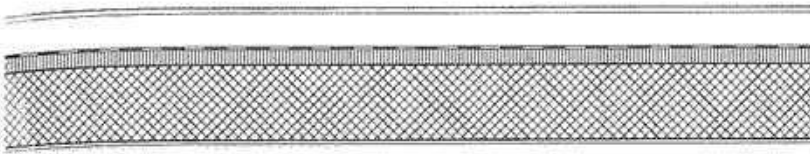
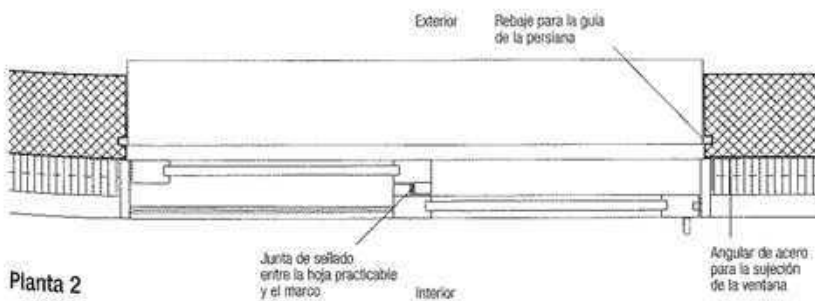
Hueco en un muro de hormigón visto con aislamiento interior

1:20



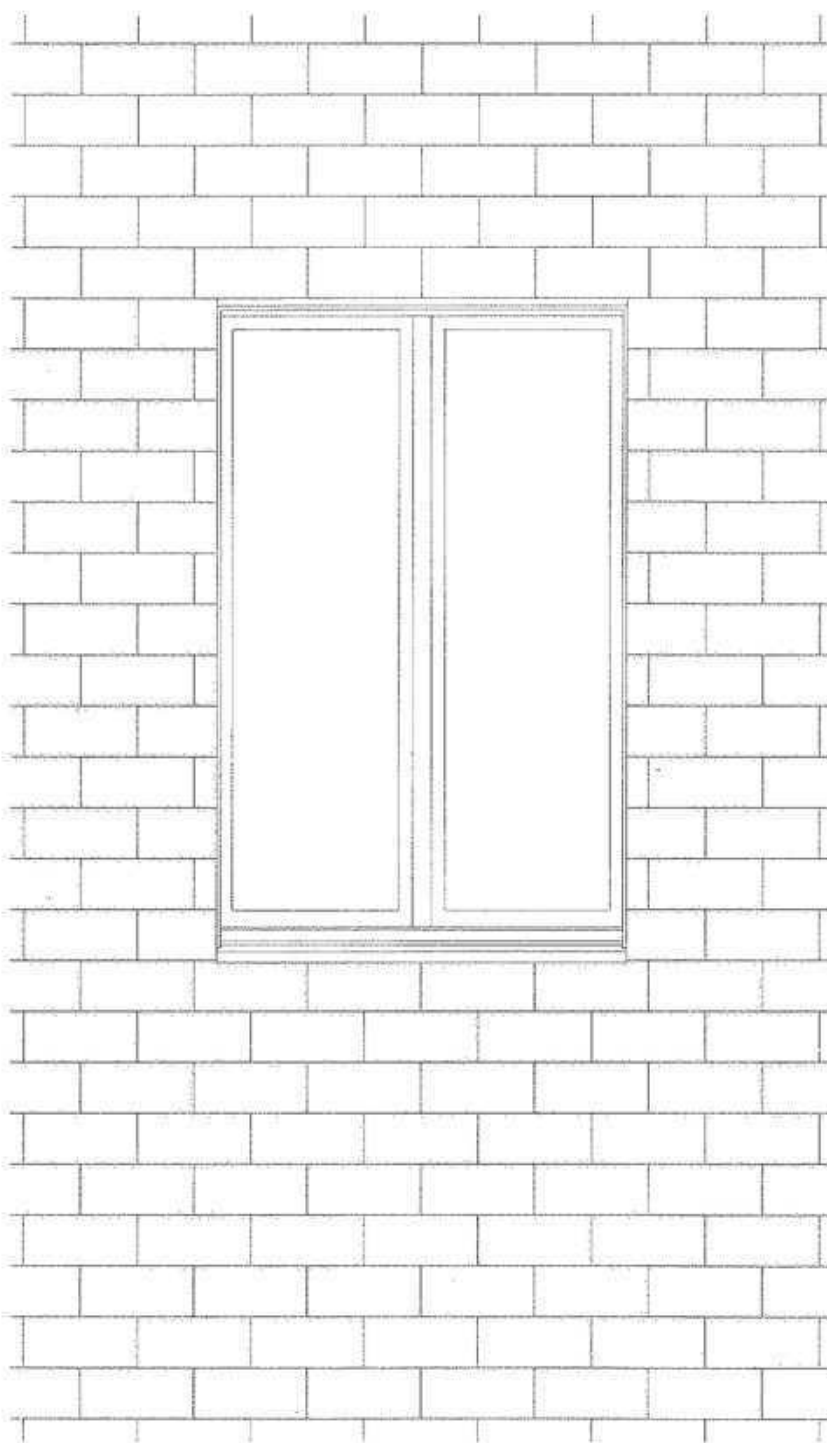
Composición de la fachada

- Muro visto de hormigón coloreado	220 mm
- Aislamiento térmico (de vidrio celular estanco al vapor de agua, p. ej., Foamglas)	150 mm
- Paneles de cartón yeso emplastecidos y pintados	60 mm
Total	430 mm

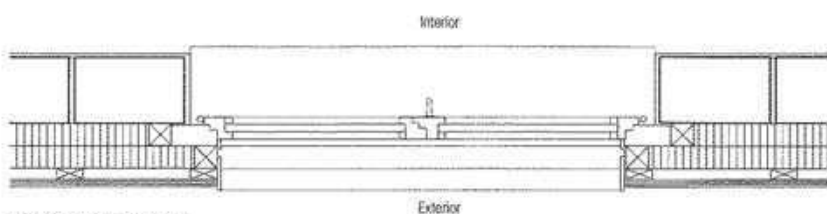
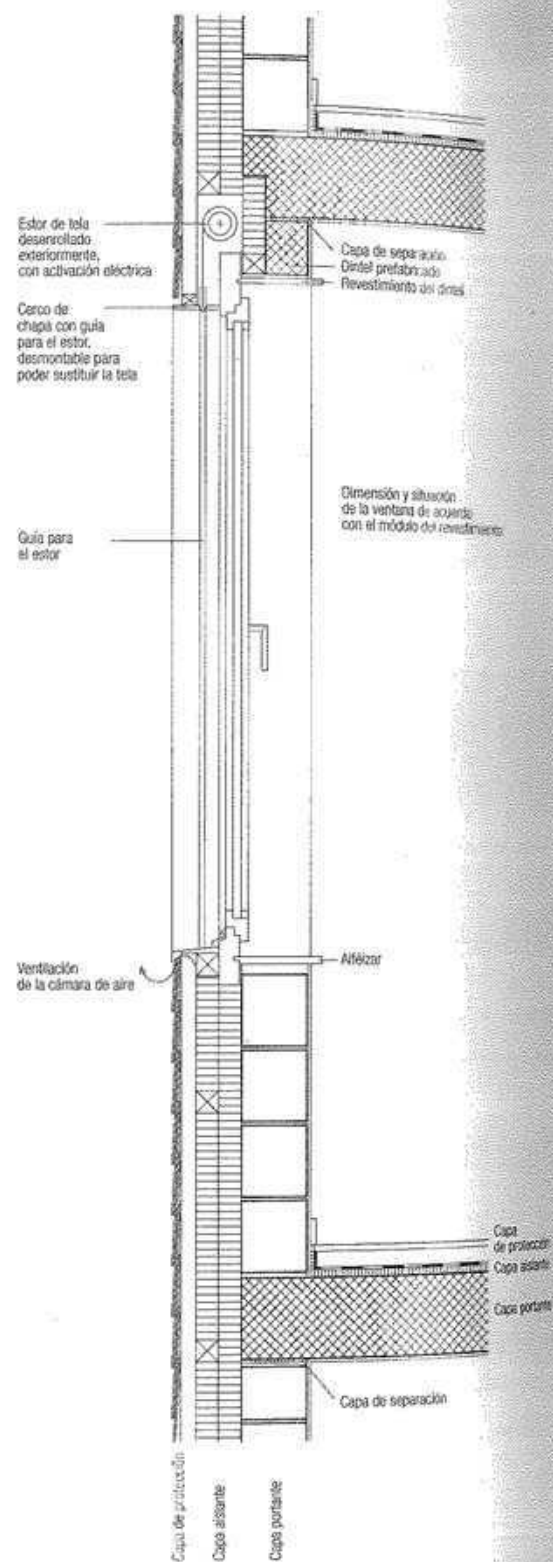
**Alzado anterior****Planta 2**

Hueco en un muro con revestimiento exterior ligero

1:20



Alzado exterior



Planta de la capa 1

Composición de la fachada

- Revestimiento de formato mediano y grande, p. ej., placas de Eternit, cubrición doble con elementos rectangulares 300/600/5 mm

10 mm

*Variantes:**Tablazón de madera 24 mm**Paneles: placas, p. ej., de chapa, Eternit, madera*

- Ventilación de la fachada (rastreles verticales 40/70 mm)

40 mm

*Variantes en revestimientos de piezas pequeñas:**(Eternit cubrición triple, revestimientos cerámicos)**Rastreles horizontales 30/50 mm*

- Aislamiento térmico 1 × 60 y 1 × 90 mm., colocado entre listones cruzados 60/90 mm

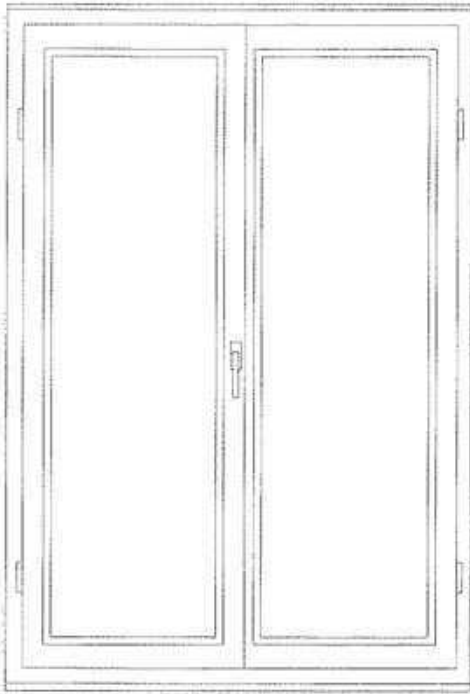
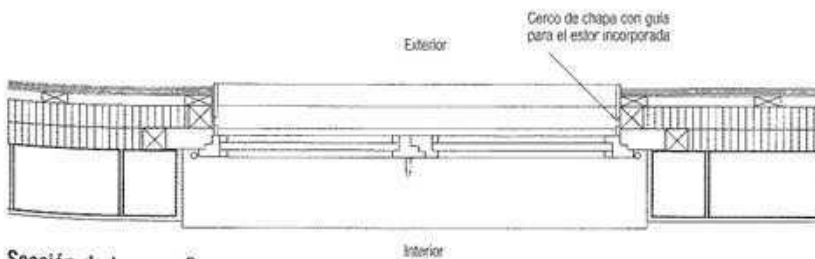
150 mm

- Muro de fábrica de ladrillo 29/17,5/19)

175 mm

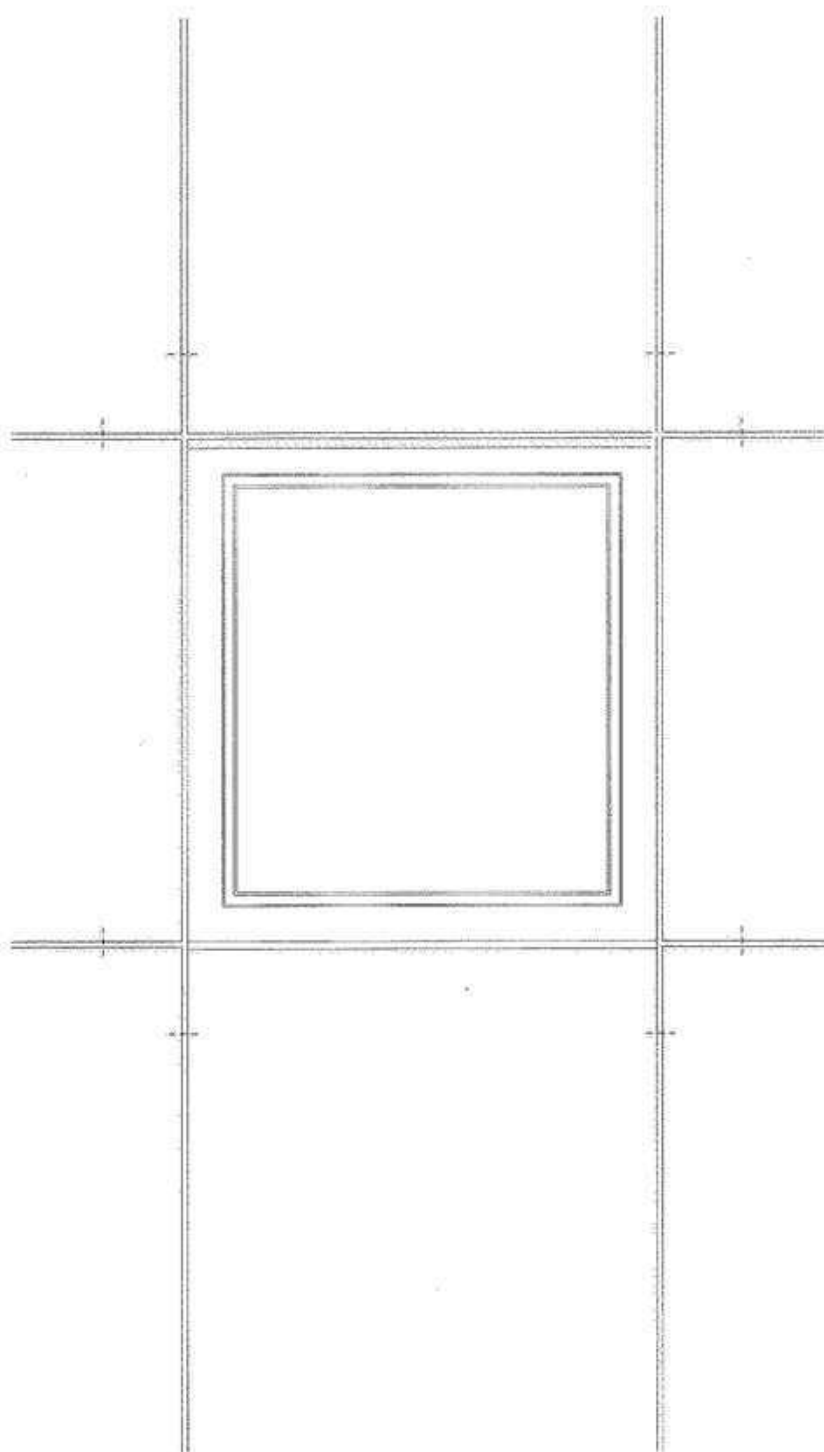
- Enlucido

15 mm

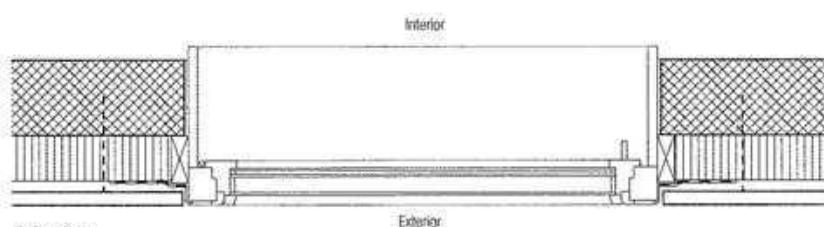
*Total**390 mm***Alzado interior****Sección de la capa 2**

Hueco en un muro con revestimiento exterior pesado

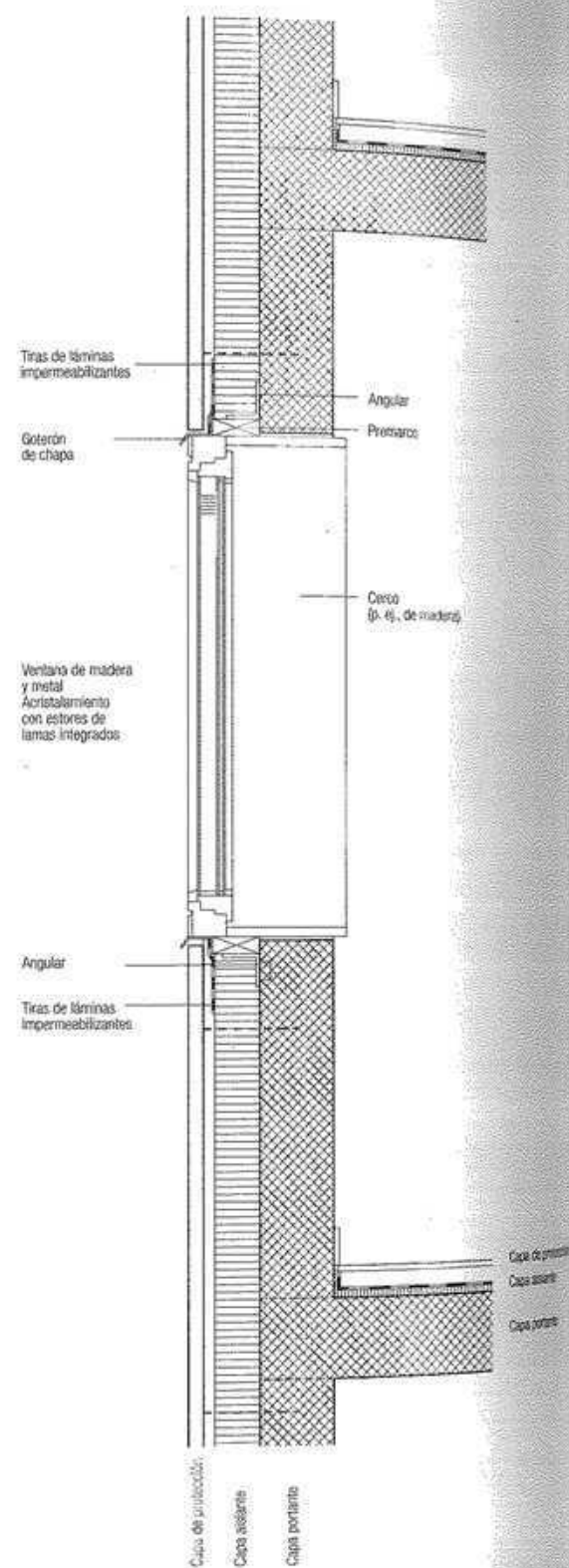
1:20



Alzado exterior

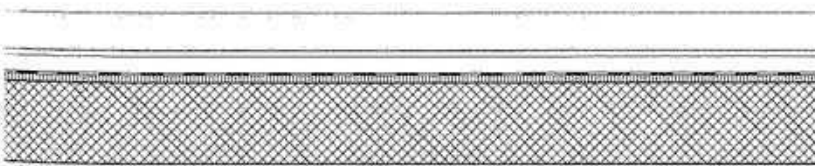
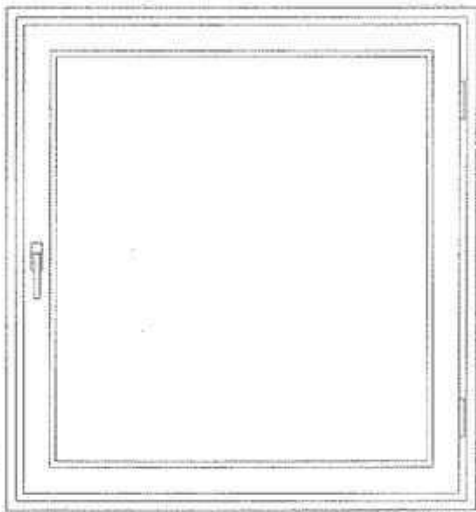
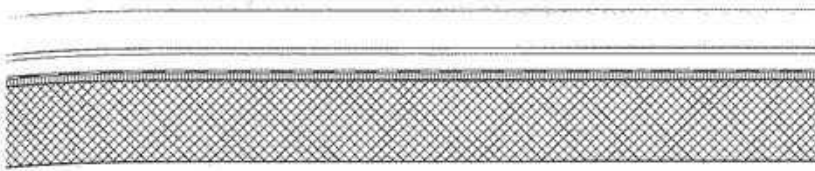
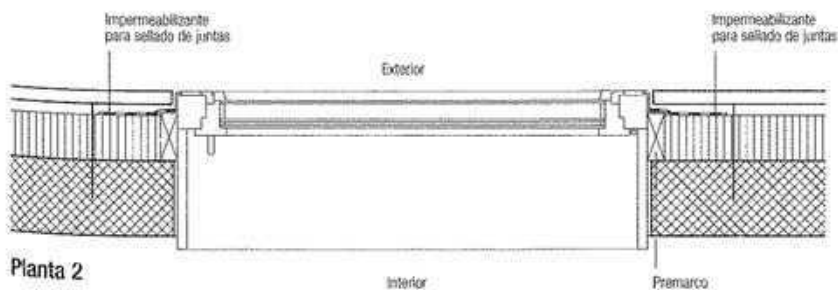


Planta 1



Composición de la fachada

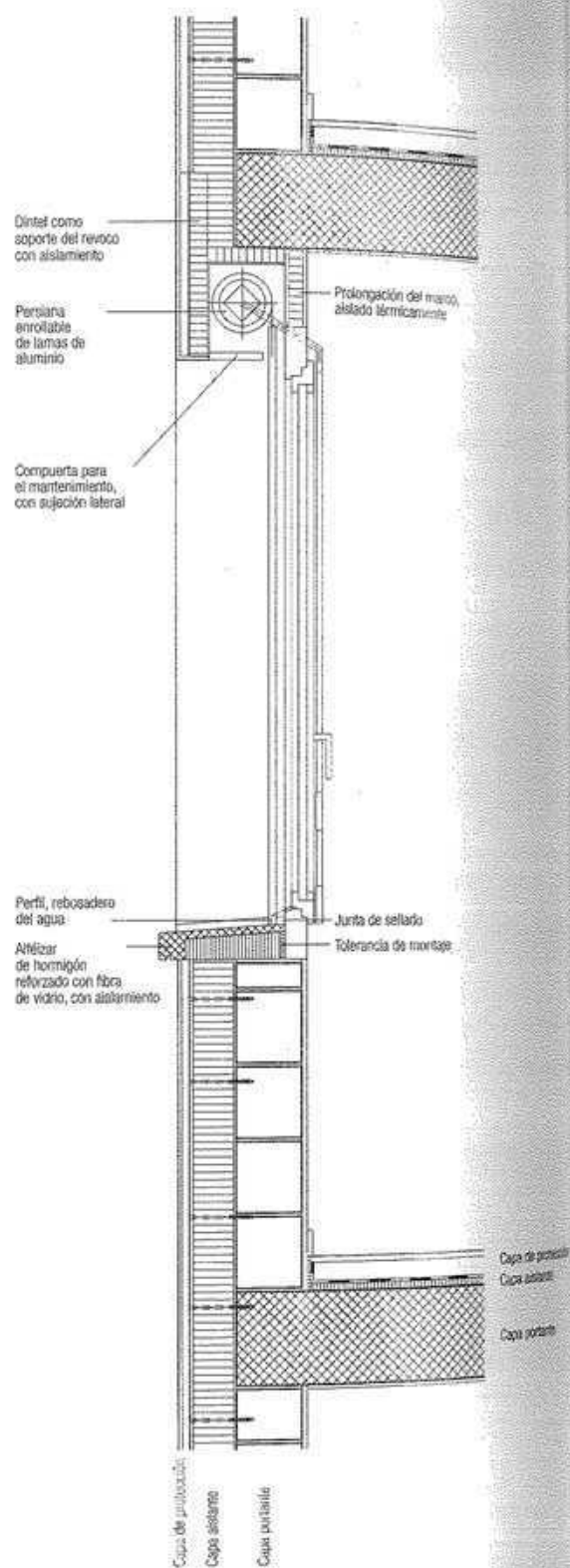
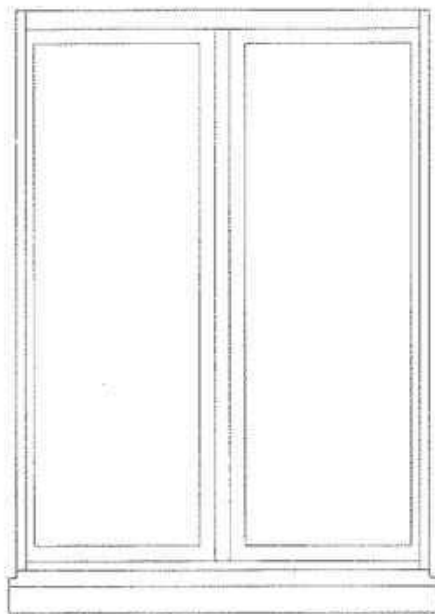
- Aplacado de piezas (p. ej., pizarra)	20-40 mm
- Cámara de ventilación	30 mm
- Aislamiento térmico	150 mm
- Hormigón visto al interior	200 mm
Total	400 mm

**Alzado interior**

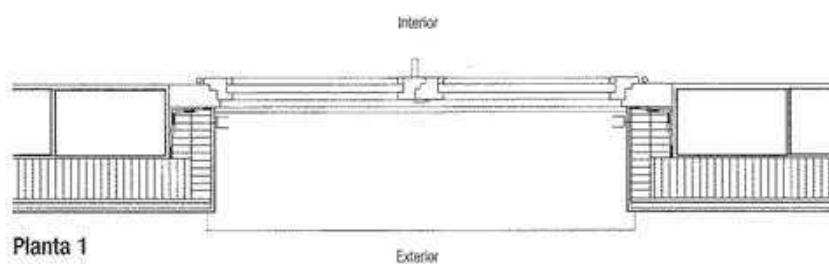
Planta 2

Hueco en un muro con aislamiento exterior, con revoco

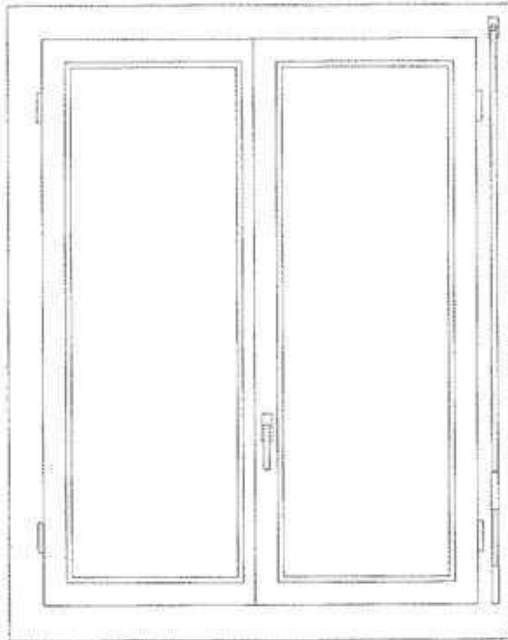
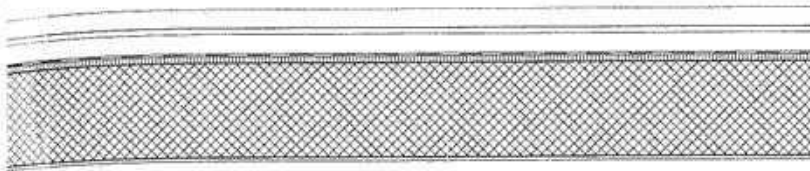
1:20



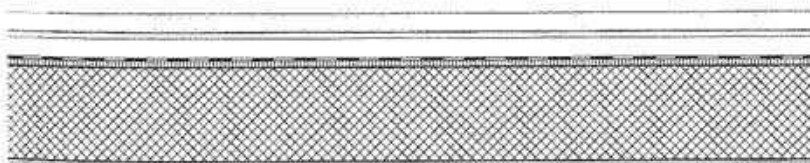
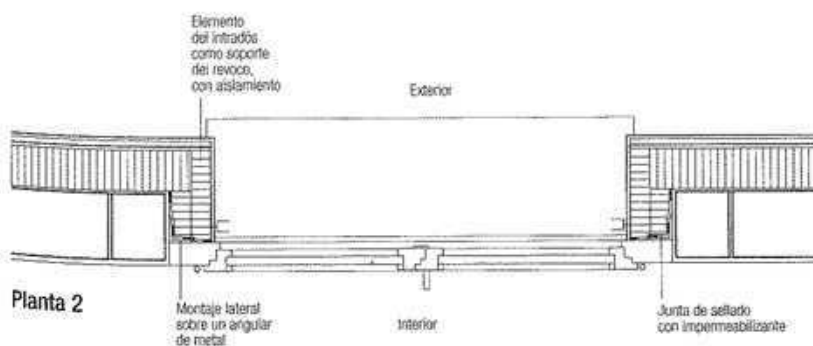
Alzado interior



Planta 1

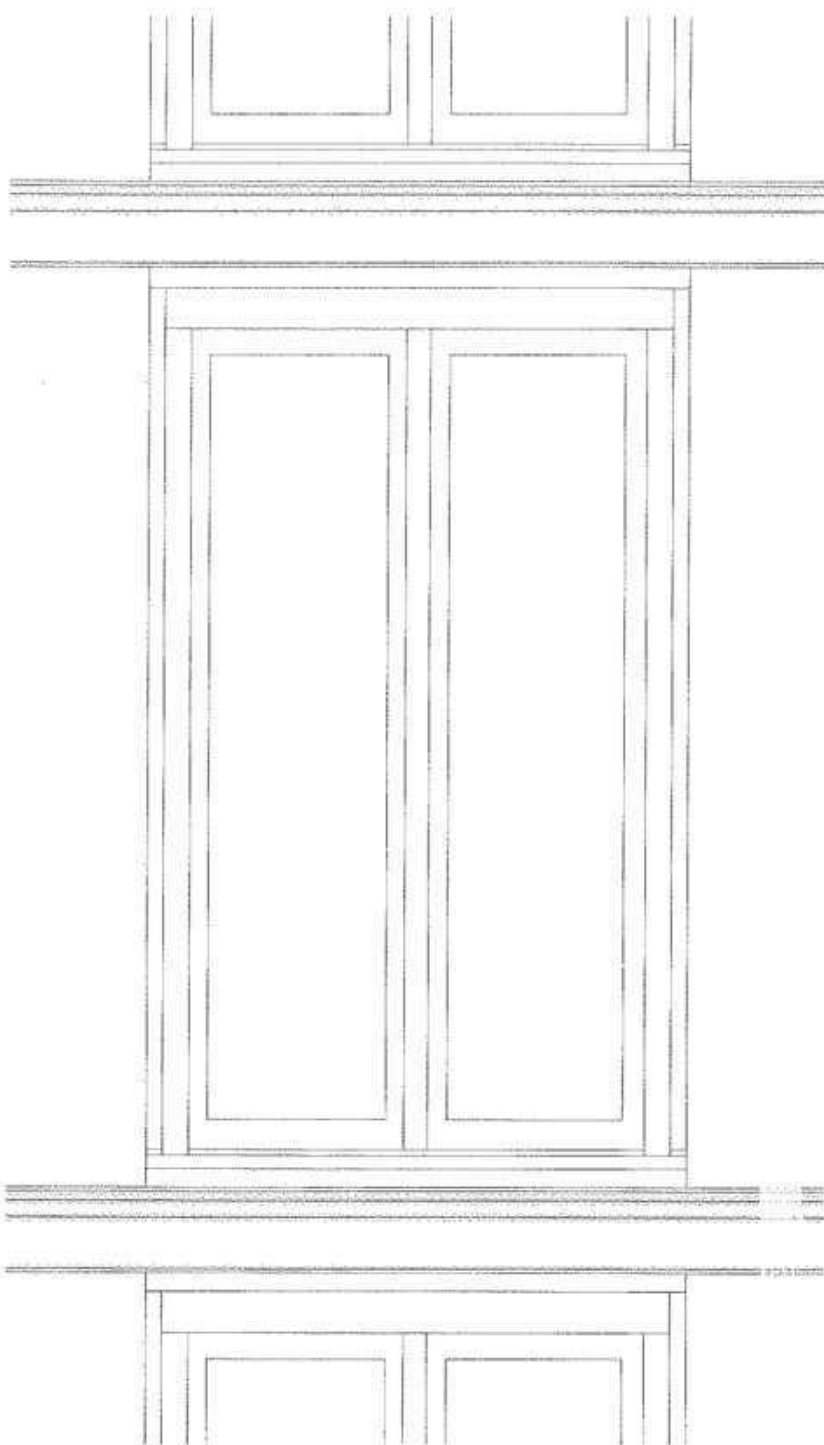
**Composición de la fachada**

- Revoco mineral (coloreado o para pintar)	2 mm
- Capa de agarre (armadura textil de fibra de vidrio, embebida totalmente en la capa de agarre)	4 mm
- Enfoscado mineral	20 mm
- Aislamiento térmico 5/110/10 (tres capas)	
- Fijación con tacos de plástico	165 mm
- Muro de fábrica de ladrillo 29/17,5/14	175 mm
- Enlucido	15 mm
Total	381 mm

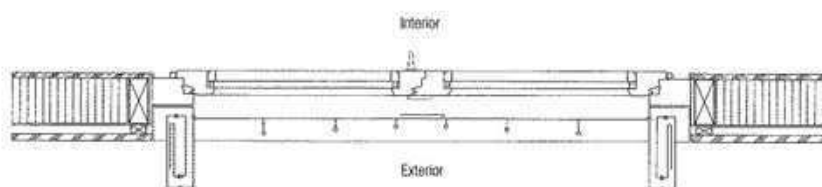
**Alzado interior**

Hueco en una pared exterior no portante

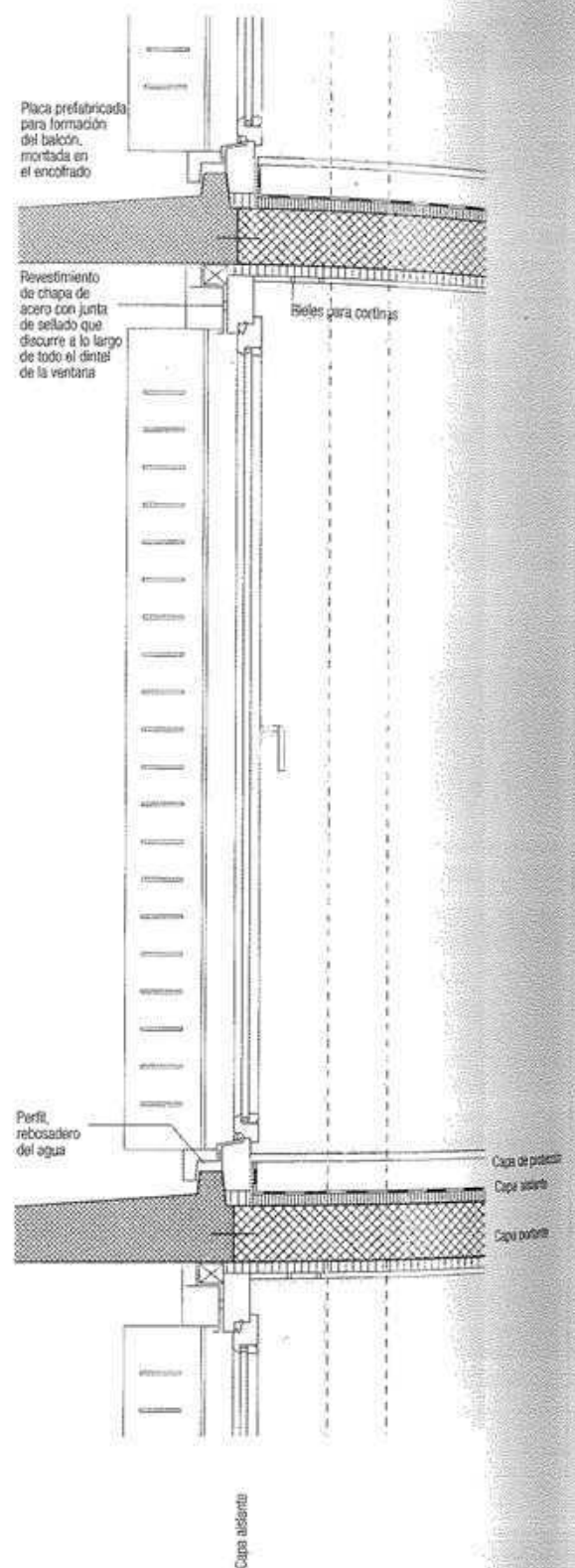
1:20

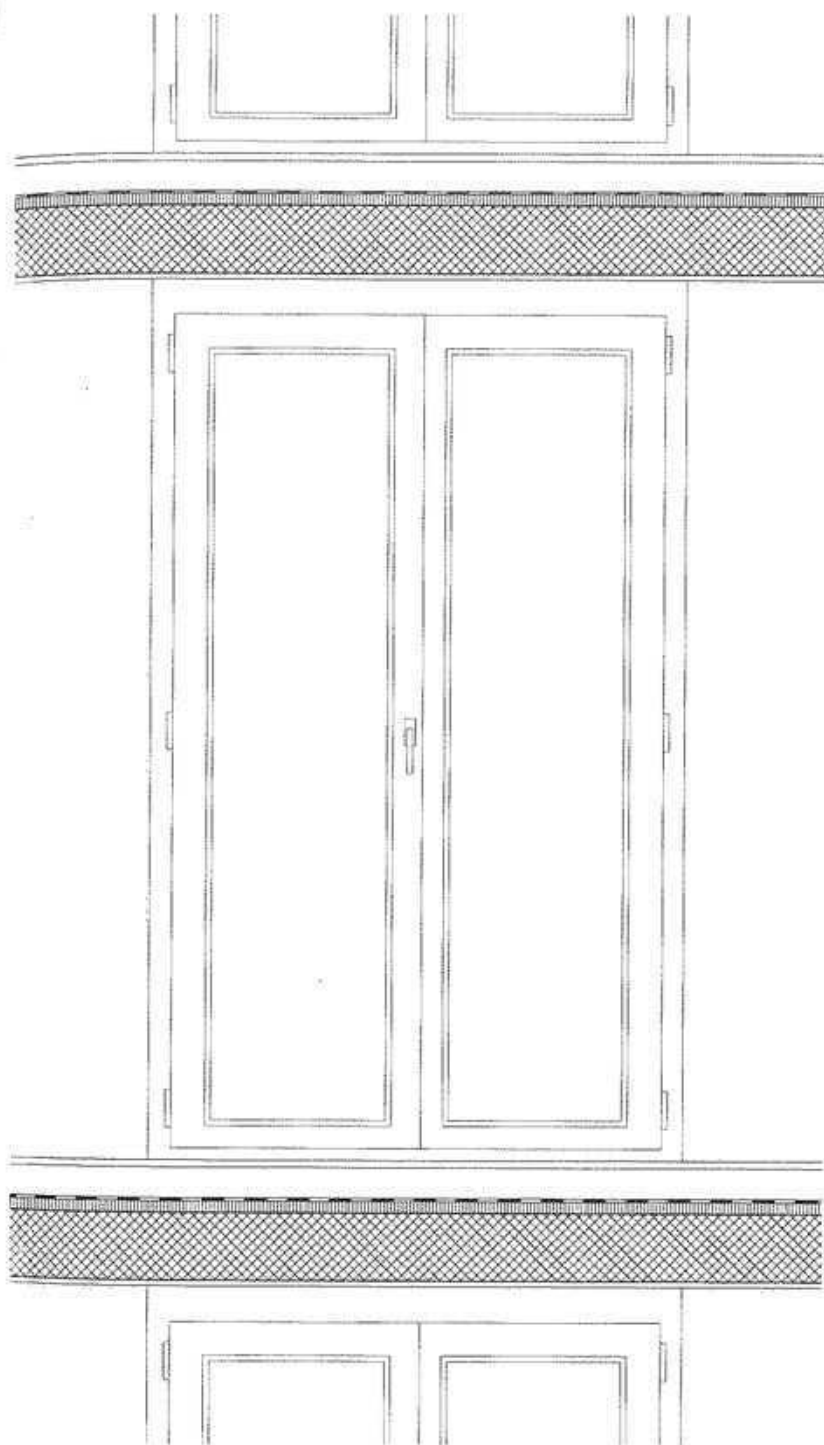


Alzado exterior

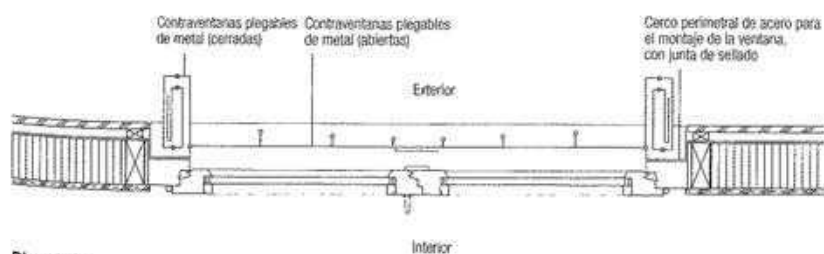


Planta 1



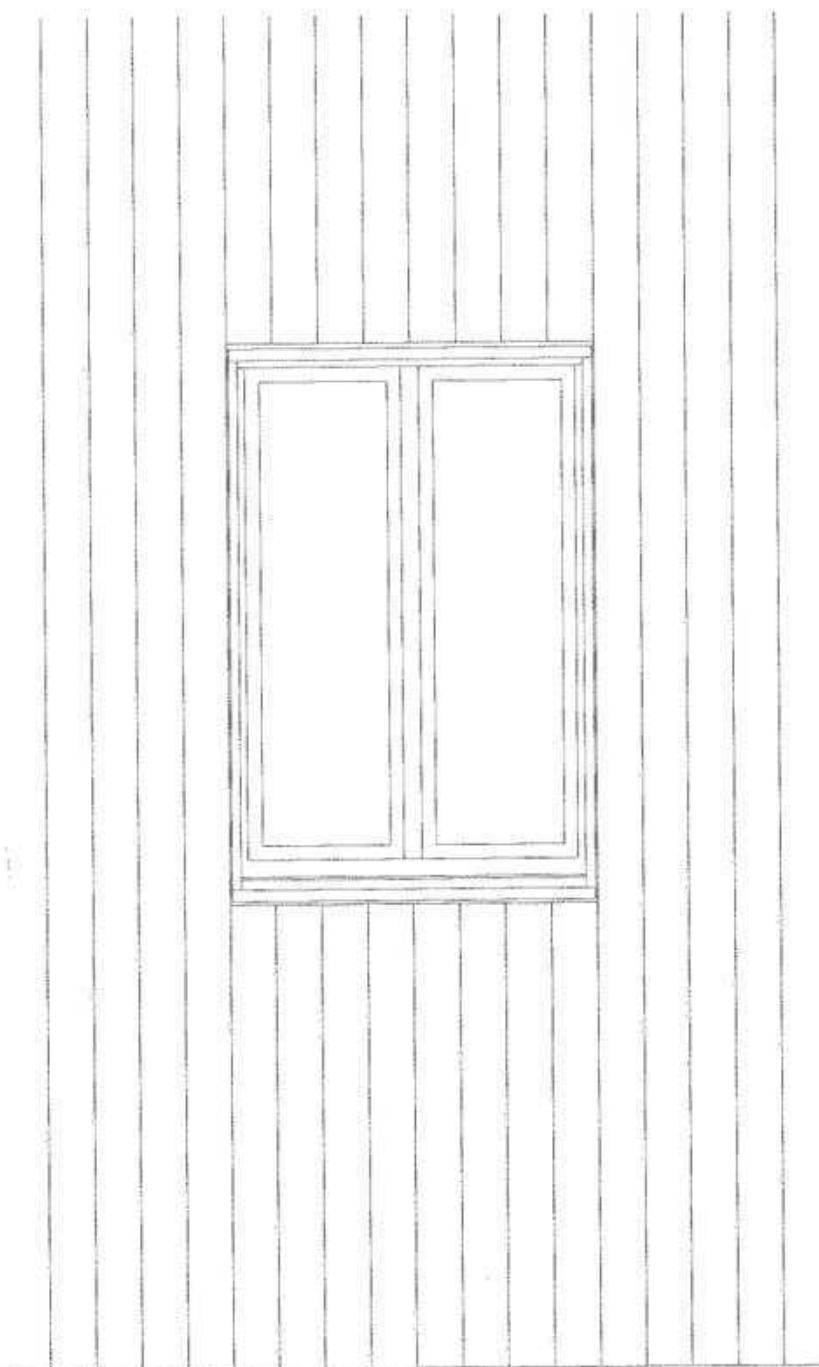
**Composición de la fachada**

- Tablero de virutas de madera prensado con cemento (p. ej., Duripanel para pintar)	20 mm
- Cámara de aire	25 mm
- Enfoscado mineral	8 mm
- Tablero de fibra duro	150 mm
- Madera aglomerada (barrera de vapor)	15 mm
Total	218 mm

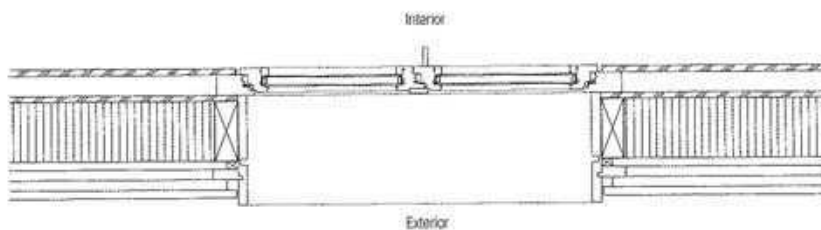
Alzado interior**Planta 2**

Hueco en un entramado de madera de elementos ligeros

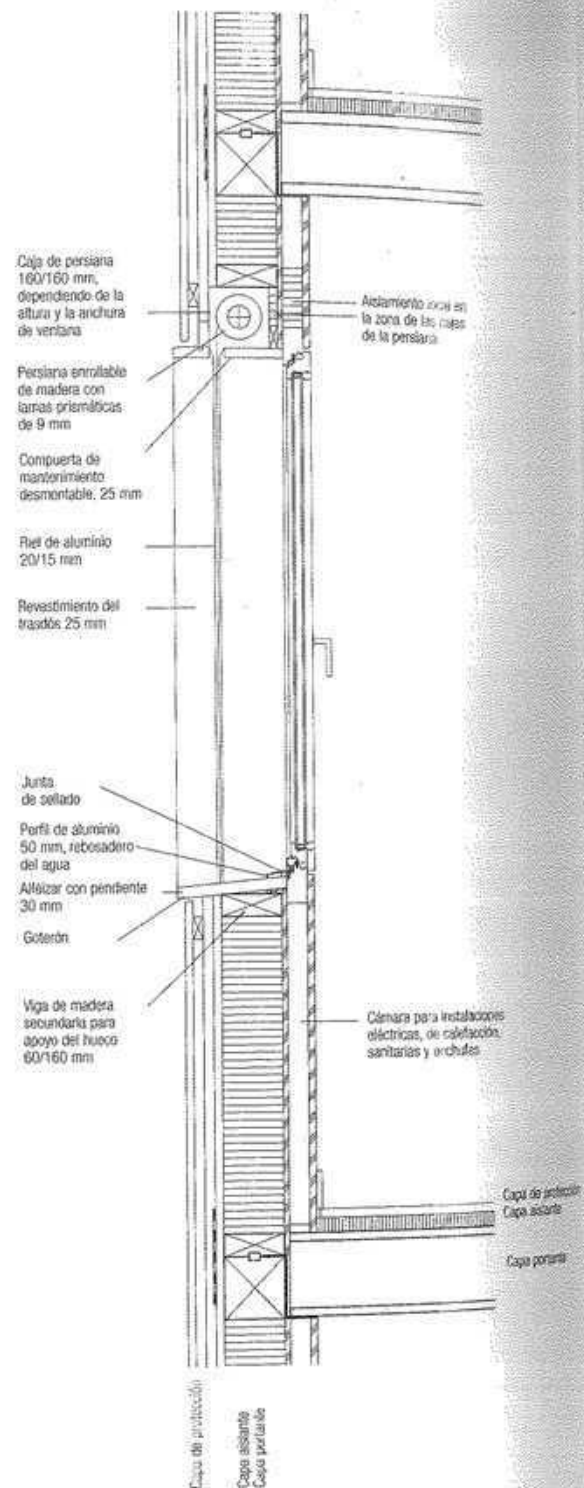
1:20

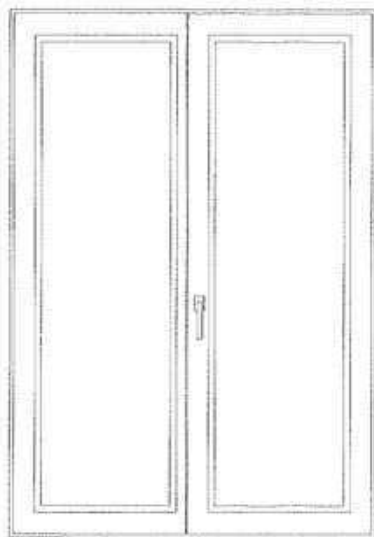
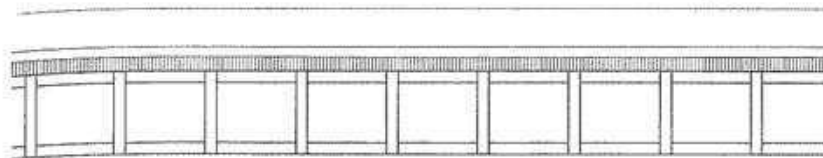


Alzado exterior

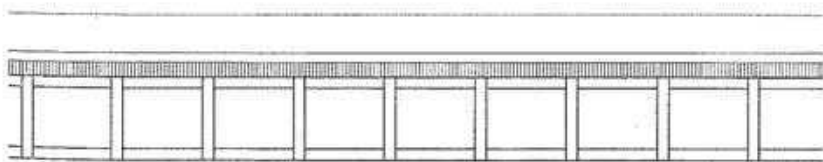
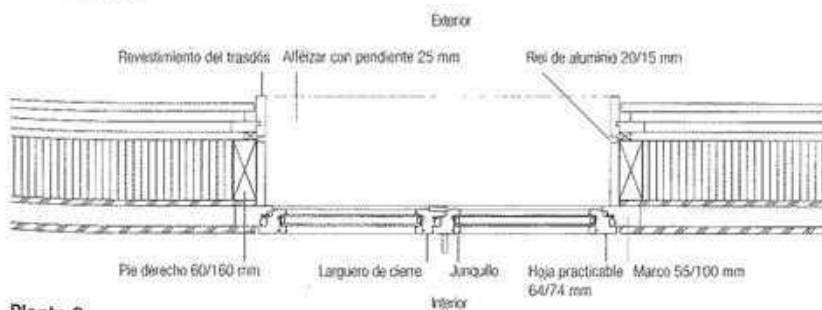


Planta 1



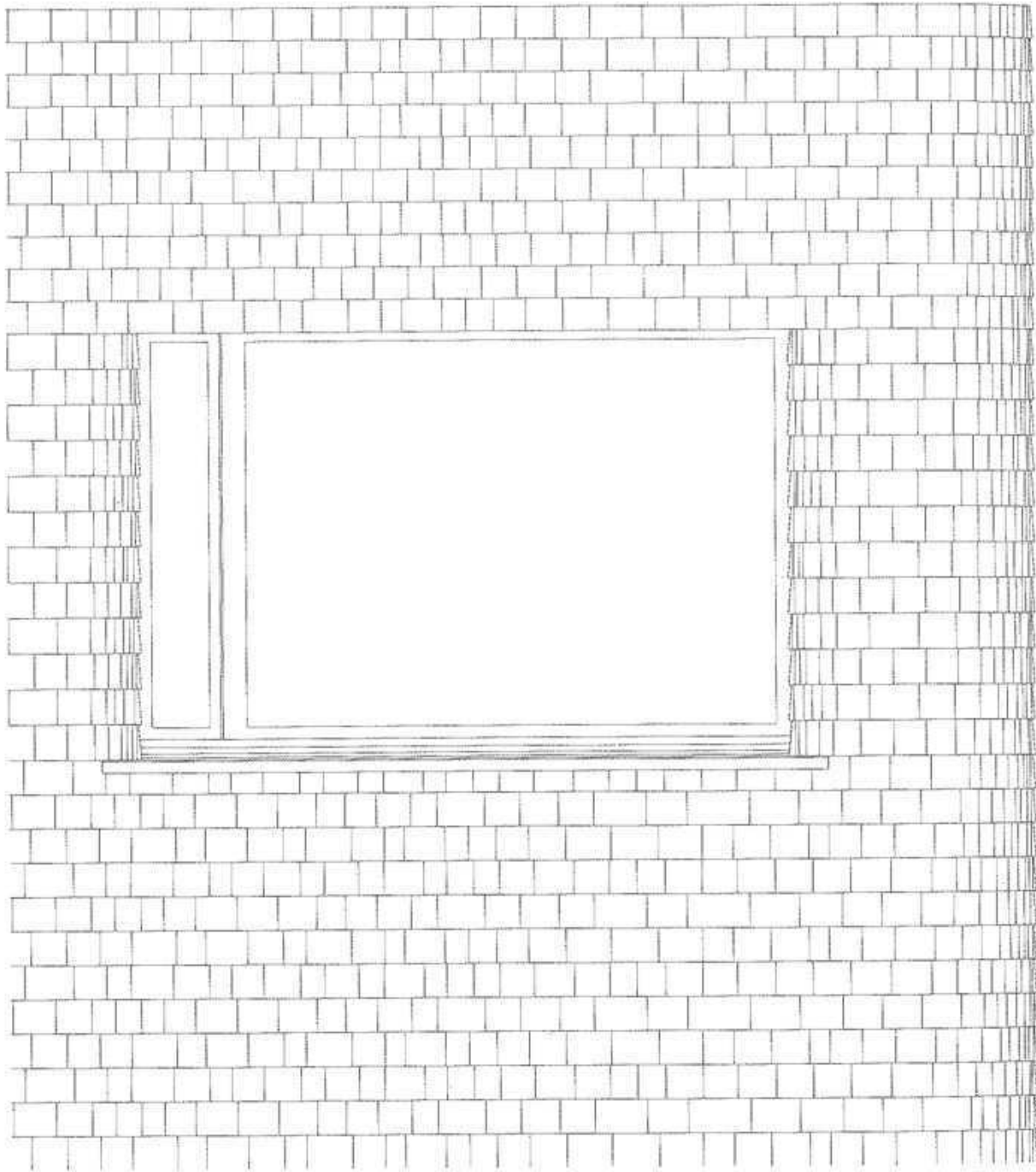
**Composición de la fachada**

- Tablazón exterior (p. ej., alerce sin tratar)	21 mm
- Rastreles horizontales 27/50 mm	27 mm
- Rastreles verticales 27/50 mm	
(cámara de ventilación)	27 mm
- Tablero flexible de fibras bituminado	22 mm
- Entramado ligero con aislamiento entre los pies derechos (p. ej., Homatherm)	160 mm
- Tablero de fibras colocadas en la misma dirección OSB (barrera de vapor)	15 mm
- Entramado de listones (cámara para instalaciones)	54 mm
- Tablero de virutas de madera prensado con cemento	18 mm
Total	344 mm

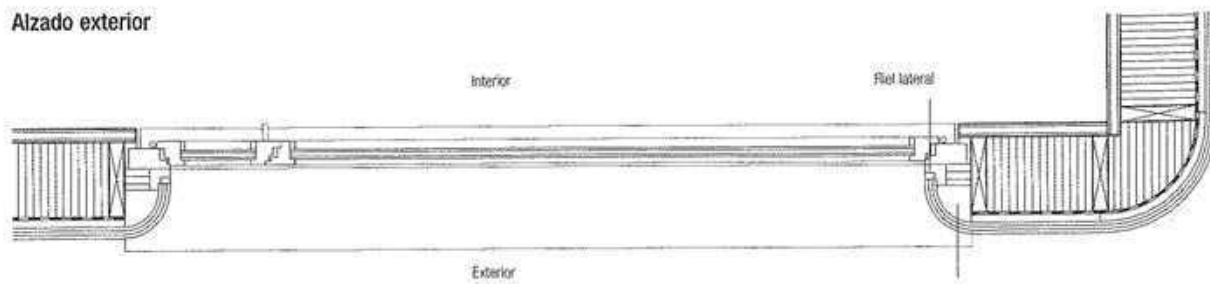
**Alzado interior****Planta 2**

Hueco en un entramado de madera con paneles macizos

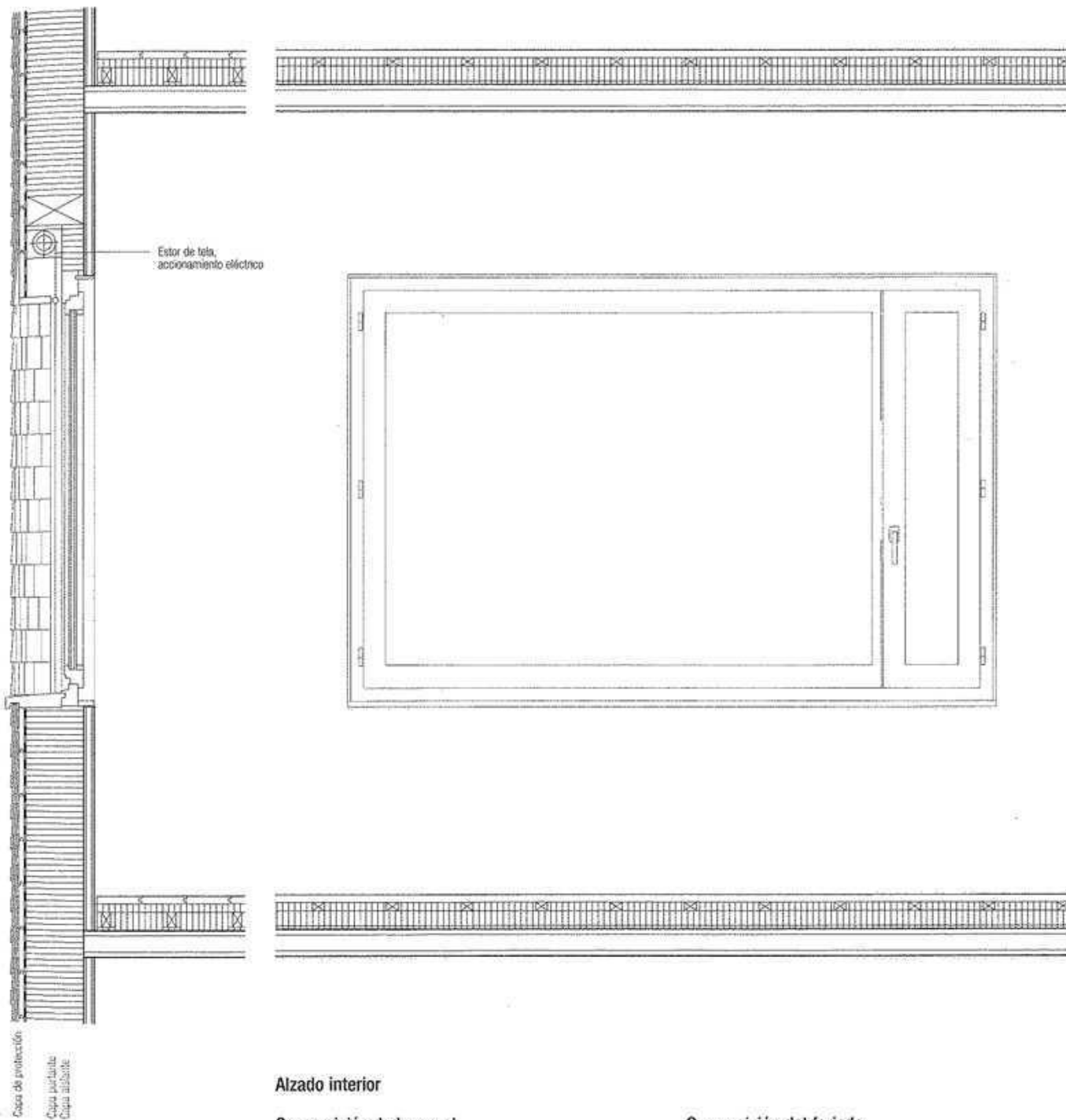
1:20



Alzado exterior



Sección horizontal de la fachada



Alzado interior

Composición de la pared

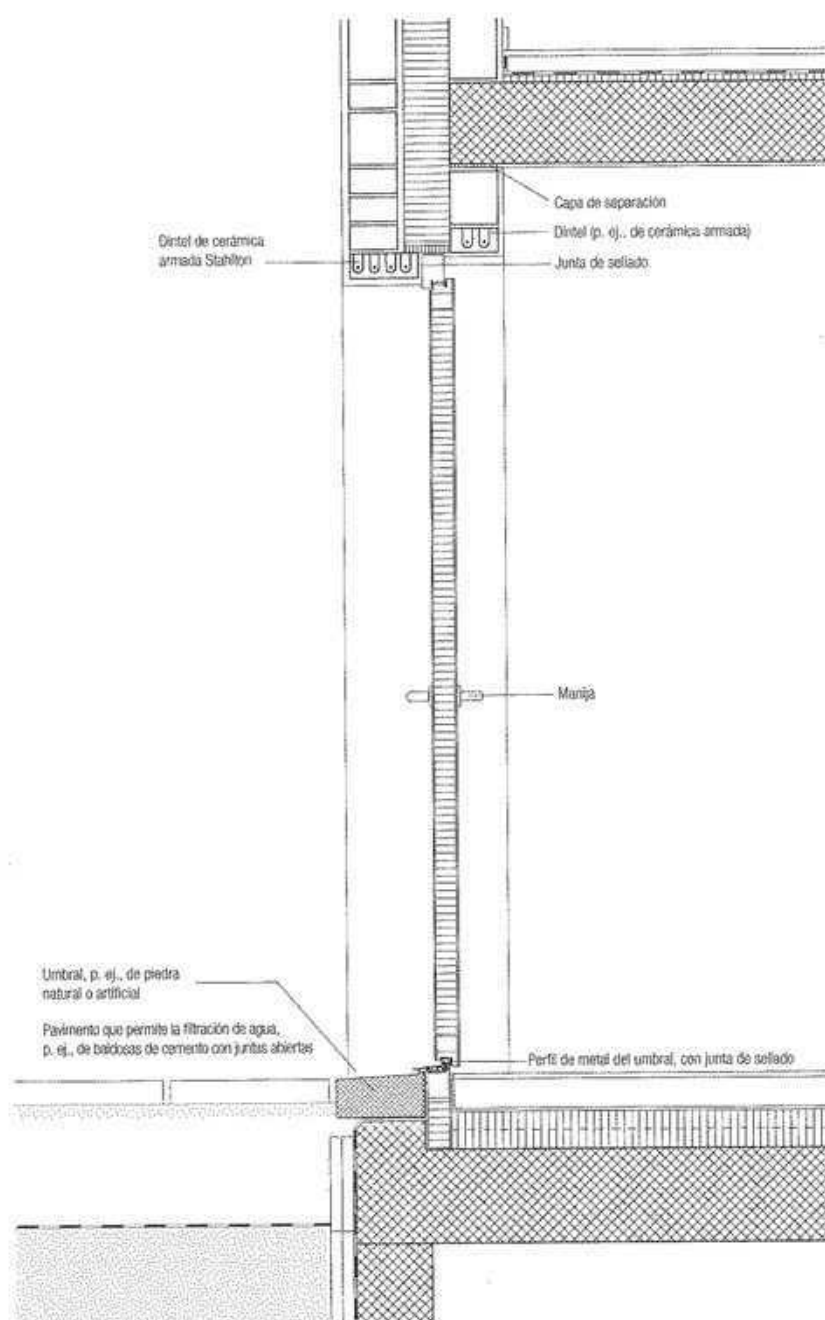
- Ripias de alerce (sin ventilación), 3 capas	20 mm
- Entablado de pino (machihembrado), horizontal	20 mm
- Cartón oleaginoso	
- Aislamiento térmico (en la zona de los elementos de madera transversales de sujeción de los paneles)	200 mm
- Paneles de madera maciza (portantes, con barrera de vapor mediante el encolado)	35 mm
Total	275 mm

Composición del forjado

- Pavimento	30 mm
- Suelo radiante	60 mm
- Capa de separación	
- Aislamiento contra el ruido de impacto	20 mm
- Paneles de madera maciza (luz de 3 m)	90 mm
Total	200 mm

Puerta abatible exterior de madera

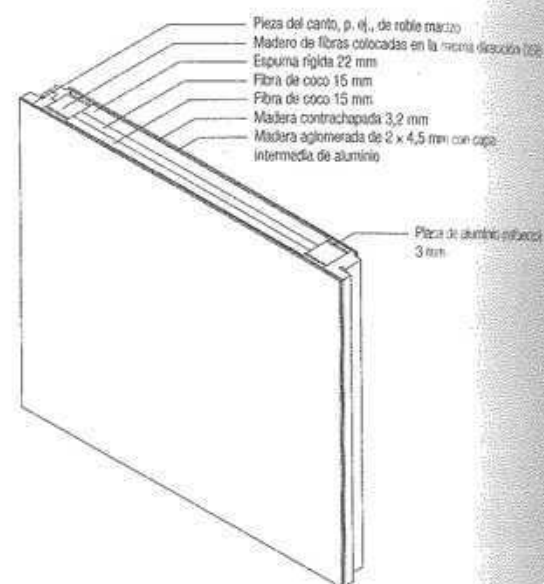
1:20



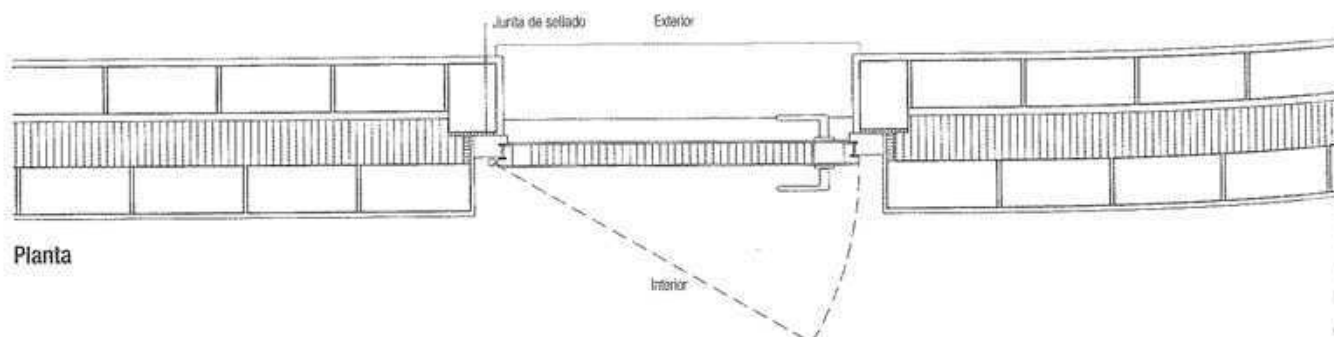
Sección

Puerta de acceso

Marco montado en un muro de fábrica de dos capas, con revoco, herrajes en la parte izquierda, apertura al interior.
Hoja rebajada, con aislamiento térmico y acústico.
Bastidor y hoja resistente al fuego T30.



Composición de la hoja: Riwag-Isotherm 65 mm
Lamina exterior para pintar o contrachapada en maderas diversas



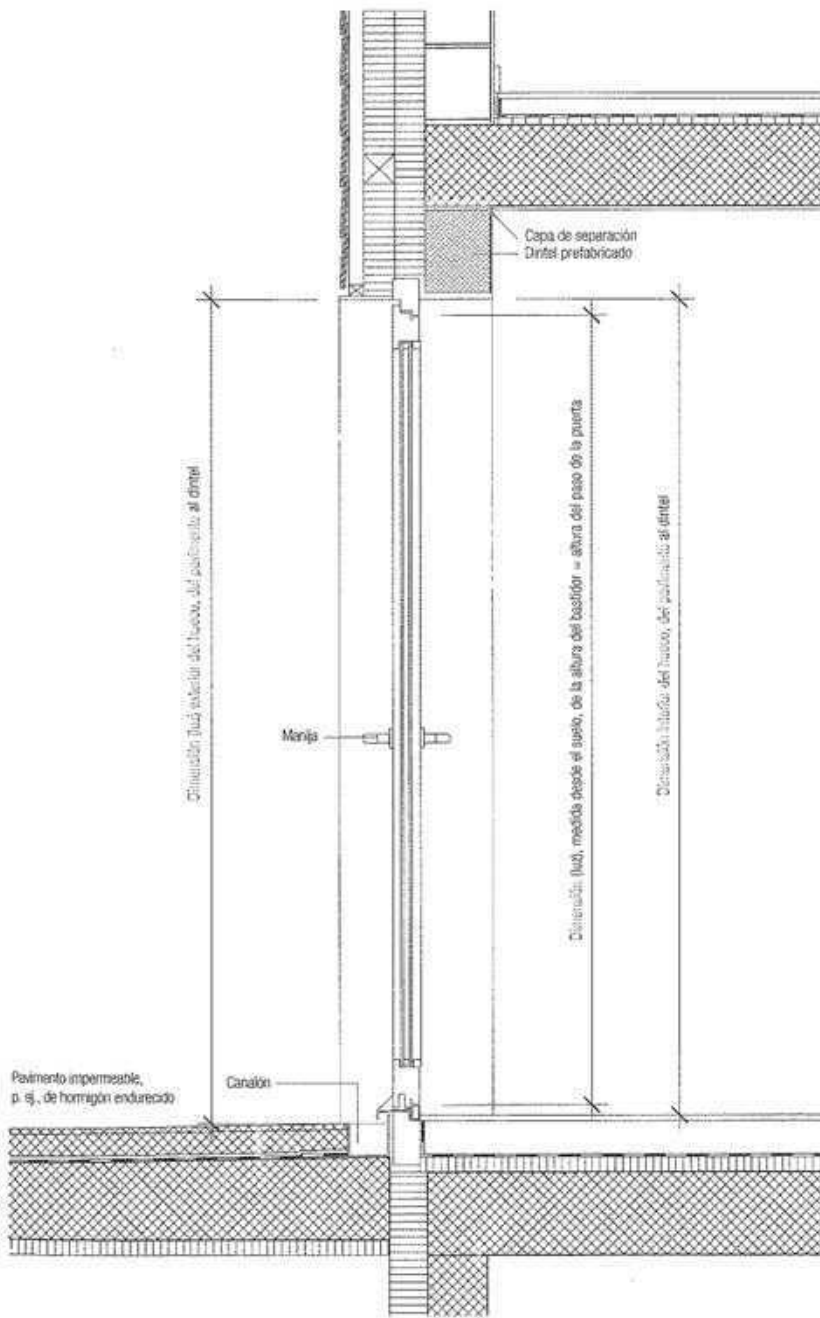
Planta

Puerta abatible exterior de madera y vidrio

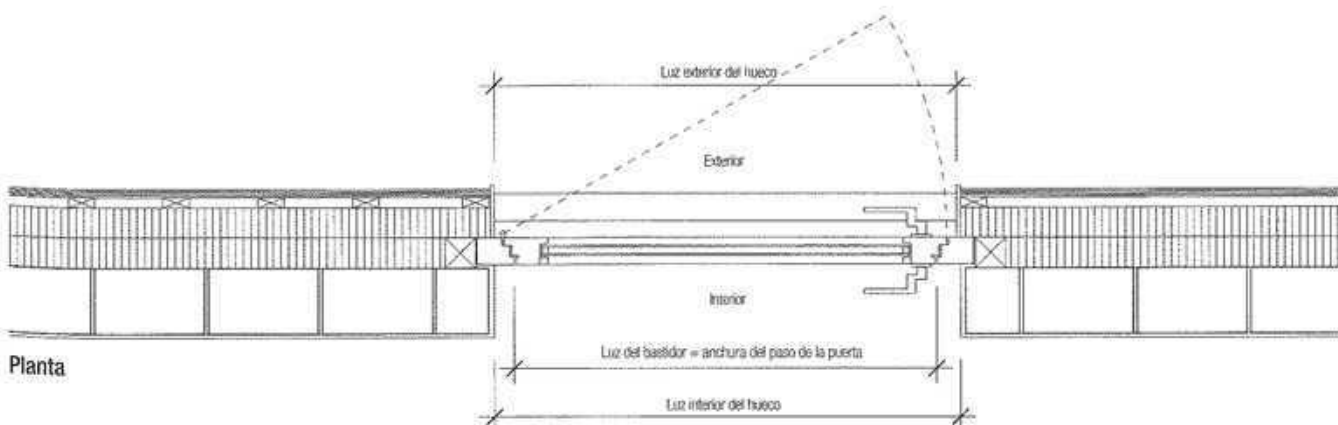
1:20

Puerta de acceso

Marco, revestimiento exterior de muro ligero, herrajes en la parte derecha, apertura al exterior de hoja acristalada, rebajada y enrasada con el marco.



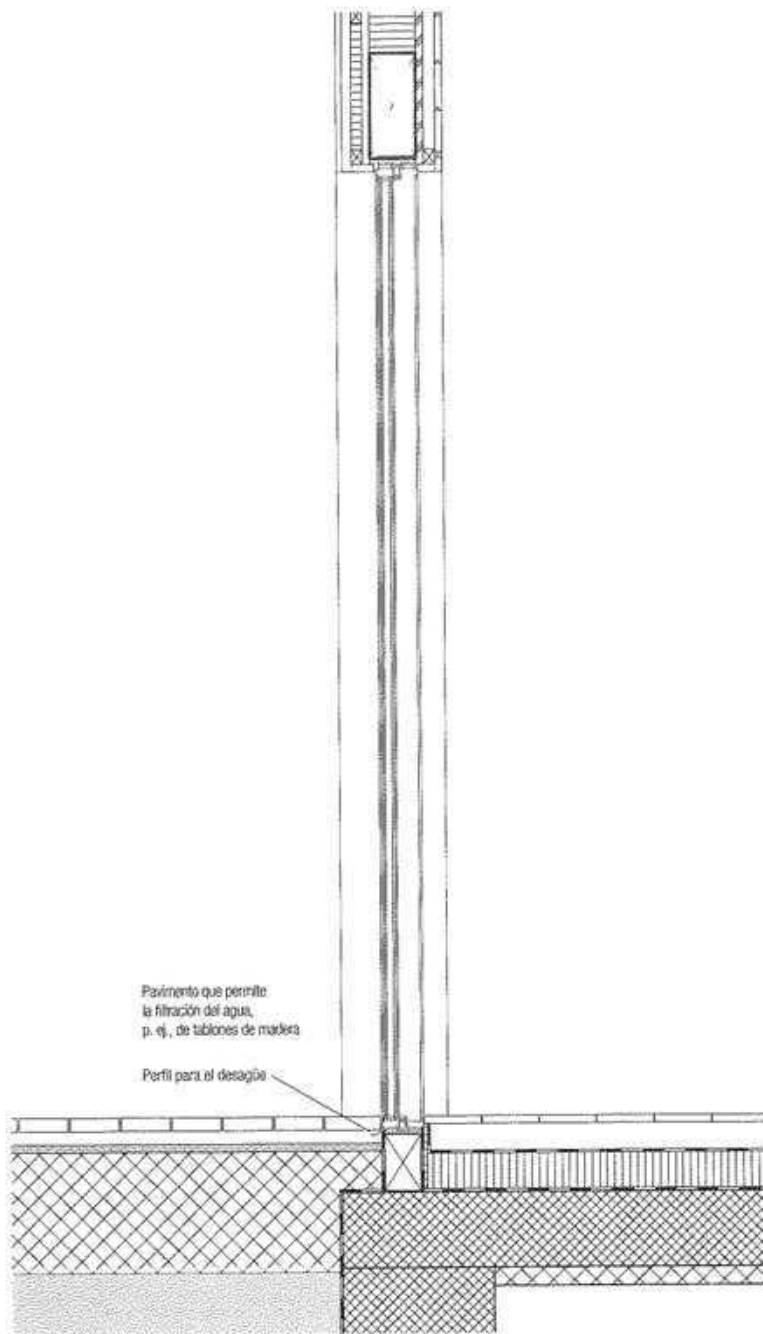
Sección



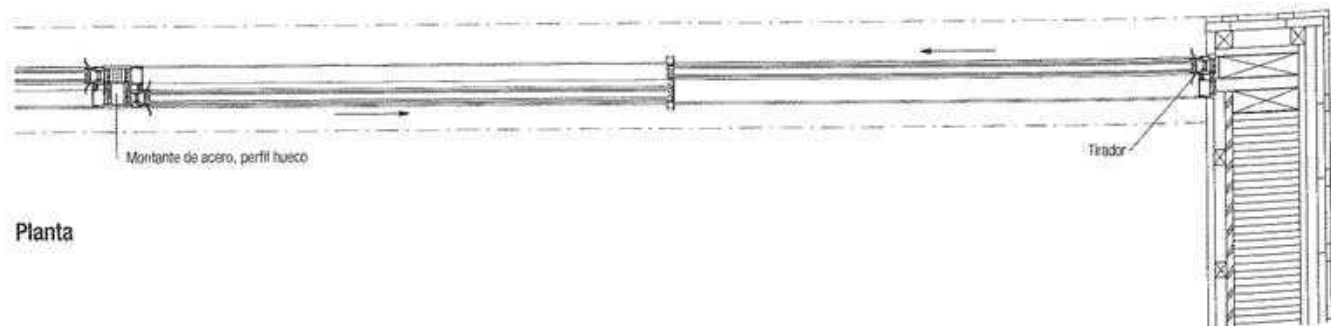
Planta

Puerta corredera exterior de vidrio y metal

1:20



Sección



Planta

Puerta ventana para terraza

Puerta especial, marca Sky-frame

Puerta de dos guías con perfiles de aluminio aislados térmicamente

Las láminas de vidrio descansan en marcos de aluminio fijados al techo, la pared y el suelo. Los elementos móviles se apoyan en rodamientos con reducida resistencia al deslizamiento.

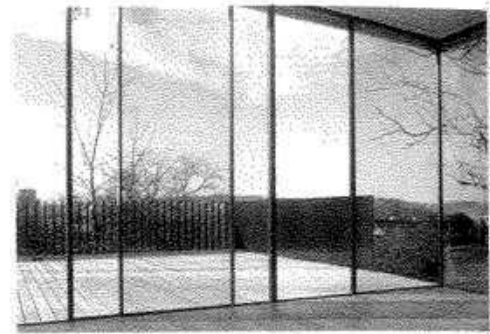
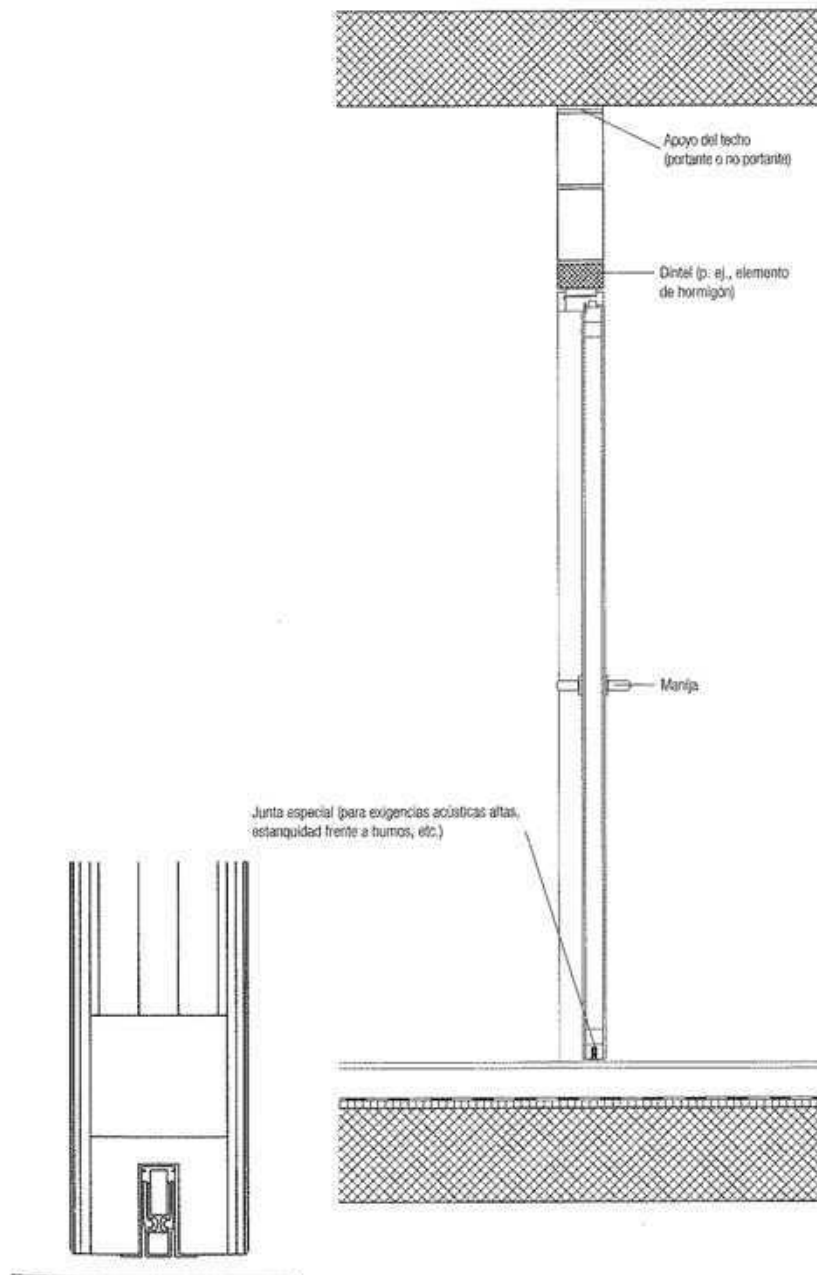


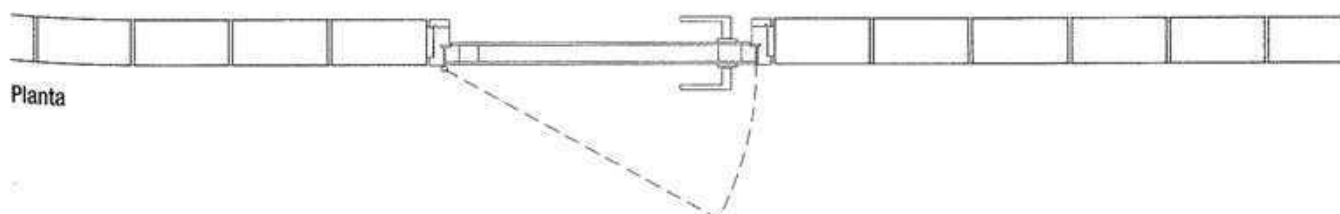
Fig. 1: Peter Kunz: casa en Winterthur, Suiza, 2003

Puerta abatible interior de madera

1:20



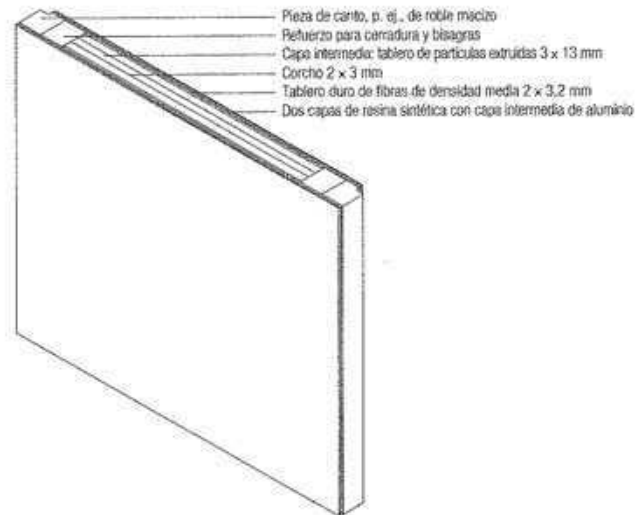
Sección



Planta

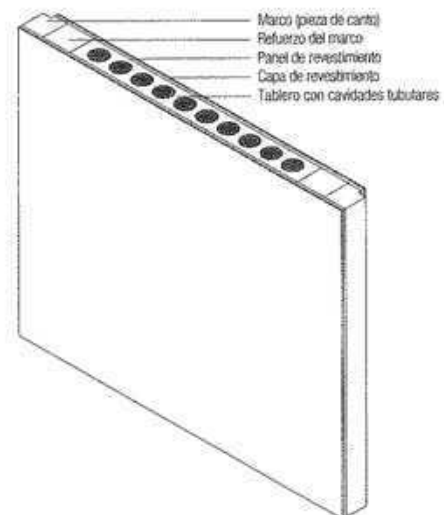
Puerta interior

Puerta con bastidor de madera maciza, relleno, ladrillo visto, herrajes en la parte izquierda, hoja rebajada, enrasada con el marco



Composición de la hoja: Riwag-AluMax 59 mm

Revestida con tablero duro de fibras de densidad media, elevado índice de aislamiento acústico $R_w = 42$ dB

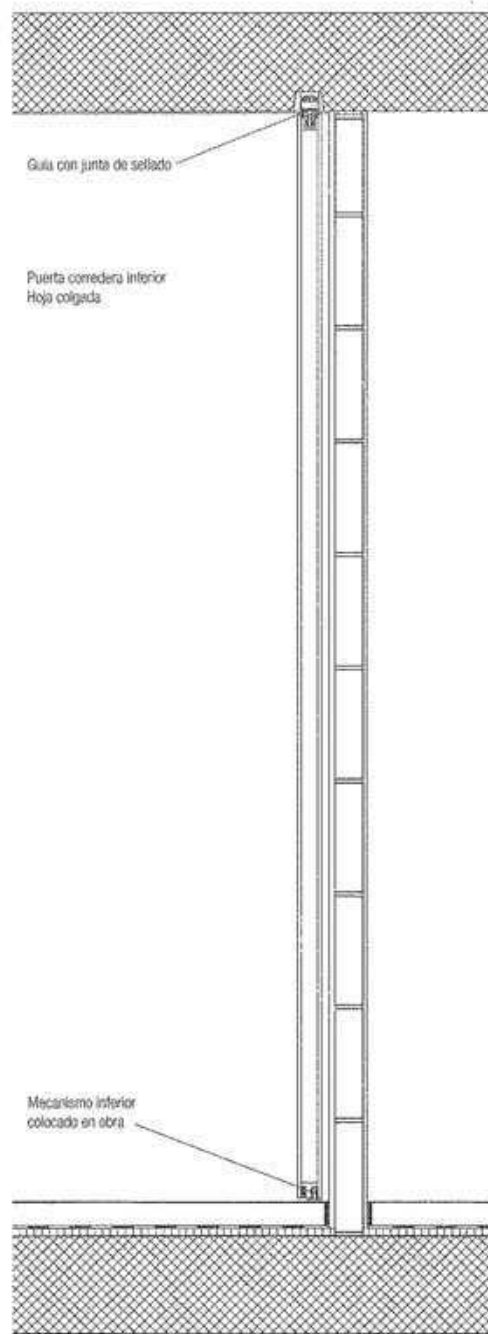
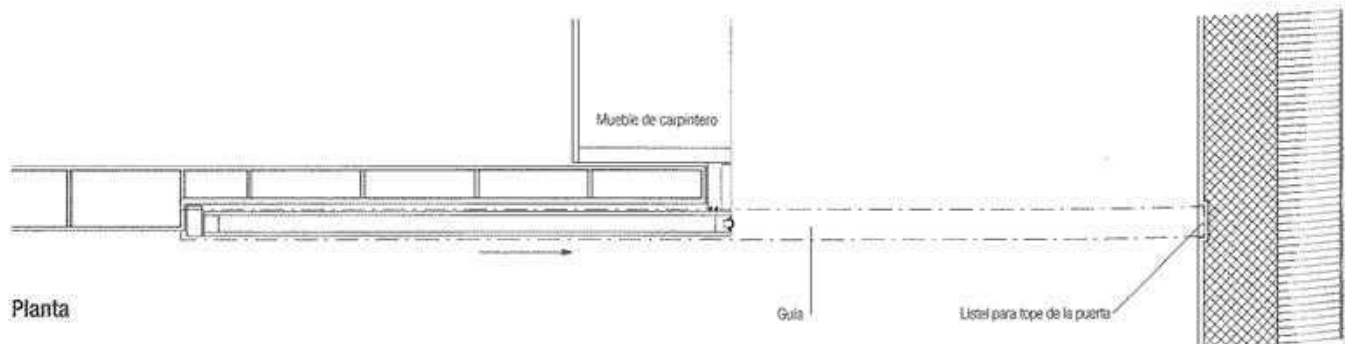


Composición de la hoja: tableros con cavidades tubulares

Revestimiento para pintar, reducido índice de aislamiento acústico

Puerta corredera interior de madera

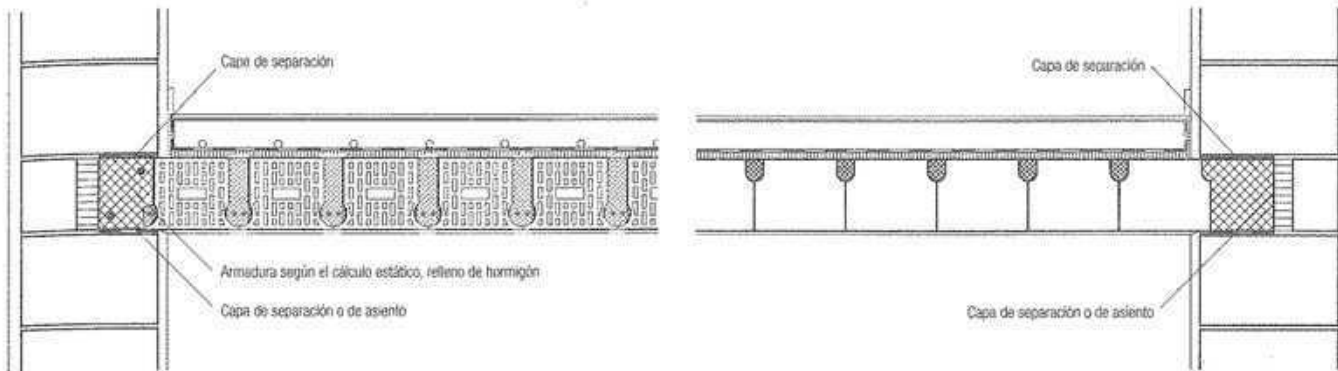
1:20

**Sección****Planta****Puerta interior**

Una hoja, antepuesta a la pared en un nicho, con reducido índice de aislamiento acústico

Forjado prefabricado de elementos cerámicos

1:20



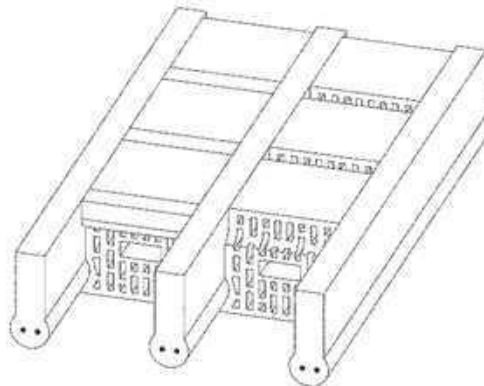
Composición de la fachada

Muro de fábrica de una hoja

- Revoco 35 mm
- Muro de fábrica 36,5/24,8/23,8 365 mm
- Enlucido 25 mm

Composición del forjado

- Pavimento, p. ej., de baldosas cerámicas 10 mm
- Mortero de agarre 1-2 mm
- Suelo radiante 80 mm
- Capa de separación (p. ej., lámina de 1 mm) 25 mm
- Aislamiento contra el ruido de impacto 20 mm
- Forjado prefabricado de elementos cerámicos 190-240 mm
- Enlucido 10 mm



Estructura

- Sistema constructivo con sus elementos dispuestos en la misma dirección (también es posible no disponerlos en la misma dirección: sistemas de casetones)
- Capa inferior del mismo material
- No es necesario verter el hormigón sobre los paneles
- No es posible construir voladizos
- No es idónea para cargas puntuales
- Placas de hasta 6,6 m de longitud y 2,5 m de anchura (p. ej., Bricosol)

Proceso constructivo

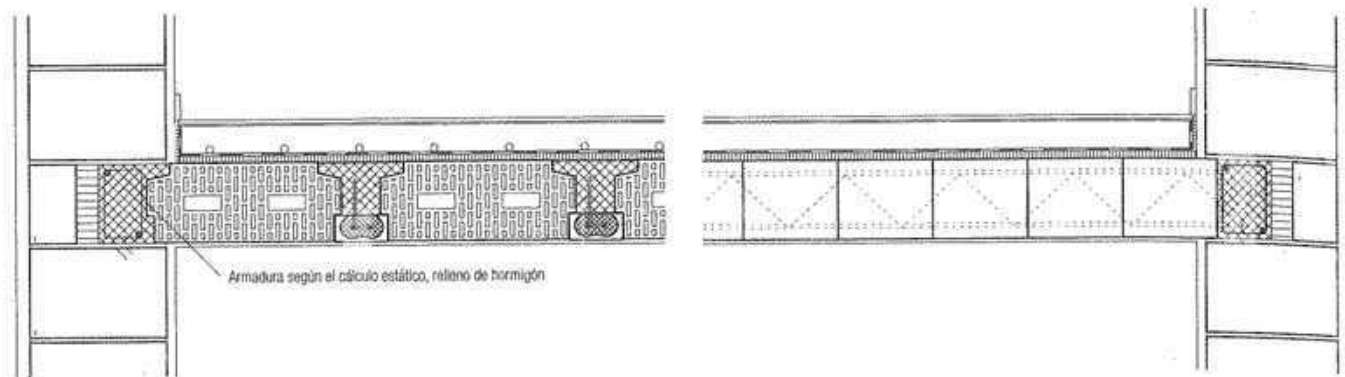
- Sistema fácilmente adaptable
- No necesita encofrado
- Apenas necesita apuntalamiento
- Construcción en seco, su colocación es posible durante todo el año
- Transitable al día siguiente de su montaje



Fig. 1: Arriba: piezas de un elemento cerámico prefabricado: entre las bovedillas, viguetas de hormigón armado; abajo: montaje de los elementos prefabricados (en este caso: Bricosol)

Forjado de bovedillas cerámicas

1:20



Composición de la fachada

Muro de fábrica de una capa

- Revoco 35 mm
- Muro de fábrica 36,5/24,8/23,8 365 mm
- Enlucido 25 mm

Composición del forjado

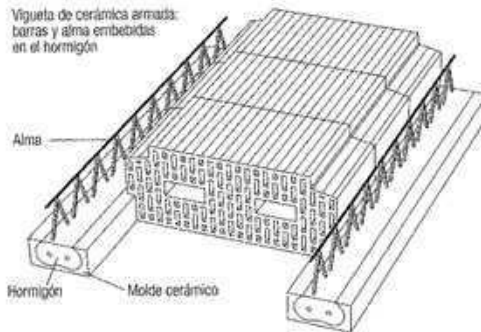
- Pavimento, p. ej., de baldosas cerámicas 10 mm
- Mortero de agarre 35 mm
- Suelo radiante 80 mm
- Capa de separación (p. ej., lámina de 1 mm) 25 mm
- Aislamiento contra el ruido de impacto 20 mm
- Forjado de bovedillas cerámicas 210-250 mm
- Enlucido 10 mm

Vigüeta de cerámica armada: barras y alma embebidas en el hormigón

Alma

Hormigón

Molde cerámico



Estructura

- Sistema constructivo con sus elementos dispuestos en la misma dirección (también es posible no disponerlos en la misma dirección: sistemas de casetones)
- Capa inferior del mismo material
- Con o sin vertido de hormigón, en función de las cargas
- No es posible construir voladizos
- No es idónea para cargas puntuales
- Luces con armado in situ de hasta 7 m
- Luces con pretensado de hasta 7,5 m

Proceso constructivo

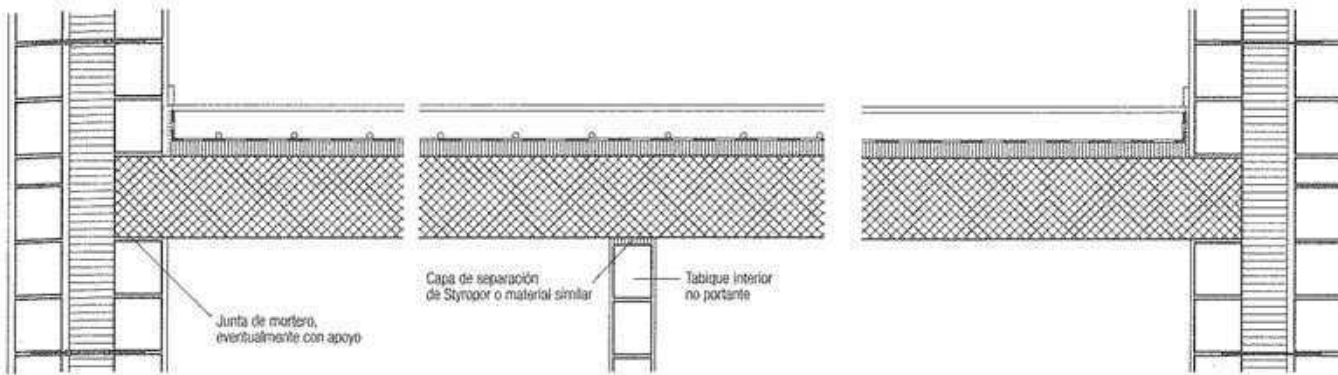
- Armadura in situ: sistema para forjados fácilmente adaptable
- Pretensado: vigüetas pretensadas. La mayor parte de los sistemas se encuentra dentro de esta categoría
- No necesita encofrado
- Apenas precisa apuntalamiento



Fig. 2: Colocación de una bovedilla entre dos vigüetas armadas

Forjado con losa de hormigón

1:20



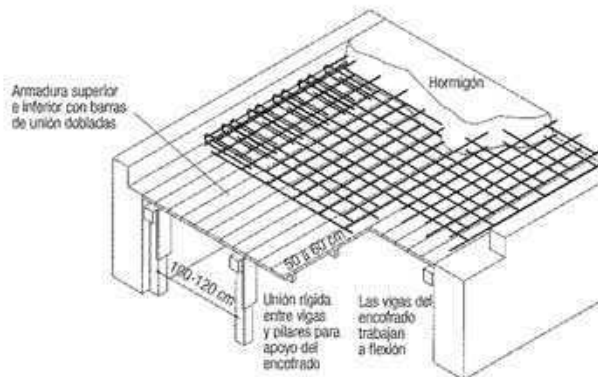
Composición de la fachada

Muro de fábrica de dos caras

- Revoco	20 mm
- Fábrica de ladrillo	125 mm
- Cámara de aire (tolerancia de obra)	20 mm
- Aislamiento térmico	150 mm
- Fábrica de ladrillo	125 mm
- Enlucido	15 mm

Composición de forjado

- Pavimento, p. ej., parqué encolado	15 mm
- Suelo radiante	80 mm
- Capa de separación (p. ej., lámina de 1 mm)	
- Aislamiento contra el ruido de impacto	40 mm
- Losa de hormigón barnizado (el grosor depende de la luz)	210 mm



Estructura

- Sistema constructivo con sus elementos dispuestos en la misma dirección (también es posible no disponerlos en la misma dirección; sistemas de casetones)
- Forjados apoyados en dos o cuatro caras
- Luces convenientes:
 - Hasta 5 m con elementos individuales
 - Hasta 7 m para losas continuas
- Estimación de los grosores:
 - 1/30 de la luz para losas rectangulares
 - 1/35 de la luz para losas cuadradas
- Luces con armadura in situ de hasta 7 m
- Luces con pretensado de hasta 7,5 m

Proceso constructivo

- Elevado uso de material en relación con las luces conseguidas
- Alto grado de humedad en obra

Encofrado

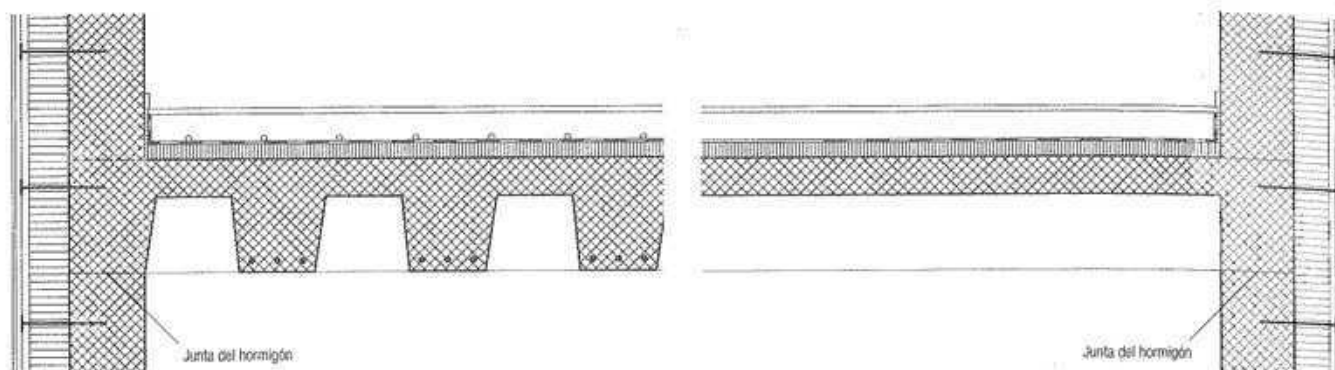
- Hormigón vertido in situ: procesos de encofrado y apuntalado muy laboriosos



Fig. 3: Colocación de encofrado, armadura y conductos para las instalaciones (electricidad, agua, ventilación, etc.) antes del vertido del hormigón

Forjado con losa nervada de hormigón

1:20



Composición de la fachada

Aislamiento exterior con revoco

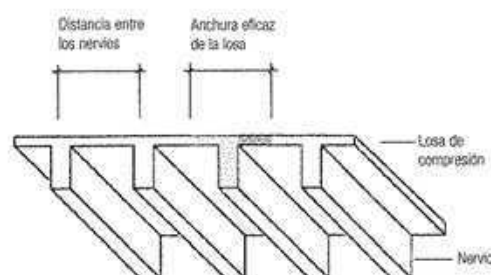
- Revoco mineral
- Capa de agarre
- Enfoscado mineral
- Aislamiento térmico
- Hormigón (capa portante)
- Capa de agarre
- Enlucido

2 mm
4 mm
20 mm
150 mm
200 mm
15 mm

Composición del forjado

- Pavimento, p. ej., losas de piedra natural
- Mortero de agarre
- Suelo radiante
- Capa de separación (p. ej., lámina de 1 mm)
- Aislamiento contra el ruido de impacto
- Losa nervada de hormigón (el grosor depende de la luz)

15 mm
3-5 mm
80 mm
40 mm
variable



Estructura

- Sistema constructivo con sus elementos dispuestos en la misma dirección
- Menor peso propio que la losa maciza
- Luces convenientes:
 - 4-12 m con elementos individuales
 - 5-20 m para losas continuas
- Estimación de los grosores:
 - Losa 5-8 cm
 - Nervio 30-máx. 90 cm
- Posibilidad de tendido de instalaciones entre los nervios

Física de la construcción

- Relación entre masa y superficie adecuada para la capacidad de acumulación térmica

Proceso constructivo, encofrado

- Gasto elevado de encofrado de la zona sometida a esfuerzos de tracción
- Gasto medio con un encofrado prefabricado recuperable
- Encofrado in situ, aumenta el gasto
- Prefabricación: losas nervadas ligeras, elementos para montaje en seco

Comportamiento acústico

- Con grandes superficies se mejora la acústica del espacio

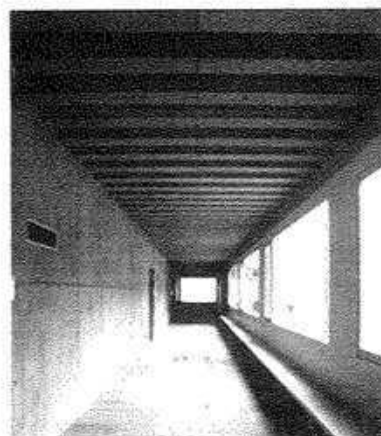
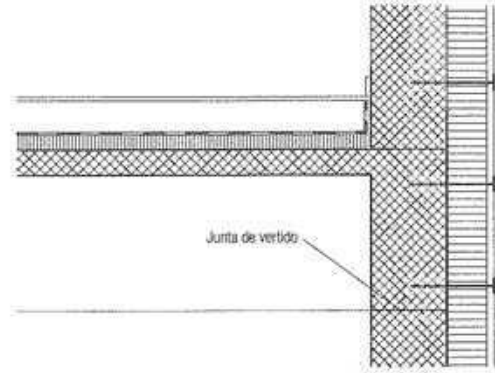
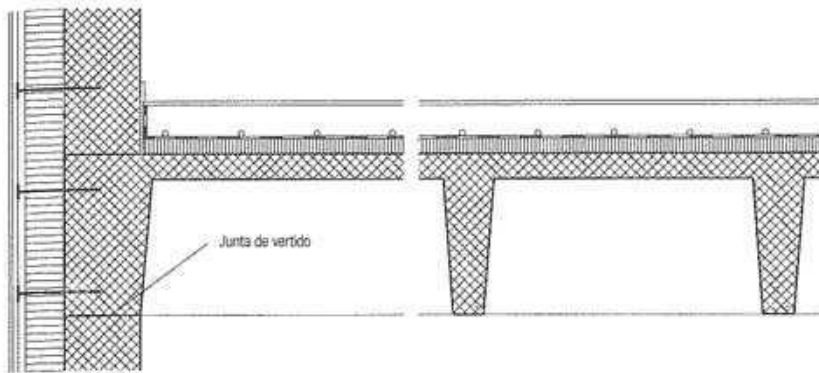


Fig. 4: Bearth & Deplazes: escuela en Vella, Suiza, 1997

Forjado de losa reticulada (casetones) de hormigón

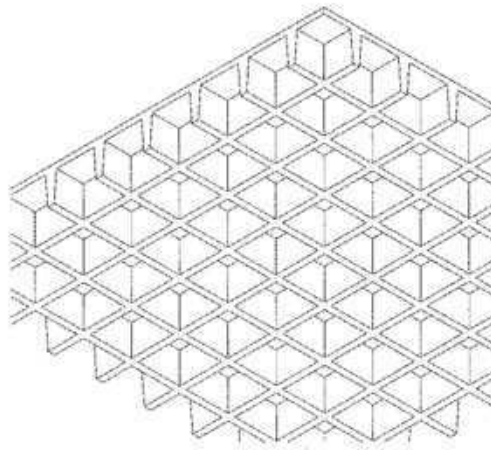
1:20

**Composición de la fachada***Aislamiento exterior con revoco*

- Revoco mineral	2 mm
- Capa de agarre	4 mm
- Enfoscado mineral	20 mm
- Aislamiento térmico 5-110-10 (tres capas), fijación con tacos de plástico	165 mm
- Hormigón (capa portante)	200 mm
- Capa de agarre	
- Enlucido	15 mm

Composición del forjado

- Pavimento, p. ej., baldosas de clínker	15 mm
- Mortero de agarre	3-5 mm
- Suelo radiante	80 mm
- Capa de separación (p. ej., lámina de 1 mm)	
- Aislamiento contra el ruido de impacto	40 mm
- Losa reticulada de hormigón (el grosor depende de la luz)	variable

**Estructura**

- Sistema constructivo con sus elementos dispuestos en dos direcciones
- Modulación
- Posibilidad de salvar grandes luces con nervios de suficiente altura

Proceso constructivo

- Gasto reducido de material (hormigón in situ)
- Gran gasto de encofrado para construcciones in situ

Variantes de encofrado

- Elementos huecos colocados sobre encofrado plano (casetones de yeso, madera, acero o plástico)
- Encofrado prefabricado recuperable
- Encofrado perdido (p. ej., Durisol)
- Es más fácil el desencofrado de piezas cónicas

Comportamiento acústico

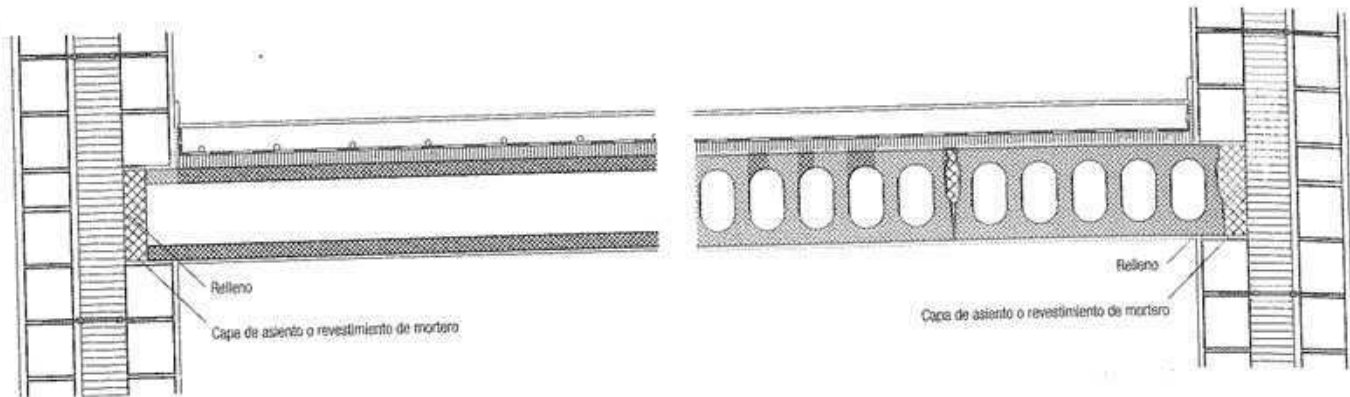
- Con grandes superficies se mejora la acústica del espacio



Fig. 5: Louis I. Kahn: Yale University Art Gallery, New Haven (Connecticut), Estados Unidos, 1953

Forjado de placas aligeradas de hormigón

1:20



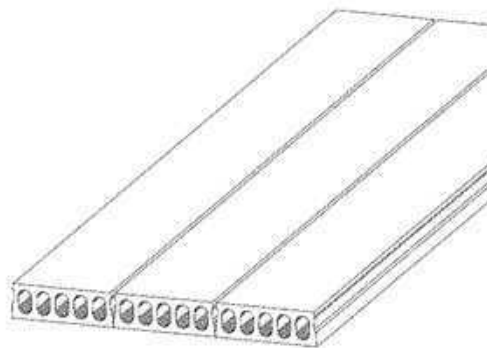
Composición de fachada

Muro de fábrica de dos capas con revoco

- Revoco	20 mm
- Muro de ladrillo	125 mm
- Cámara de aire (tolerancia de obra)	20 mm
- Aislamiento térmico	150 mm
- Muro de ladrillo	125 mm
- Enlucido	15 mm

Composición del forjado

- Pavimento, p. ej., linóleo	5 mm
- Suelo radiante	80 mm
- Capa de separación (p. ej., lámina de 1 mm)	
- Aislamiento contra el ruido de impacto	40 mm
- Placa aligerada de hormigón	120-300 mm
- Capa de agarre	
- Enlucido	10 mm



Estructura

- Sistema constructivo con sus elementos dispuestos en una dirección (p. ej., de Brun Elementwerk)
- Luces de hasta 12 m
- Grosor de hasta 300 mm

Proceso constructivo

- Prefabricación
- Breve duración del montaje
- Construcción en seco: breve período de secado
- Montaje en seco

Encofrado

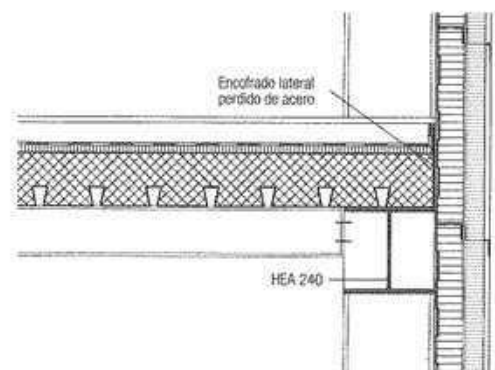
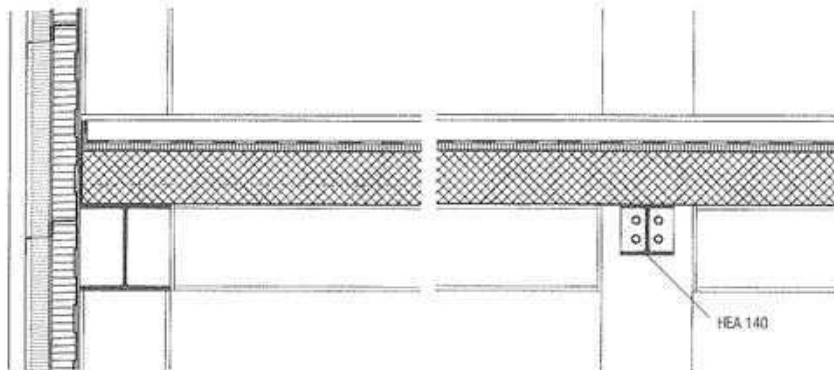
- No precisa apuntalamiento
- Superficie inferior lisa



Fig. 6: Los elementos de hormigón se colocan en obra con la grúa

Forjado mixto de hormigón y perfiles de chapa

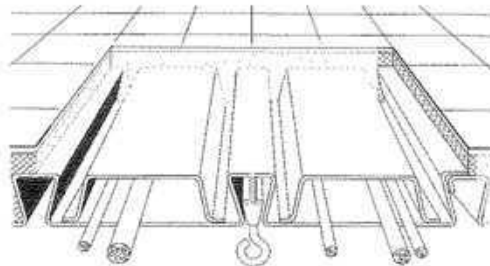
1:20



Composición de la fachada

Revestimiento exterior con cámara de aire detrás

- Chapa ondulada galvanizada variable
- Cámara de aire ventilada (colocación vertical de la chapa) > 40 mm
- Aislamiento térmico 50 mm
- Aislamiento térmico colocado entre el entramado de perfiles de chapa de acero galvanizado 100 mm
- Vigas y pilares de acero variable



Chapa Holorib®



Chapa grecada

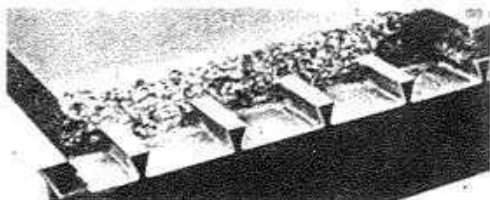
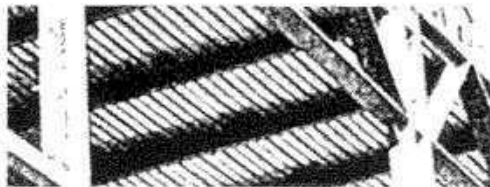


Fig. 7: (arriba) cara inferior de la chapa grecada, (abajo) chapa grecada con el hormigón vertido encima

Composición del forjado

- Pavimento, p. ej., cemento con fibras de madera 10 mm
- Mortero 60 mm
- Capa de separación (p. ej., lámina de 1 mm)
- Aislamiento contra el ruido de impacto 20 mm
- Losa de hormigón armado 130-180 mm
- Chapa grecada (grecada trapezoidal) o de Holorib
- Vigas principales y secundarias de acero (p. ej., perfiles HEA o HEB) variable

Estructura

- Sistema constructivo con sus elementos dispuestos en una dirección
- Chapa grecada u Holorib
- Relativa estabilidad al fuego
- Fácil conducción de las instalaciones
- Luces en la longitud del plegado de la chapa de hasta 6 m (sin vigas)
- Sección constructiva: 13-22 cm, hormigón vertido encima 8-20 cm

Proceso constructivo

- Apenas necesita apuntalamiento
- Gasto reducido del trabajo en obra

Encofrado

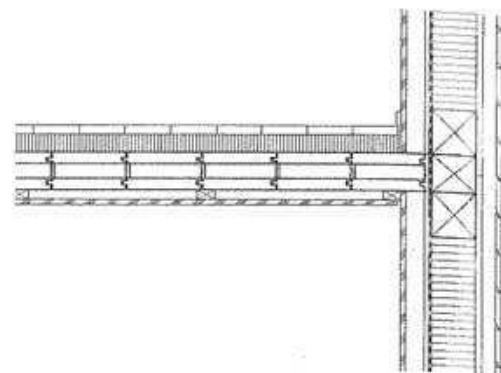
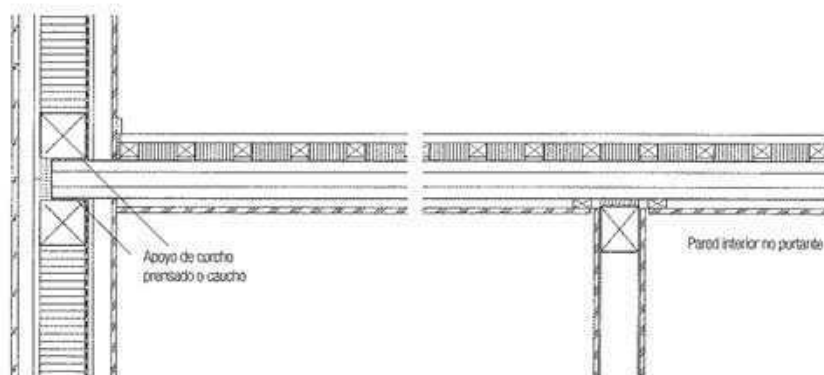
- No precisa encofrado ni armadura principal
- Poco peso para el montaje

Comportamiento acústico

- Buen aislamiento al ruido del aire y de impacto
- ¡Tener en cuenta la posible propagación del ruido por otras vías!

Forjado de madera maciza

1:20



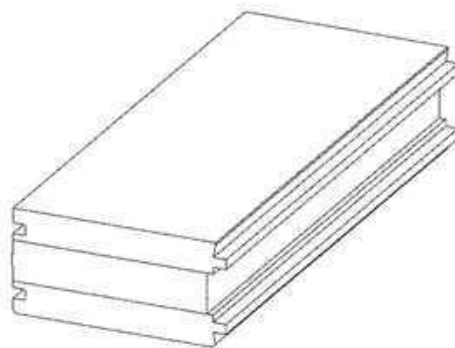
Composición de la fachada

Entramado de piezas ligeras

- Entablado	24 mm
- Rastreles, cámara de aire ventilada	40 mm
- Tablero de fibras blando, estanco al viento	18 mm
- Aislamiento térmico, entre elementos estructurales	150 mm
- Barrera de vapor	
- Tabla	
- Rastreles (instalaciones)	50 mm
- Tablero reforzado con fibrocemento	12 mm

Composición del forjado

- Tarima	24 mm
- Aislamiento contra el ruido de impacto, rastreles	40 mm
- Bandas de goma como capa de separación bajo los listones (contra el ruido de impacto)	
- Forjado de madera maciza (grosor dependiendo de las luces)	80-120 mm
- Rastreles	24 mm
- Tablero reforzado con fibrocemento	15 mm



Estructura

- Sistema constructivo con sus elementos dispuestos en una dirección
- Suelo rígido sin oscilaciones
- Luces de 4-5 m
- Sección constructiva: 80-120 mm, a partir de 120 mm, elementos huecos
- Masa relativamente grande (inercia elevada)

Proceso constructivo

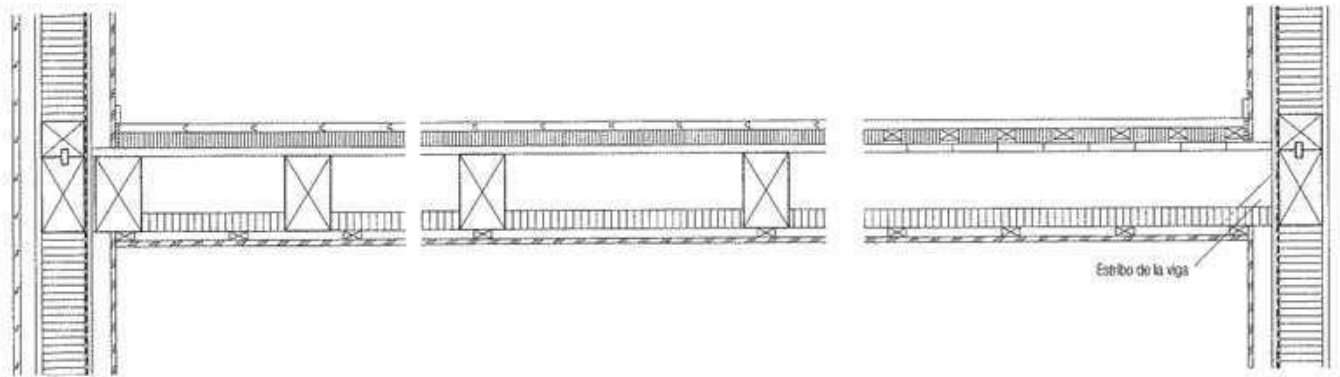
- Prefabricación de los elementos de madera maciza encolada
- Construcción en seco
- Sencillez de montaje
- Breve período de construcción
- Es necesario la planificación global de la obra



Fig. 8. Colocación de los elementos de madera maciza

Forjado de vigas de madera

1:20



Composición de la fachada

Entramado ligero

- Entablado	24 mm
- Rastreles, cámara de aire ventilada	40 mm
- Tablero de fibras blando, estanco al viento	18 mm
- Aislamiento térmico, entre elementos estructurales	150 mm
- Barrera de vapor	
- Tabla	
- Rastreles (instalaciones)	50 mm
- Tablero reforzado con fibrocemento	12 mm

Composición del forjado

- Tarima maciza (machihembrada)	24 mm
- Aislamiento contra el ruido de impacto, rastreles	
- Bandas de goma como capa de separación bajo los listones (contra el ruido de impacto)	40 mm
- Suelo oculto (p. ej., entablado diagonal con juntas a tope)	20 mm
- Vigas (sección dependiente de las luces)	120/200 mm
- Aislamiento acústico	50 mm
- Rastreles	24 mm
- Tablero reforzado con fibrocemento	15 mm



Fig. 9: Forjados de diferentes sistemas constructivos



Fig. 10: Daniele Marques: casa Ober-Riffli, Emmenbrücke, Suiza, 1993

Estructura

- Sistema constructivo con sus elementos dispuestos en una dirección
- Distancia entre vigas 50-80 cm
- En el suelo se producen fácilmente oscilaciones
- Mejor comportamiento portante al fijar los apoyos
- Efecto de arriostramiento con medidas adicionales, como, p. ej., con la colocación de entablados en diagonal (suelo oculto, capa inferior)
- Luces máximas de 5 m.

Proceso constructivo

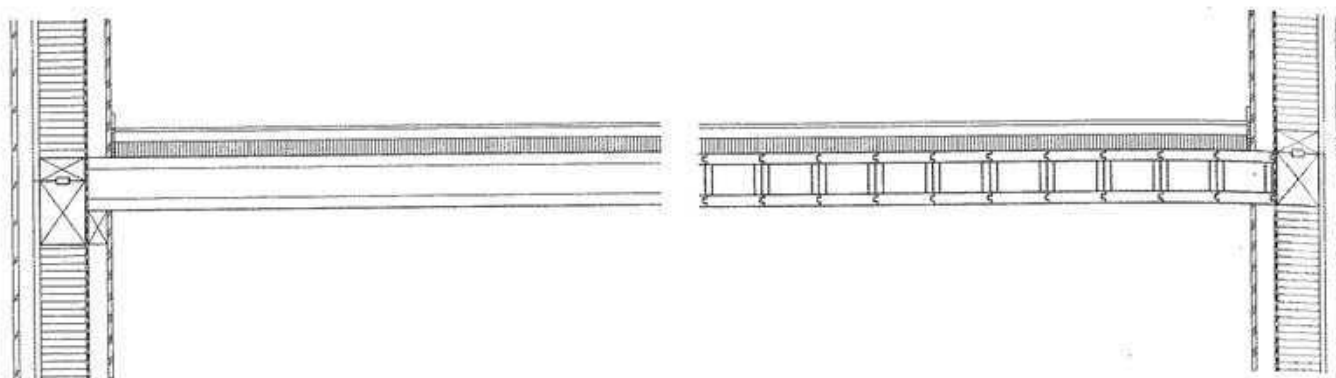
- Construcción en seco
- Sencillez de montaje
- Breve período de construcción
- Ejecución intensiva

Comportamiento acústico

- Difícil aislamiento frente al ruido del aire y de impacto

Forjado de vigas cajón

1:20



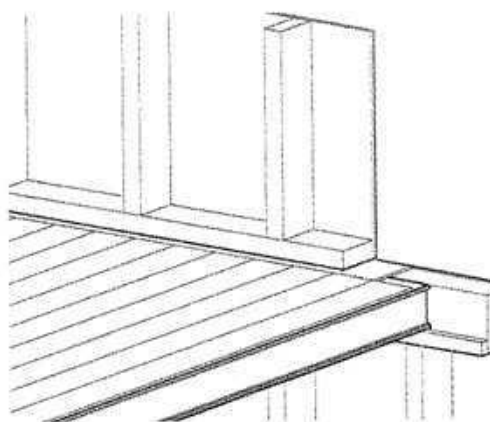
Composición de la fachada

Entramado ligero

- Enladrado	24 mm
- Rastreles, cámara de aire ventilada	40 mm
- Tablero de fibras blando, estanco al viento	18 mm
- Aislamiento térmico, entre elementos estructurales	150 mm
- Barrera de vapor	
- Rastreles (instalaciones)	50 mm
- Tablero reforzado con fibrocemento	12 mm

Composición del forjado

- Pavimento, p. ej., parquet encolado	10 mm
- Panel de tres capas	27 mm
- Paneles de aislamiento contra el ruido de impacto 2 x 20 mm	40 mm
- Forjado de vigas cajón apoyadas sobre listones portantes (sección estructural dependiente de las luces)	120-320 mm
- Barniz	



Estructura

- Vigas huecas compuestas de tablas macizas (p. ej., Lignatur)
- Gran capacidad portante con reducido peso propio
- Sistema constructivo con sus elementos dispuestos en una dirección
- Suelo rígido sin oscilaciones
- Luces de 4-8 m
- Sección constructiva: 12-32 cm

Proceso constructivo

- Sencillez de montaje
- Construcción en seco
- Prefabricación de las vigas huecas en elementos individuales o agrupados
- Breve período de ejecución

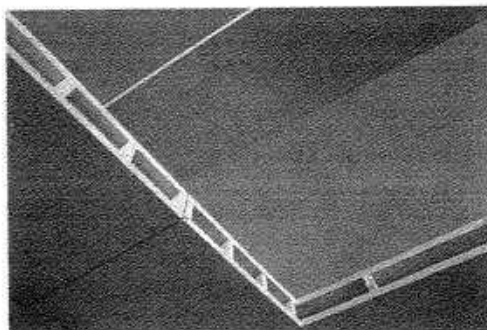
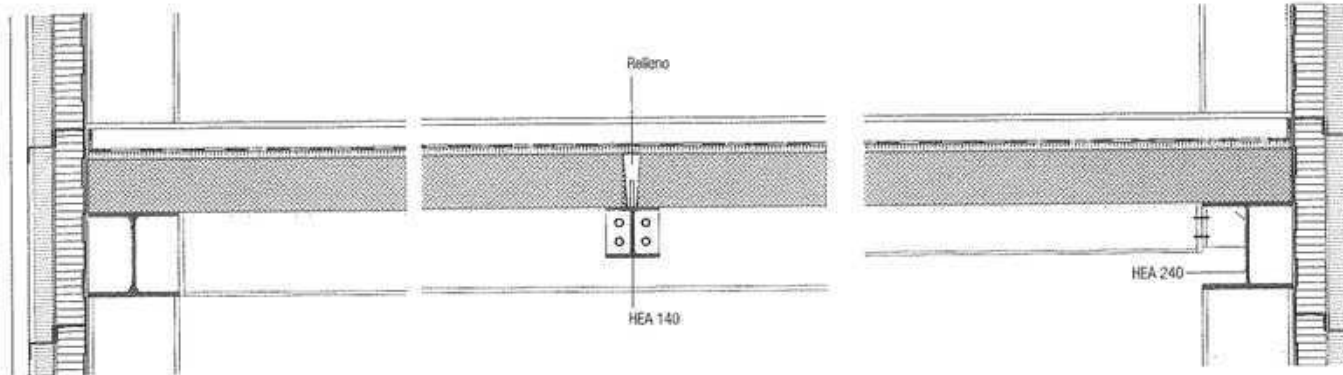


Fig. 11: Hueco de un forjado con las vigas cajón de madera todavía sin cerrar

Forjado de acero

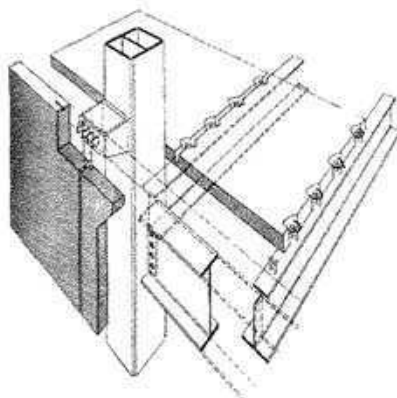
1:20

**Composición de la fachada***Revestimiento exterior ventilado*

- | | |
|---|----------|
| - Chapa ondulada galvanizada | variable |
| - Cámara de aire ventilada (colocación vertical de la chapa) | > 40 mm |
| - Aislamiento térmico | 50 mm |
| - Aislamiento térmico colocado entre los perfiles de chapa y el revestimiento interior de la chapa de acero | 100 mm |
| - Vigas y pilares de acero | variable |

Composición del forjado

- | | |
|--|------------|
| - Pavimento, p. ej., cemento con fibras de madera | 10 mm |
| - Mortero | 60 mm |
| - Capa de separación (p. ej., lámina de 1 mm) | |
| - Aislamiento contra el ruido de impacto | 20 mm |
| - Losa de hormigón armado | 150-300 mm |
| - Vigas principales o secundarias de acero (p. ej., perfiles HEA o HEB)) | variable |

**Estructura**

- Sistema constructivo con sus elementos dispuestos en una dirección
- Modulación (anchura de paneles normalizada)
- Prefabricación
- Conducción de las instalaciones entre las vigas
- Peso reducido
- Limitada estabilidad frente al fuego debido a las vigas de acero
- Luces de hasta 6 m

Proceso constructivo

- Construcción en seco
- No precisa encofrado ni apuntalamiento
- Rápido montaje

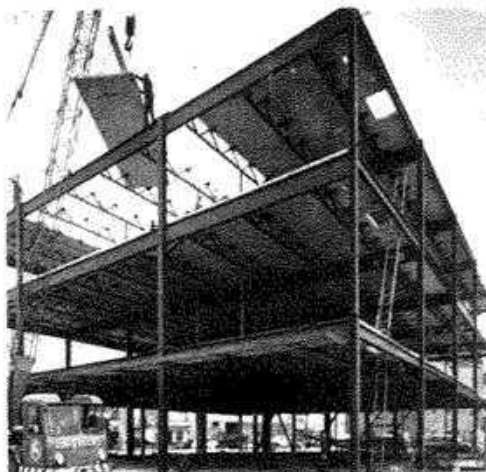


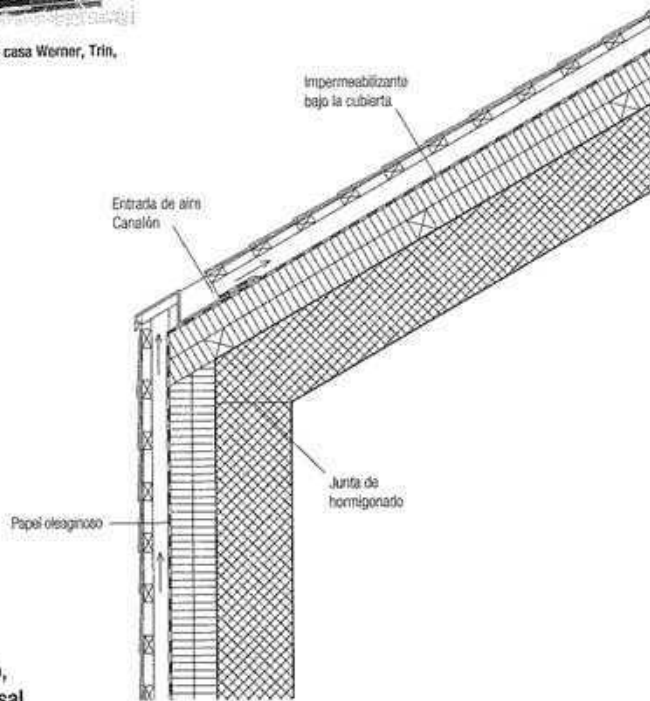
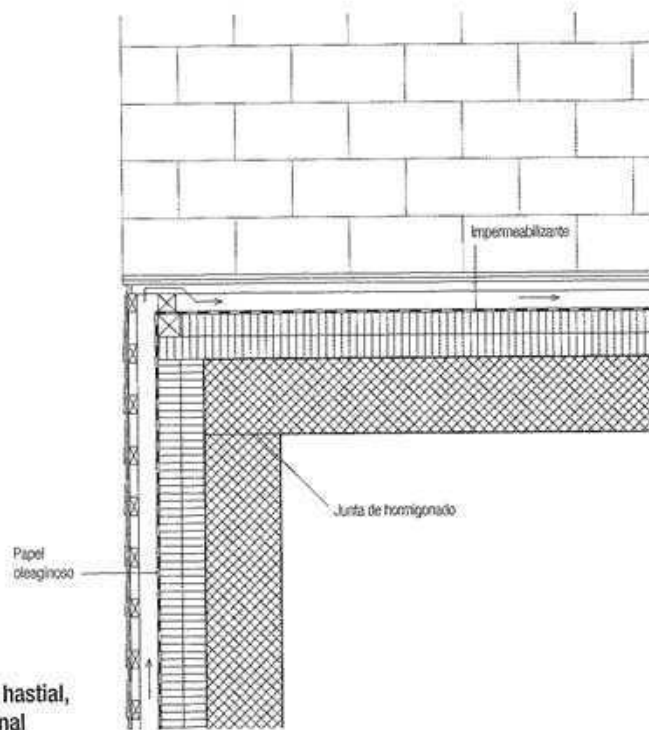
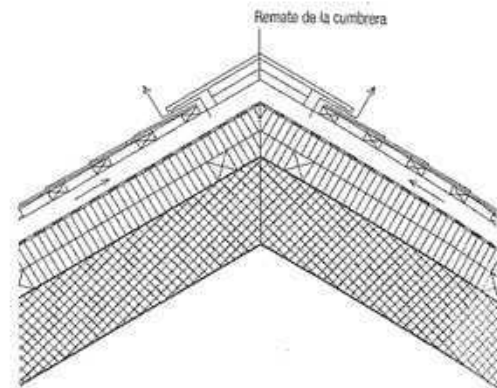
Fig. 12: Perfiles laminados como vigas principales y cerchas ligeras como vigas secundarias

Cubierta inclinada caliente

Fibrocemento y revestimiento exterior ligero



Fig. 1: Bearth & Deplazes: casa Werner, Trin, Suiza, 1994

Remate del alero,
sección transversalEncuentro con el hastial,
sección longitudinal

Cumbre

Composición de la cubierta

- Placas de fibrocemento con la forma de las piezas de pizarra (Eternit)	aprox. 3,5 mm
- Correas 24/48 mm	24 mm
- Contracorreas, cámara de aire ventilada 48/48 mm	48 mm
- Impermeabilizante bajo cubierta sobre los rastreles	3 mm
- Aislamiento térmico colocado entrecruzadamente entre los rastreles	150 mm
- Cubierta de hormigón	200 mm
Total	aprox. 430 mm

Composición de la fachada

- Pizarra (Eternit)	35 mm
- Correas	24 mm
- Contracorreas, cámara de aire ventilada	48 mm
- Papel oleaginoso	1 mm
- Aislamiento térmico colocado entrecruzadamente entre los rastreles	150 mm
- Pared de hormigón	200 mm
Total	458 mm

Cubierta inclinada caliente a un agua

Fibrocemento y muro de fábrica vista

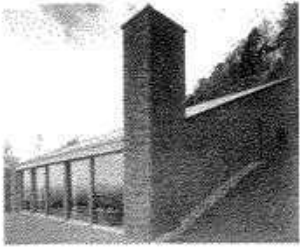
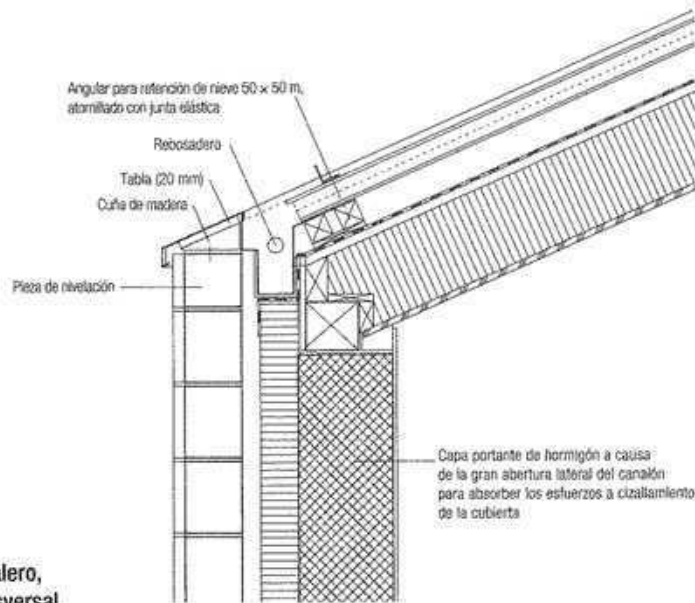
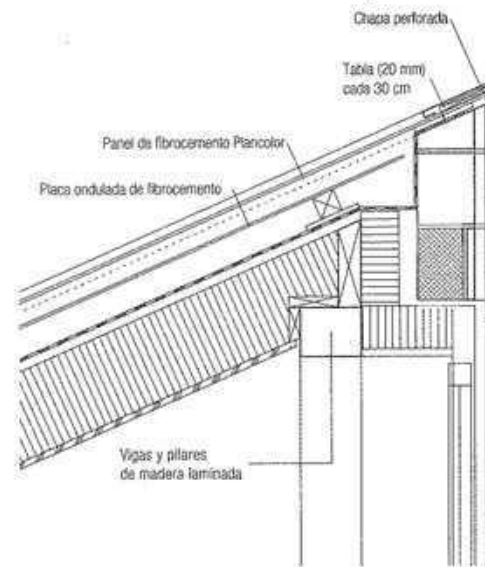


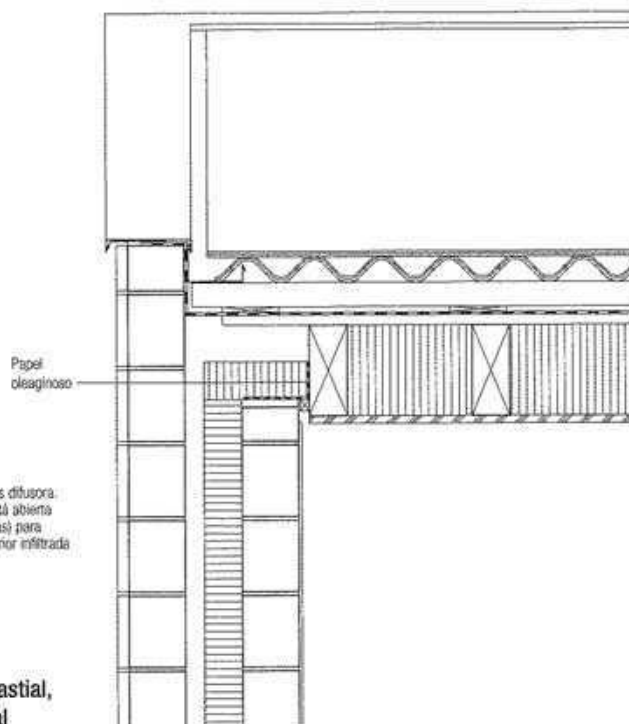
Fig. 2: Beat Rothen: casa Leibundgut, Uhriesen, Suiza, 1997



Remate del alero, sección transversal



Cumbrera



Encuentro con el hastial, sección longitudinal

Composición de la cubierta

- Cubrición: sistema cubierta integral Eternit	
- Panel de fibrocemento Plancolor	7 mm
- Placa ondulada de fibrocemento Welleternit	57 mm
- Correa 60/60 mm	60 mm
- Tabla	20 mm
- Impermeabilizante Pavatex	
- Elemento prefabricado de madera compuesto por:	260 mm
Tablero de fibra blanda Gutex	
Pares de madera con aislante intermedio Isofloc	
Panel de tres capas de madera de pino (estanco al vapor de agua)	
Total	404 mm

Composición de la fachada

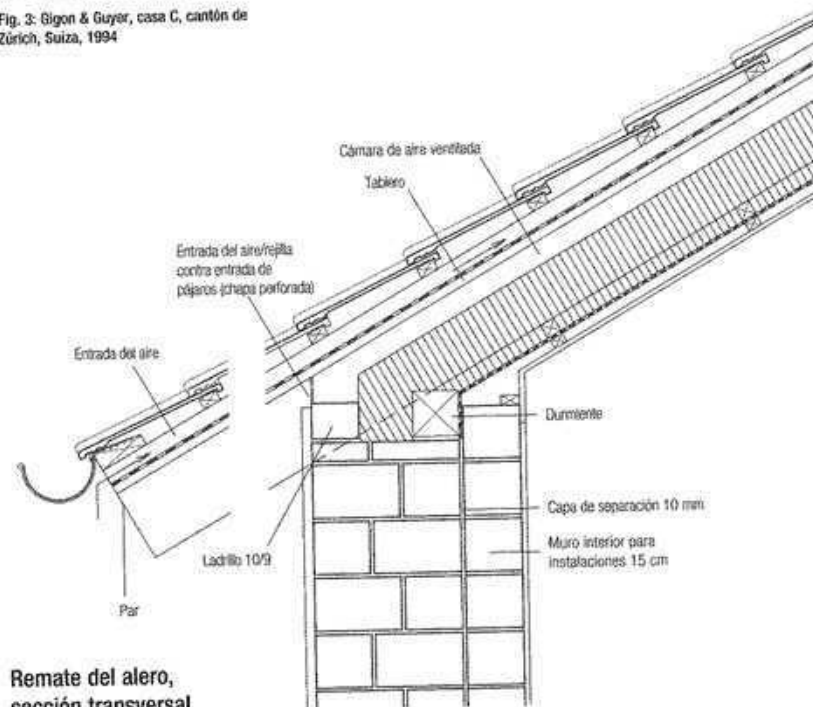
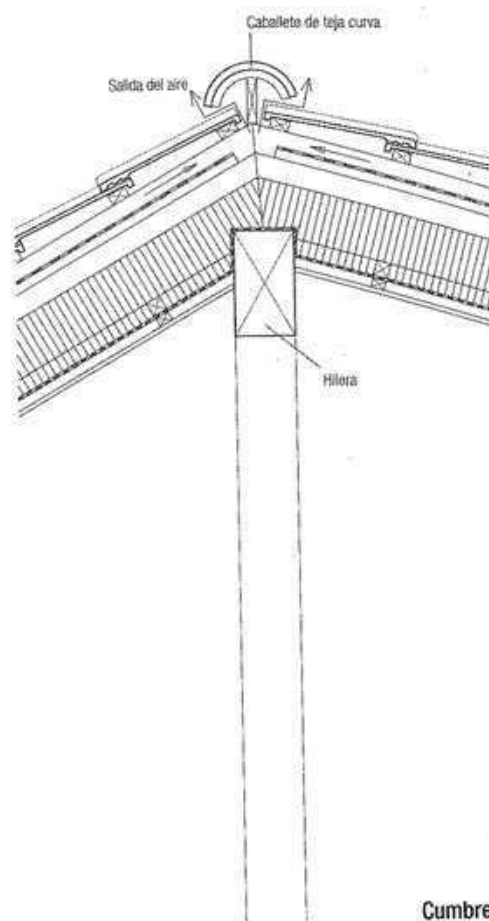
- Bloque de cemento 18/19/30	180 mm
- Cámara de aire ventilada	50 mm
- Aislamiento térmico	150 mm
- Muro de fábrica de ladrillo	150 mm
- Enlucido	10 mm
Total	540 mm

Cubierta inclinada fría

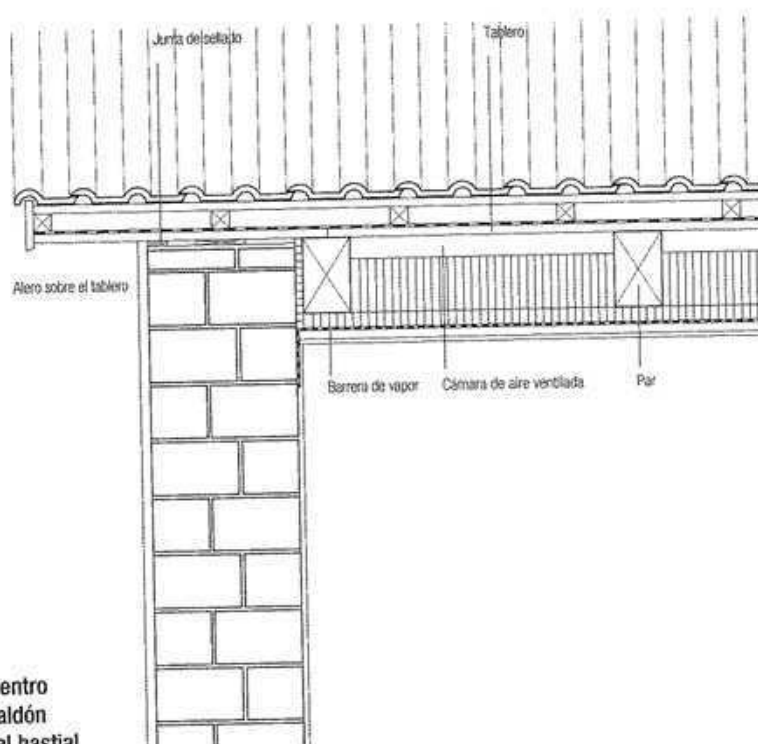
Teja cerámica y muro con aparejo de fábrica



Fig. 3: Giron & Guyon, casa C, cantón de Zúrich, Suiza, 1994

Remate del alero,
sección transversal

Cumbrera

Encuentro
del faldón
con el hastial

Composición de la cubierta

- Teja de hormigón	aprox. 70 mm
- Rastres 30/50 mm	30 mm
- Cabios 45/50 mm	45 mm
- Impermeabilizante sin juntas sobre el tablero	22 mm
- Cámara de aire ventilada	60 mm
- Aislamiento térmico de lana mineral	140 mm
- Aislamiento térmico de lana mineral	40 mm
- Barrera de vapor	24 mm
- Rastres 24/48 mm	
- Revestimiento interior (paneles de cartón yeso)	12,5 mm
Total	aprox. 440 mm

Composición de la fachada

- Revoco	25 mm
- Muro con aparejo de fábrica, Optitherm 15 y 23	390 mm
- Enlucido	15 mm
Total	430 mm

Cubierta inclinada fría

Chapa metálica y muro de fábrica de una hoja

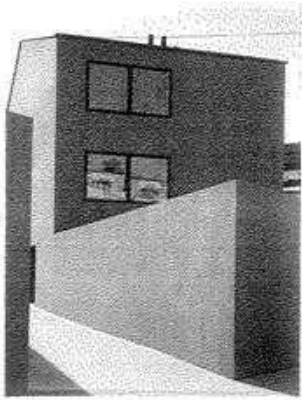
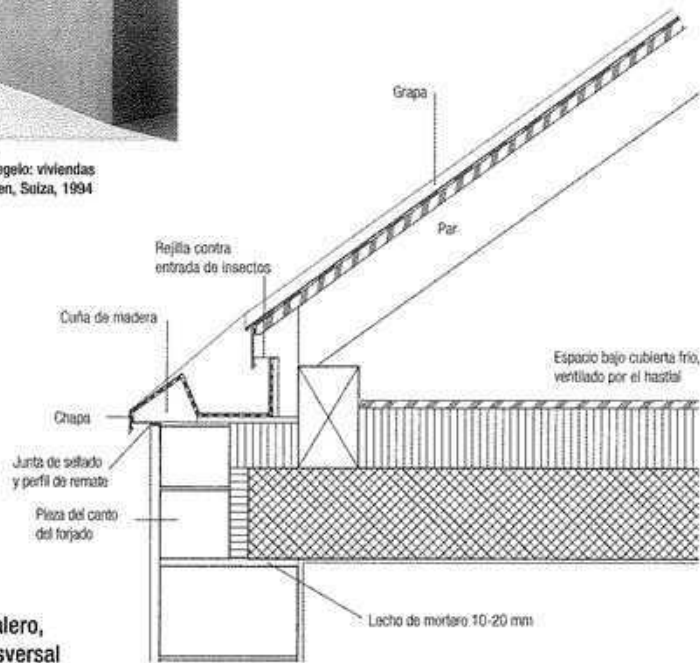
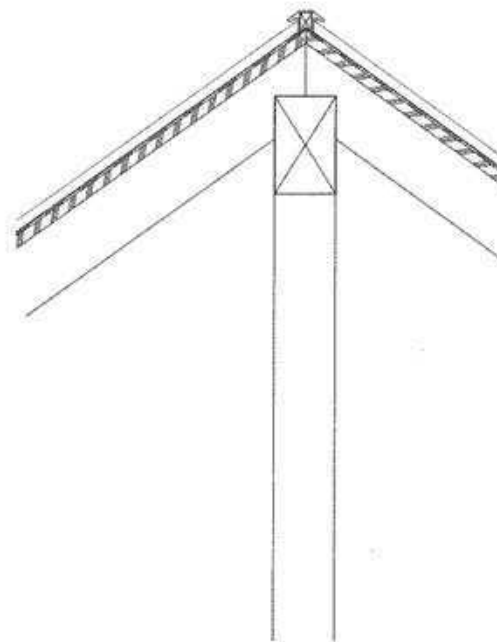
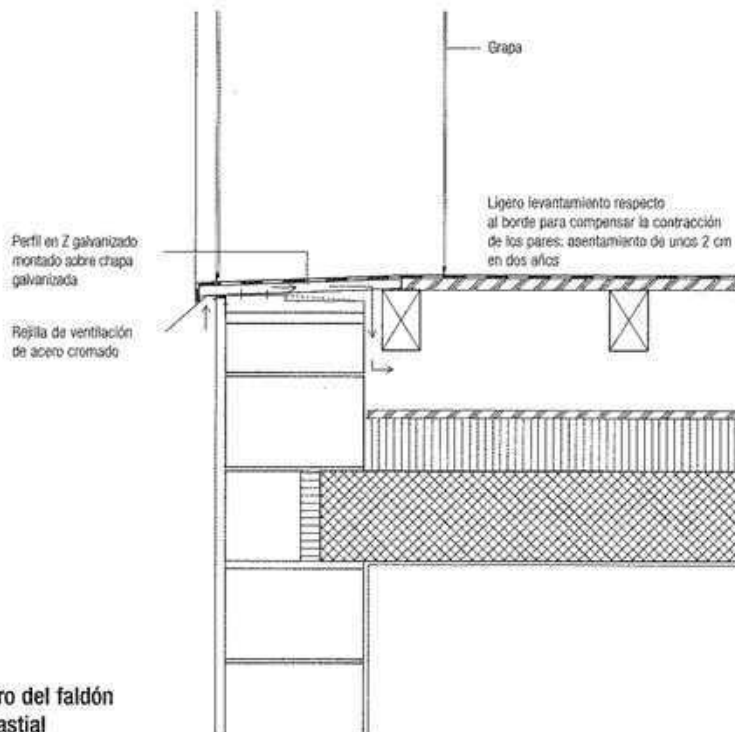


Fig. 4: Morger & Degelo: viviendas Singelsenhof, Riehen, Suiza, 1994

**Remate del alero, sección transversal****Cumbrera****Encuentro del faldón con el hastial****Composición de la cubierta (cubierta fría)**

- Chapa de cobre, planchas unidas con grapas	0,6 mm
- Impermeabilizante F3	
- Tablero	27 mm
- Par 100/160 mm	160 mm
Total	188 mm

Composición del forjado

- Tablero de partículas prensado en plano	20 mm
- Aislamiento térmico de lana mineral	160 mm
- Losa de hormigón	240 mm
- Enlucido	10 mm
Total	430 mm

Composición de la fachada

- Revoco	25 mm
- Muro de fábrica de una hoja ThermoCelit	365 mm
- Enlucido	15 mm
Total	405 mm

Cubierta plana caliente

Tela asfáltica y muro de fábrica de dos hojas con revoco

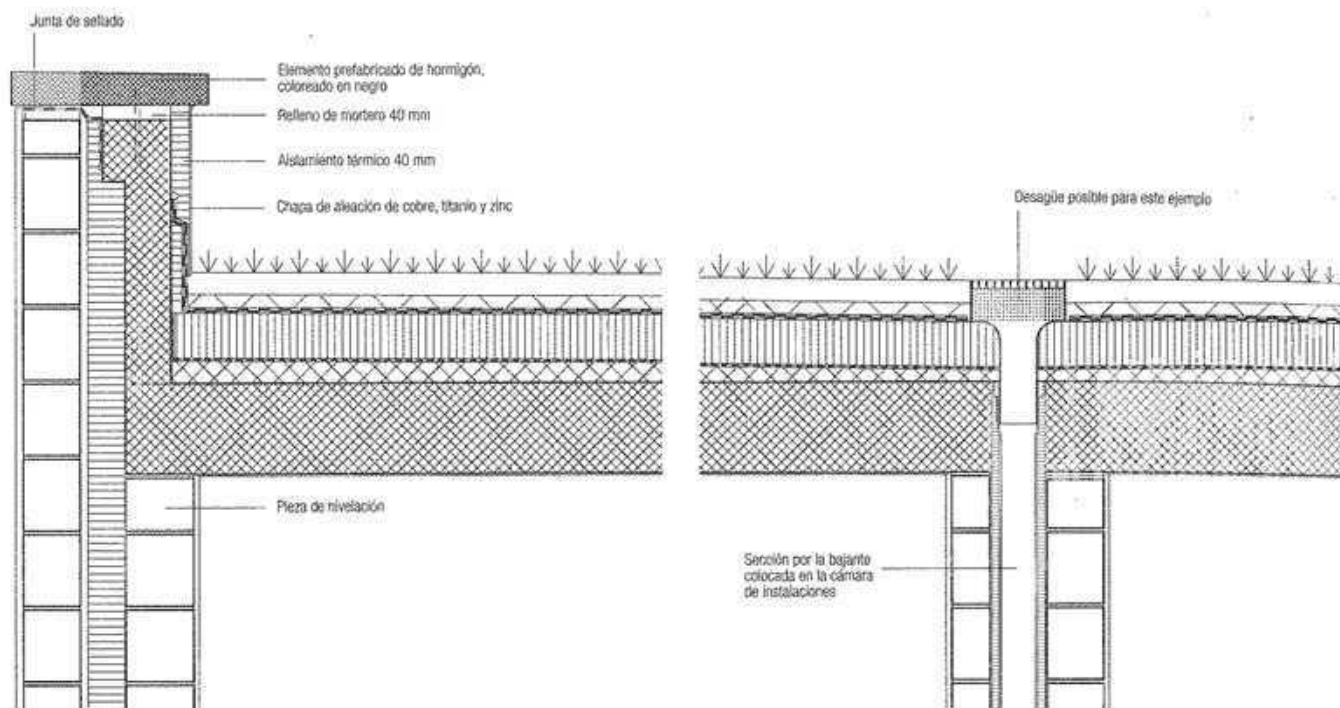


Fig. 5: Ackermann & Friedli: escuela Ackermättli, Basilea, Suiza, 1996

Composición de la cubierta

- Sustrato vegetal	60 mm
- Capa de drenaje	35 mm
- Lámina de betún modificado con polímeros, 2 capas	
- Aislamiento térmico	150 mm
- Barrera de vapor (motivos: humedad remanente en el hormigón, "cubierta provisional" durante la obra, seguridad frente a la difusión del vapor de agua en caso de grietas y perforaciones)	
- Hormigón para formación de pendiente	30-60 mm
- Losa de hormigón	240 mm
- Enlucido	5 mm
Total	520-550 mm

Composición de la fachada

- Revoco	20 mm
- Muro de fábrica de ladrillo 29/15/19	150 mm
- Cámara de aire (tolerancia en obra)	20 mm
- Aislamiento térmico	150 mm
- Muro de fábrica de ladrillo 29/17,5/19	175 mm
- Enlucido	15 mm
Total	530 mm

Cubierta plana caliente

Tela asfáltica y muro de hormigón con aislamiento interior

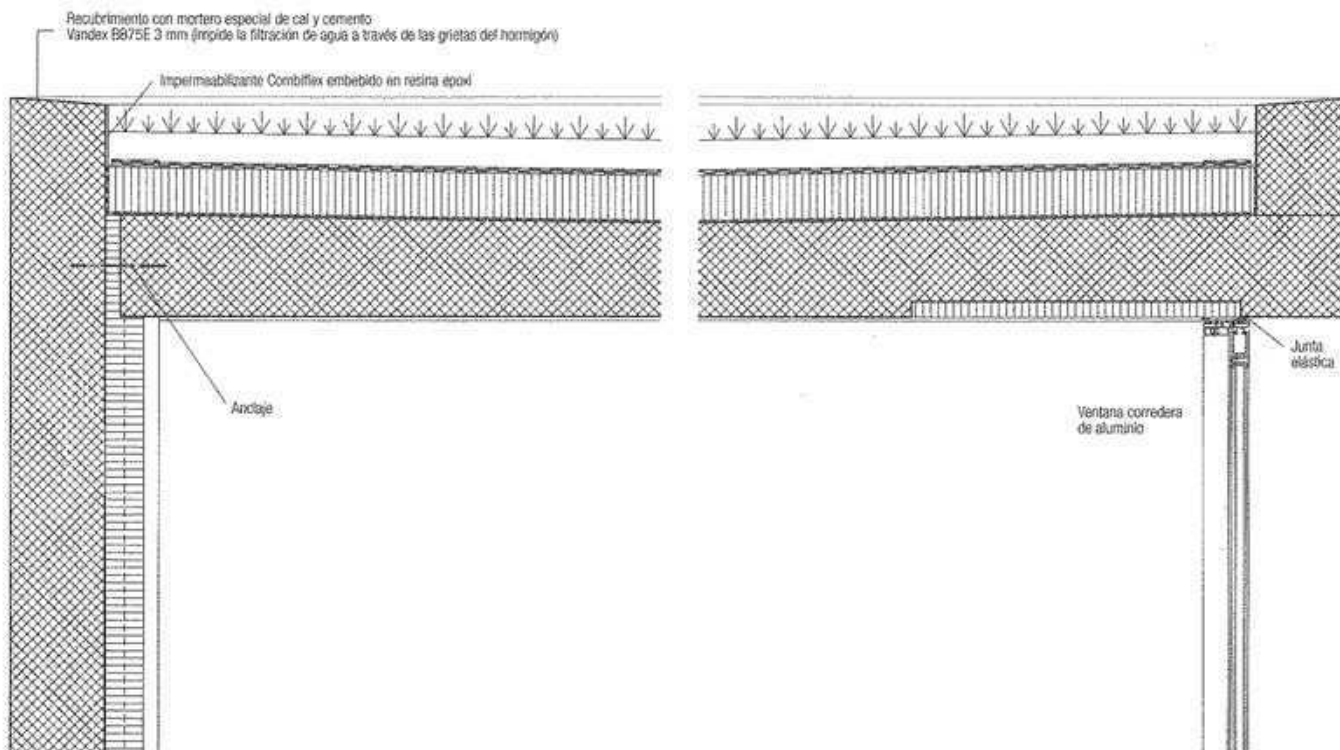


Fig. 6: Morger & Degelo: casa Müller, Staufen, Suiza, 1999

Composición de la cubierta

- Sustrato vegetal	80 mm
- Lámina de betún modificado con polímeros, 2 capas EP3, EP 4 WF (firme frente a la aparición de raíces vegetales)	7 mm
- Aislamiento térmico	150 mm
- Barrera de vapor (motivos: humedad remanente en el hormigón, "cubierta provisional" durante la obra, seguridad frente a la difusión del vapor de agua en caso de grietas y perforaciones)	
- Hormigón para formación de pendiente	200-270 mm
- Losa de hormigón	5-10 mm
- Enlucido blanco	
Total	442-517 mm

Composición de la fachada

- Hormigón visto	250 mm
- Aislamiento térmico de poliestireno extruido	150 mm
- Paneles de cartón yeso	40 mm
Total	440 mm

Cubierta plana caliente

Plástico y muro con revestimiento exterior pesado

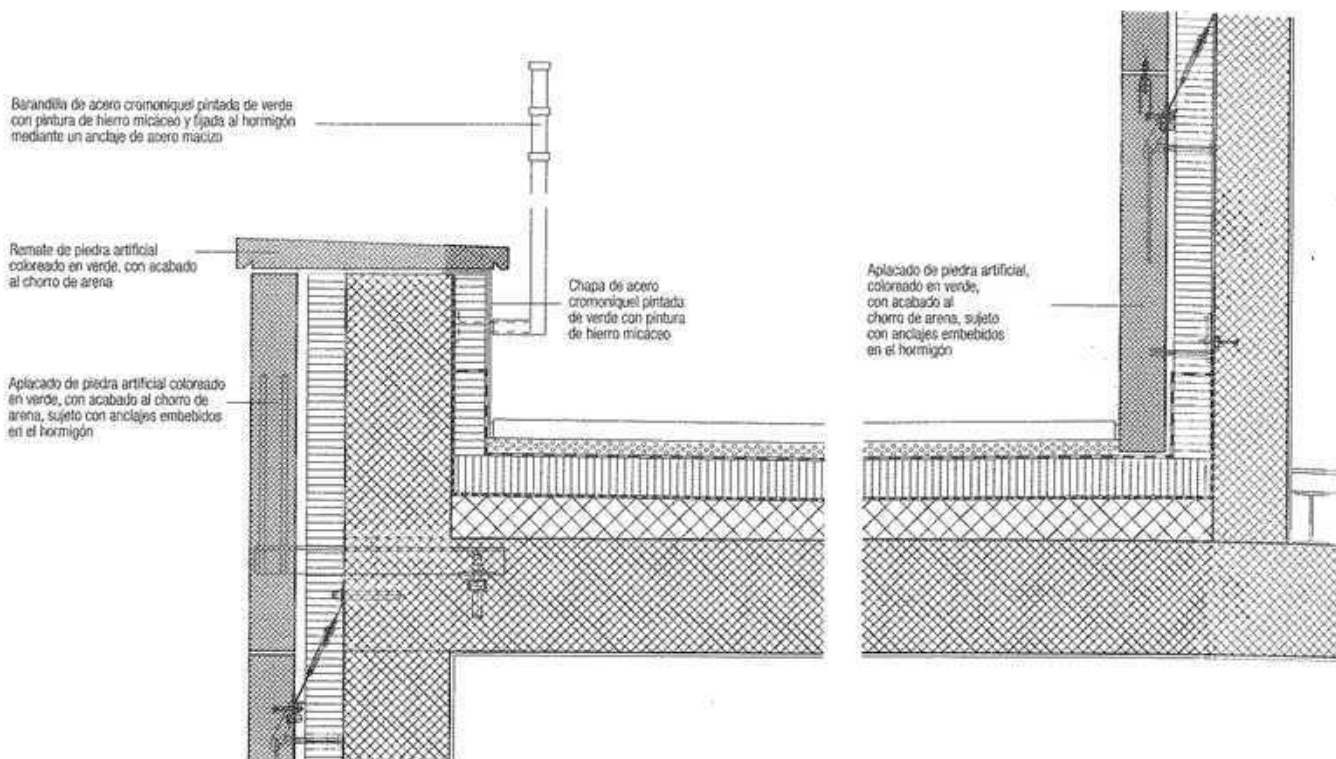


Fig. 5: Diener & Diener: edificio de viviendas y comercios Wartechhof, Basilea, Suiza, 1996

Composición de la cubierta

- Losetas de hormigón	50 mm
- Capa de grava	40 mm
- Impermeabilizante plástico	
- Aislamiento térmico	150 mm
- Barrera de vapor	
- Hormigón para formación de pendiente	20-80 mm
- Losa de hormigón	300 mm
- Enlucido	5-10 mm
Total	565-630 mm

Composición de la fachada

- Aplacado de piedra artificial, coloreado en verde, con acabado al chorro de arena	120 mm
- Cámara de aire (tolerancia en obra)	30 mm
- Aislamiento térmico	150 mm
- Muro de hormigón	200 mm
- Enlucido	10 mm
Total	510 mm

Cubierta plana caliente, cubierta compacta

Bituminoso y fachada no portante

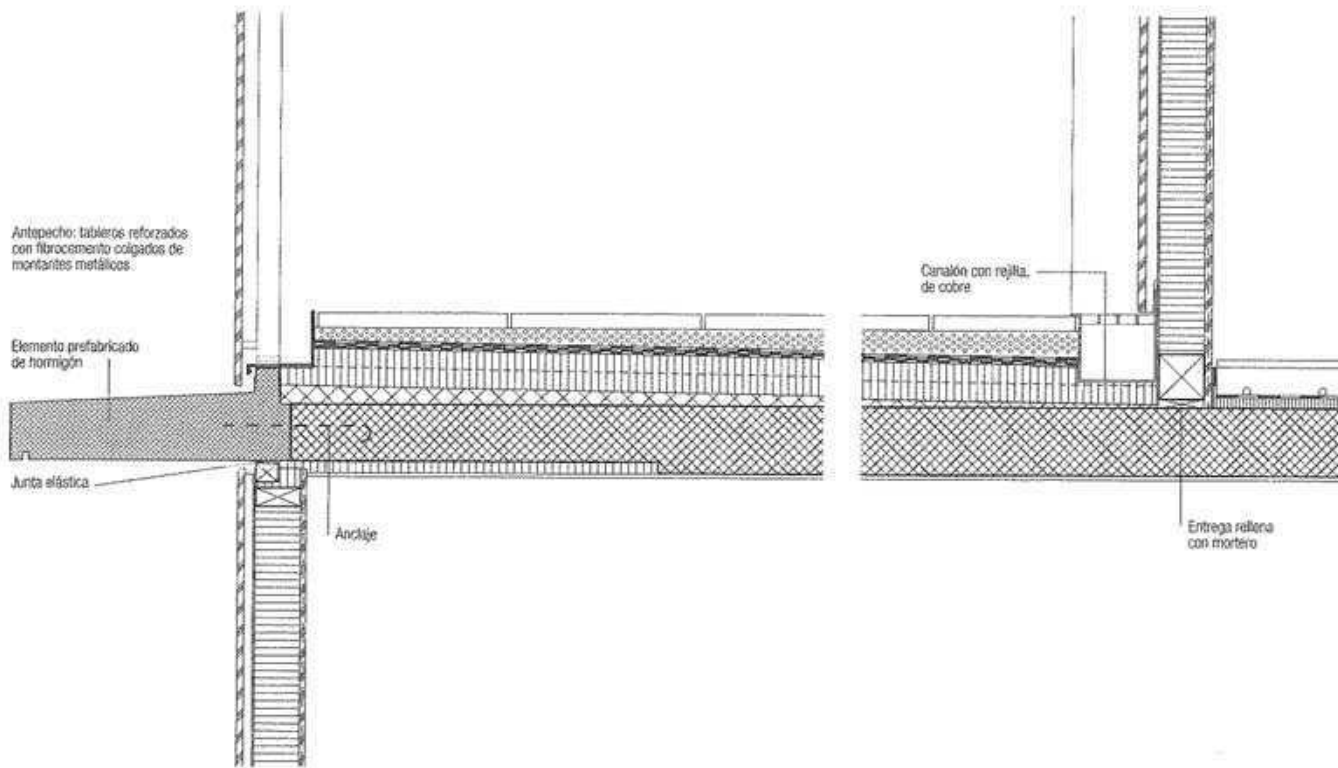


Fig. 8: Morger & Degelo: edificio de viviendas, Basilea, Suiza, 1993

Composición de la cubierta

- Baldosas de cemento	40 mm
- Grava (compensación de la pendiente)	mín. 30 mm
- Filtro de protección	
- Impermeabilizante bituminoso, 2 capas, pegado en toda su superficie	
- Vidrio celular recubierto con asfalto fundido	150 mm
- Hormigón para formación de pendiente 1,5 %	20-60 mm
- Losa de hormigón	180 mm
- Enlucido	10 mm
Total	430-470 mm

Composición de fachada

- Tablero reforzado con fibrocemento	18 mm
- Cámara de aire ventilada	23 mm
- Tablero de fibra	5 mm
- Aislamiento térmico	150 mm
- Madera aglomerada	15 mm
Total	211 mm

Cubierta plana invertida

Tela asfáltica y aislamiento exterior con revoco

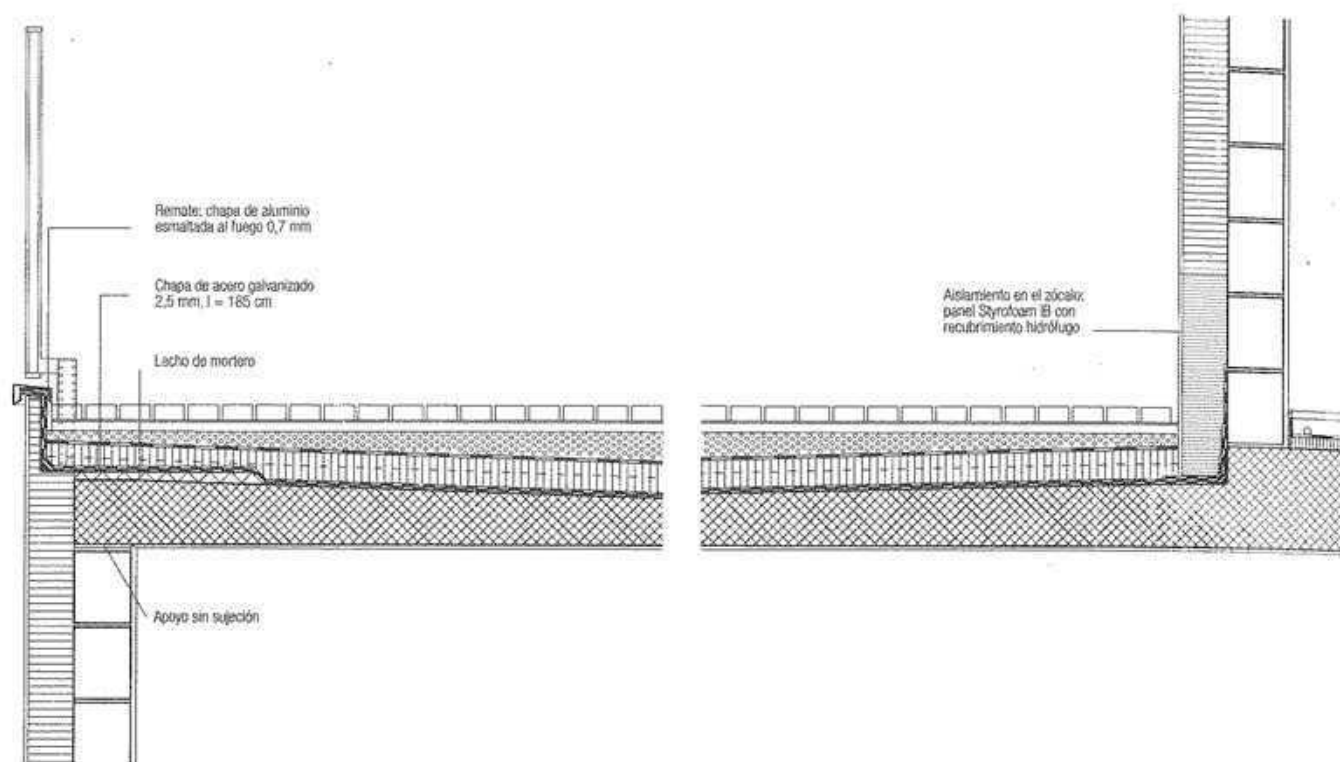


Fig. 9: Oliver Schwarz: edificio de viviendas
Peter, Rüschlikon, Suiza, 1997

Composición de la cubierta

- Entablado de ocume	40 mm
- Rastreles de ocume	30 mm
- Gravilla encolada	40-90 mm
- Filtro de protección	
- Aislamiento térmico de poliestireno expandido	150 mm
- Lámina de betún modificado con polímeros, 2 capas	
- Losa de hormigón con formación de pendiente	120-170 mm
- Enlucido	5-10 mm
Total	385-490 mm

Construcción de fachada

- Revoco (depende del sistema constructivo)	5 mm
- Aislamiento térmico de poliestireno extruido	150 mm
- Ladrillo	150 mm
- Enlucido	15 mm
Total	320 mm

Cubierta plana fría con cámara de aire ventilada sobre un sistema constructivo ligero

Tela asfáltica y entramado de piezas ligeras

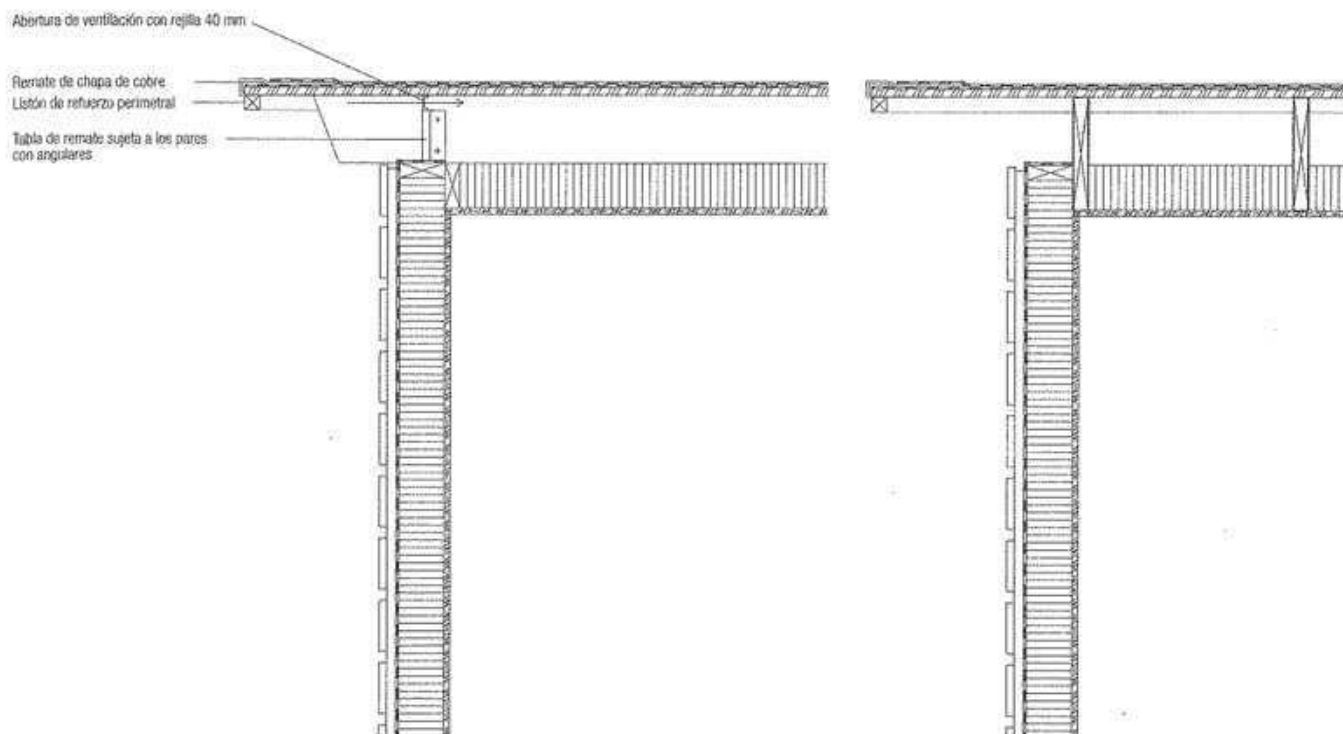


Fig. 10: Morger & Degelo: guardería provisional, Basilea, Suiza, 1993

Composición de la cubierta

- Papel oleaginoso con textura de pizarra, 2 capas	
- Panel de madera aglomerada	21 mm
- Pares 40/300 mm	300 mm
Entre ellos: cámara de aire ventilada	
180 mm	
Aislamiento térmico	120 mm
- Madera aglomerada, capa estanca al aire	15 mm
Total	336 mm

Composición de la fachada

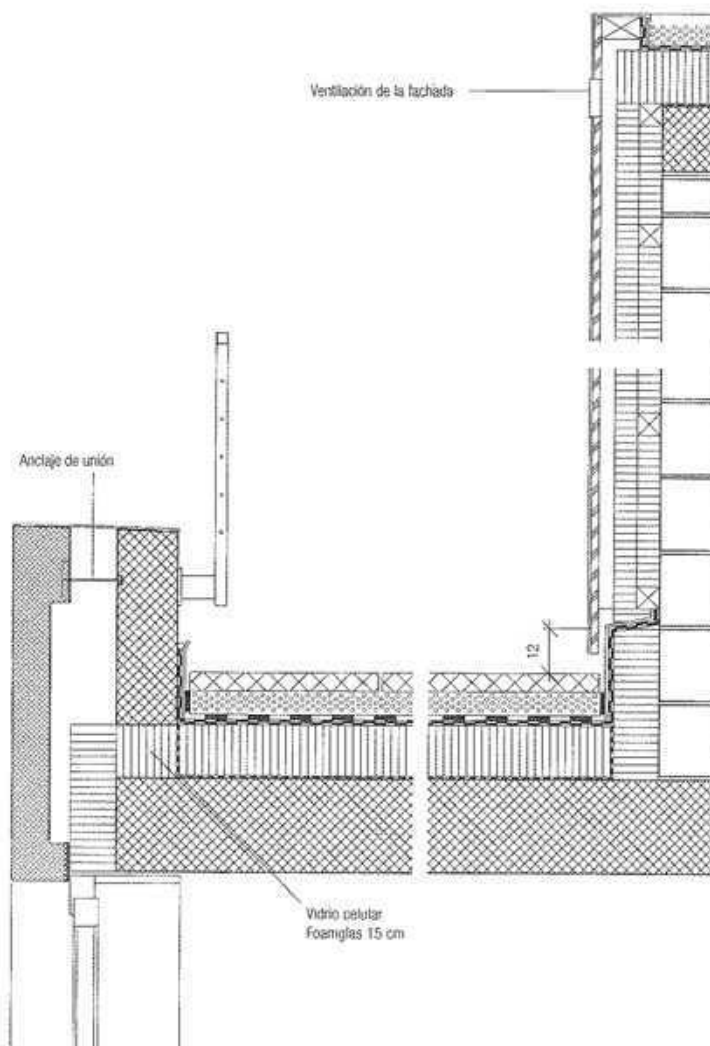
- Entablado horizontal exterior de madera sin tratar	21 mm
- Entablado vertical ventilado	24 mm
- Capa de protección para el aislamiento térmico	
- Construcción de madera con aislamiento térmico intermedio	150 mm
- Madera aglomerada, capa estanca al aire	15 mm
Total	210 mm

Cubierta plana caliente

Transitable y no transitable



Fig. 11: Bearth & Deplazes; edificio de viviendas-in der Lachen, Chur, Suiza, 1997

Cubierta caliente no transitable
 Remate perimetral
**Composición de la cubierta**

- Capa de drenaje	50 mm
- Capa de protección	13 mm
- Impermeabilizante	
- Aislamiento térmico	150 mm
- Barrera de vapor	
- Losa de hormigón armado	180 mm

Composición de la fachada

- Chapa de aluminio	
- Panel de soporte	22 mm
- Cámara de aire ventilada (entre rastreles verticales)	40 mm
- Aislamiento térmico, superpuesto	150 mm
- Ladrillo	150 mm

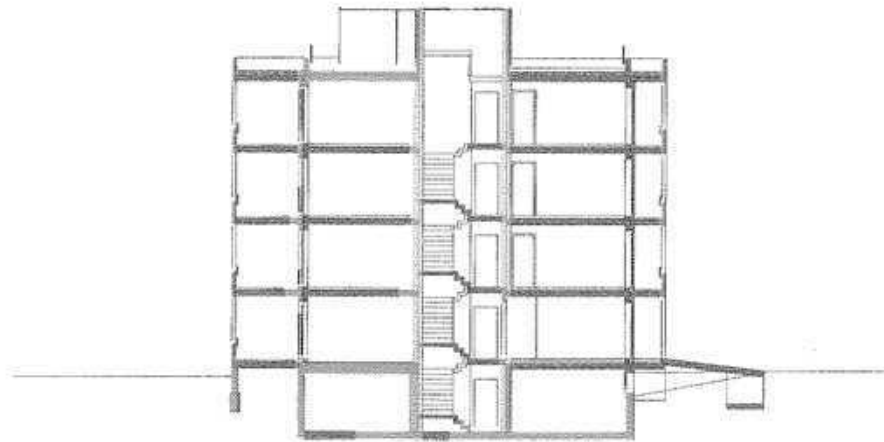
Composición de la cubierta del ático

- Baldosas de cemento	50 mm
- Capa de drenaje, gravilla	60 mm
- Lámina de goma	13 mm
- Impermeabilizante (Samafil TG 63-13)	
- Barrera de vapor	150 mm
- Dampfsperre	
- Lámina de betún modificado con polímeros recibida en asfalto fundido	
- Losa de hormigón armado (pendiente 0,5 %)	

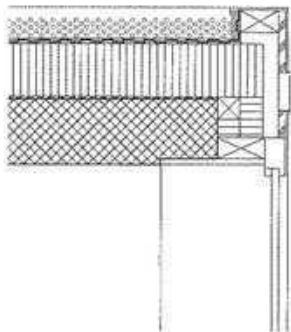
200-500 mm

Cubierta caliente transitable, remate
perimetral, sección longitudinal

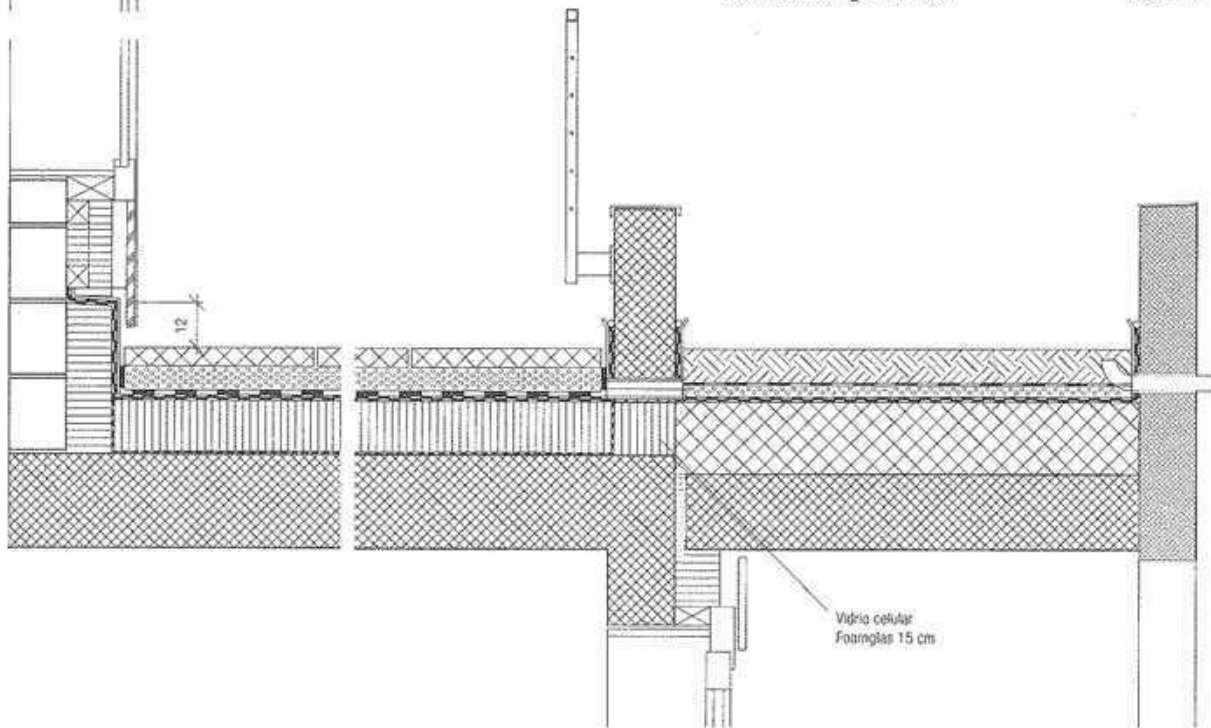
Cubierta caliente transitable, encuentro
con el muro del bajo cubierta



Sección transversal

**Composición del forjado del balcón**

- Capa de vegetación (humus, sustrato extensivo) 90 mm
- Gravilla-capa de drenaje (arcilla expandida Leca, d = 5 mm) 60 mm
- Capa de separación y de protección
- Impermeabilizante (lámina de goma Sarnafil TG 63-13)
- Hormigón para formación de pendiente 1,5 % 190 mm
- Losa de hormigón armado 200 mm



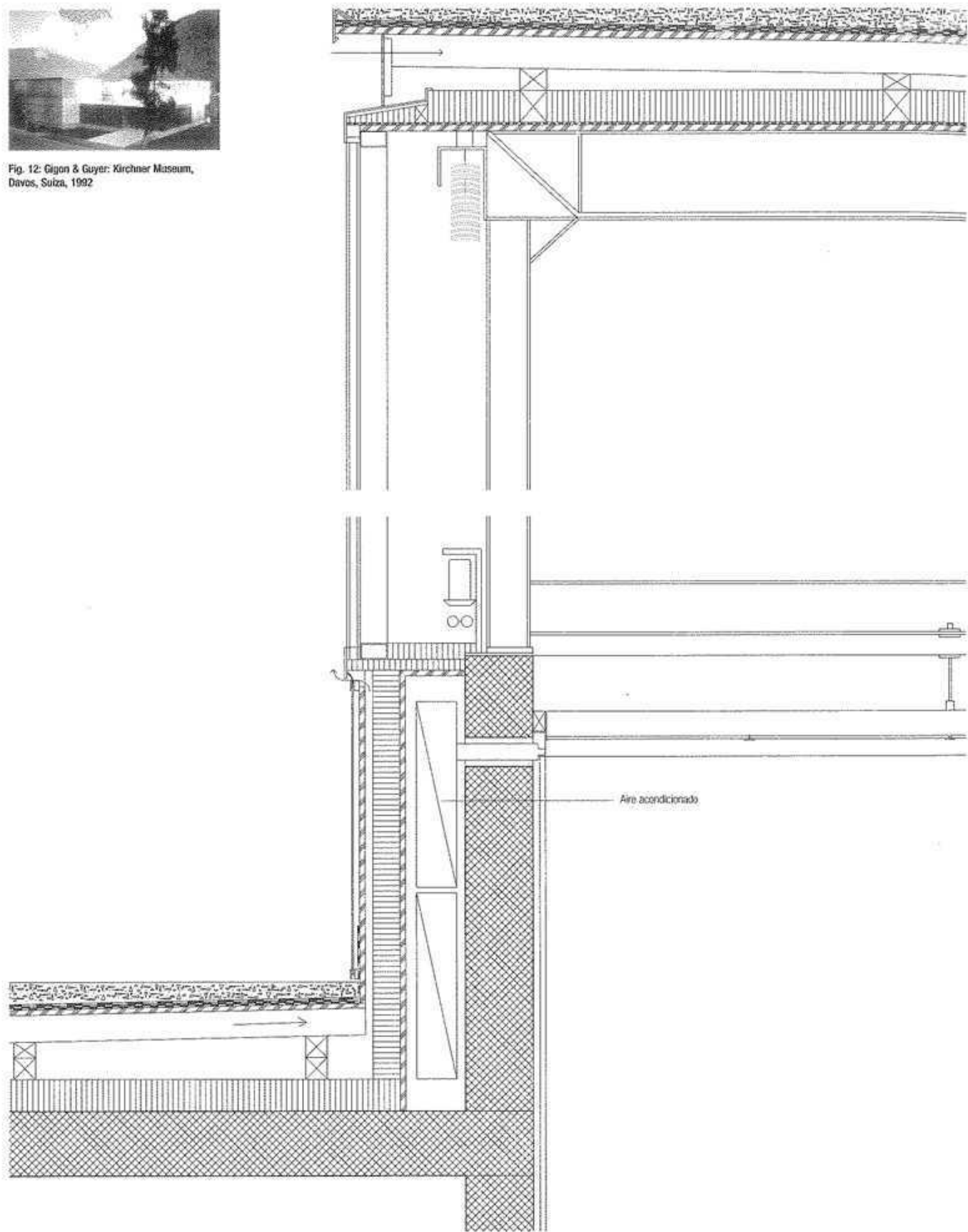
Cubierta caliente transitable

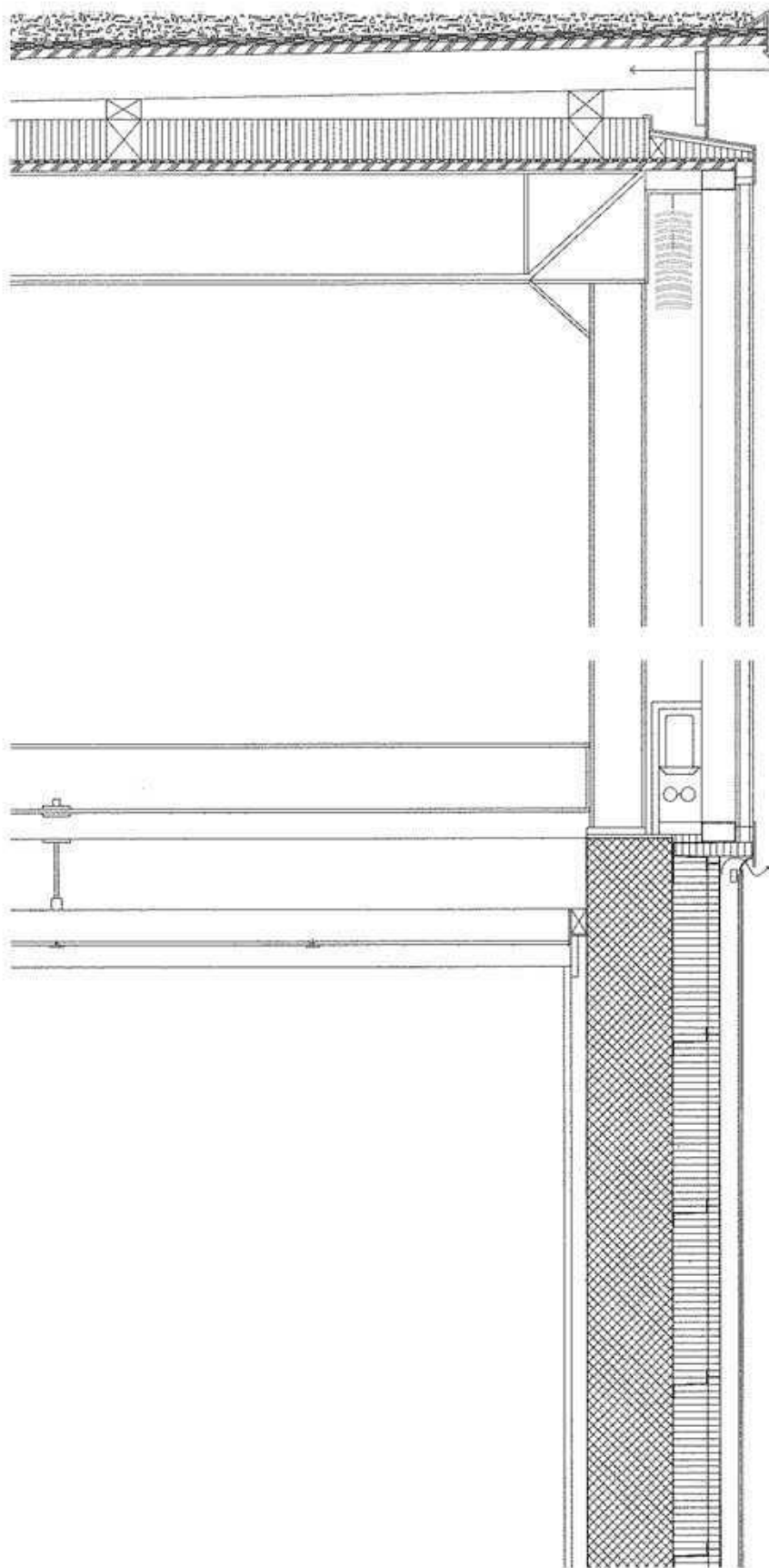
Remate de la cubierta, sección longitudinal del balcón ajardinado

Cubierta plana fría



Fig. 12: Giljon & Guyer: Kiefer Museum,
Davos, Suiza, 1992



**Composición de la cubierta**

- Vidrio reciclado blanco	60 mm
- Capa de protección	10 mm
- Lámina de betún modificado con polímeros, 2 capas	
- Tablero	27 mm
- Pares 100/120 mm	120 mm
- Vigas de madera 100/120 mm	120 mm
- Aislamiento térmico, p. ej., lana mineral	150 mm
- Barrera de vapor	
- Paneles Novophen	25 mm
- Viga de acero IPE 330	330 mm
- Techo de yeso blanco	15 mm

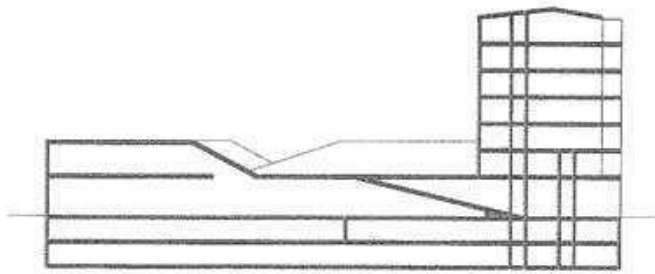
Composición de la fachada

- Vidrio compuesto, mateado al ácido extra-blanco Silverstar	2 x 6 mm
- Perfiles de acero cromado, tapajuntas	
- Persianas venecianas	
- Convectores blancos 70/100 mm	100 mm
- HEB 160	160 mm

Composición de la fachada ventilada

- Vidrio simple, endurecido, mateado al ácido	6 mm
- Perfiles de acero cromado, tapajuntas	
- Cámara de aire ventilada	
- Soporte:	
Perfiles de aluminio blanco, tablero de viruta de madera prensado con cemento (blanco)	35 mm
- Aislamiento térmico, p. ej., lana mineral	150 mm
- Hormigón	250 mm
- Paneles Fermacel sobre rastreles	15 mm
- Enlucido con pintura mineral	

Cubierta plana invertida Ajardinada



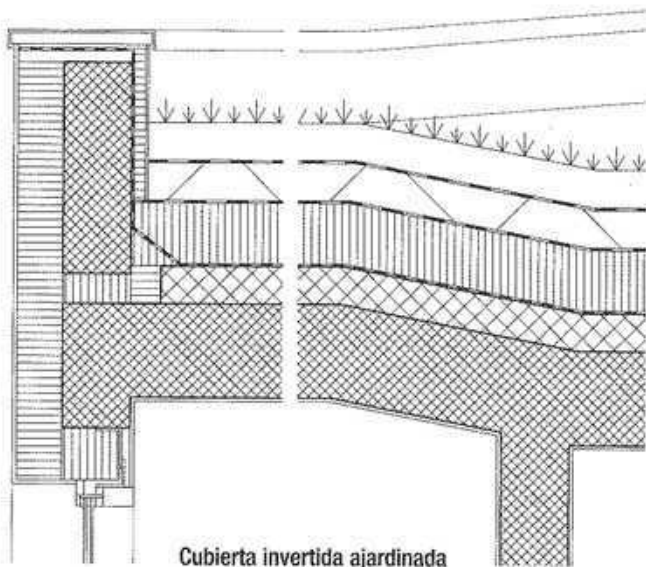
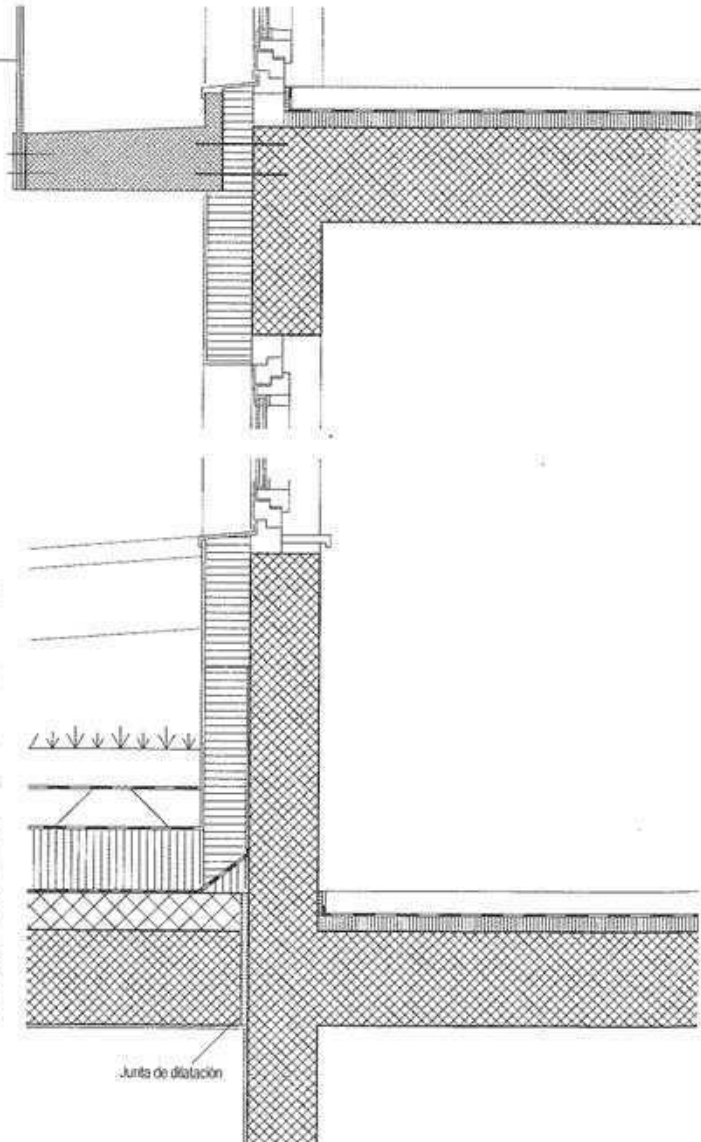
Sección 1:750



Fig. 13: Delugan & Meissl: edificio de viviendas y oficinas, Viena, Austria, 2001

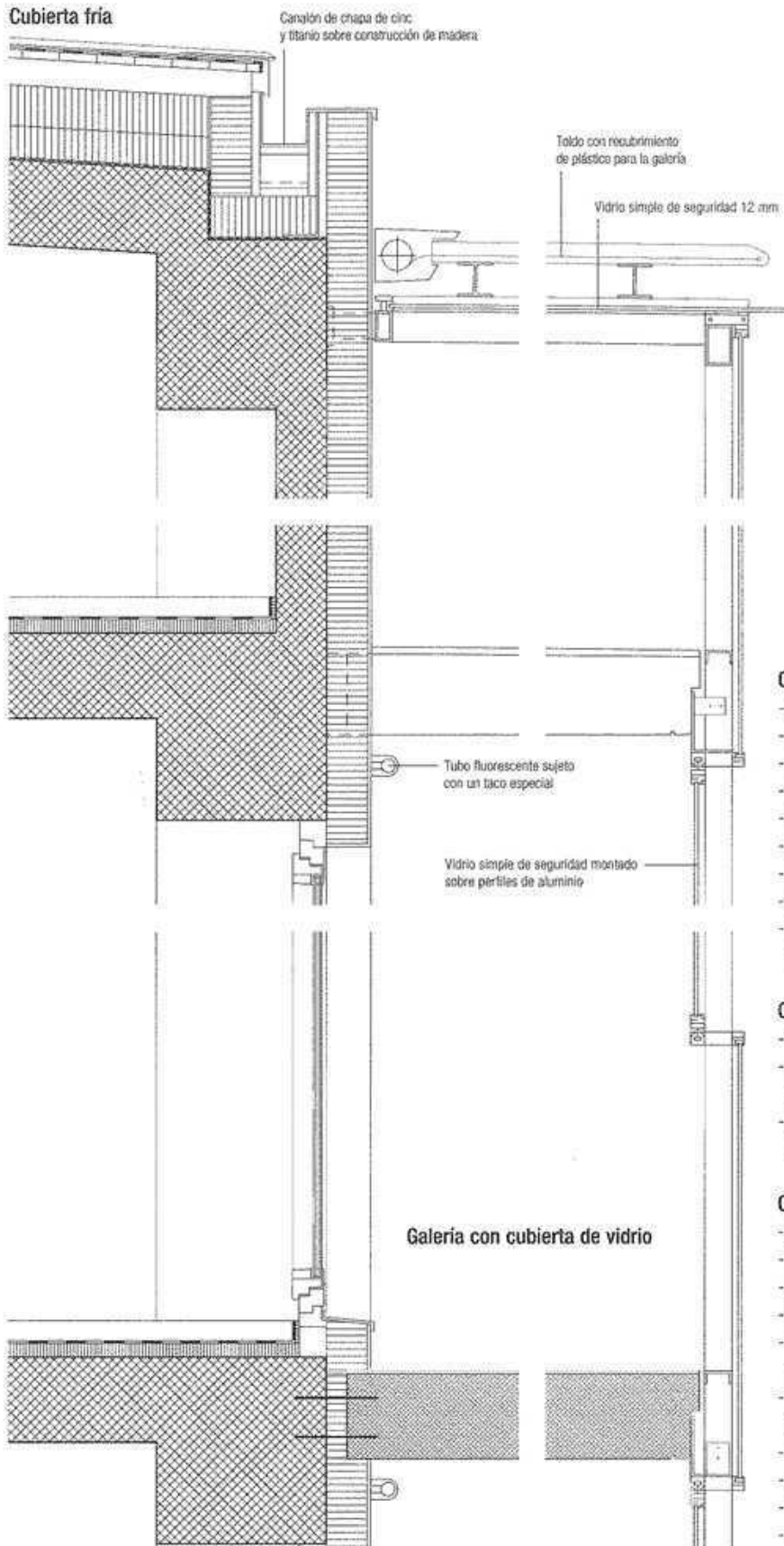
Bajo cubierta

Barandilla de vidrio simple
de seguridad de 16 mm,
fijada al frente del balcón



Cubierta invertida ajardinada

Cubierta fría



Composición de la cubierta fría

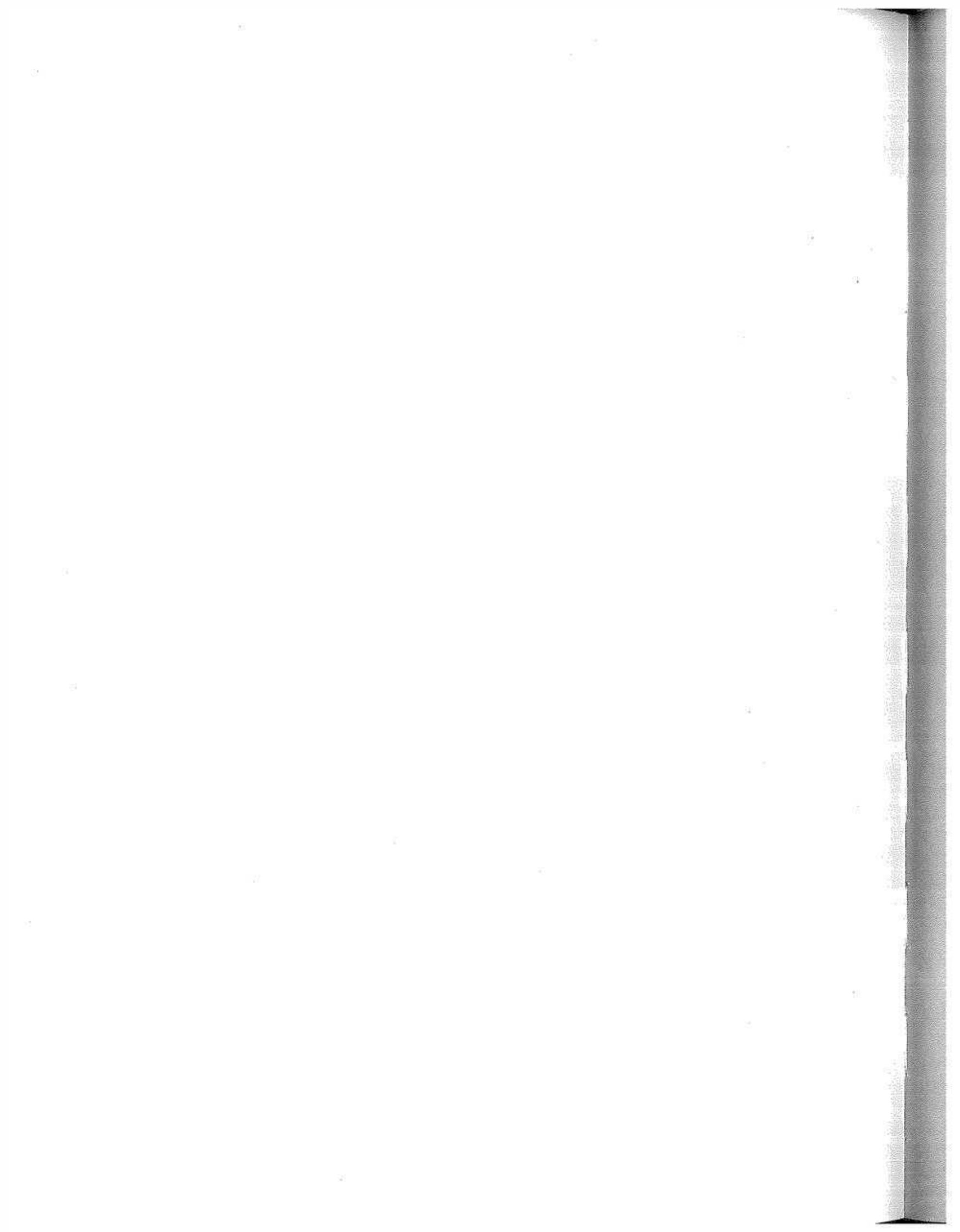
- Chapa de cinc de titanio (grapas selladas)
- Capa de separación
- Tablero 24 mm
- Pares 50/280 mm 280 mm
- Cámara de aire ventilada 80 mm
- Aislamiento térmico de fieltro mineral 120 mm
- Aislamiento térmico de fieltro mineral 100 mm
- Barrera de vapor
- Hormigón armado, con la cara interior emplastecida 250 mm

Composición de la fachada

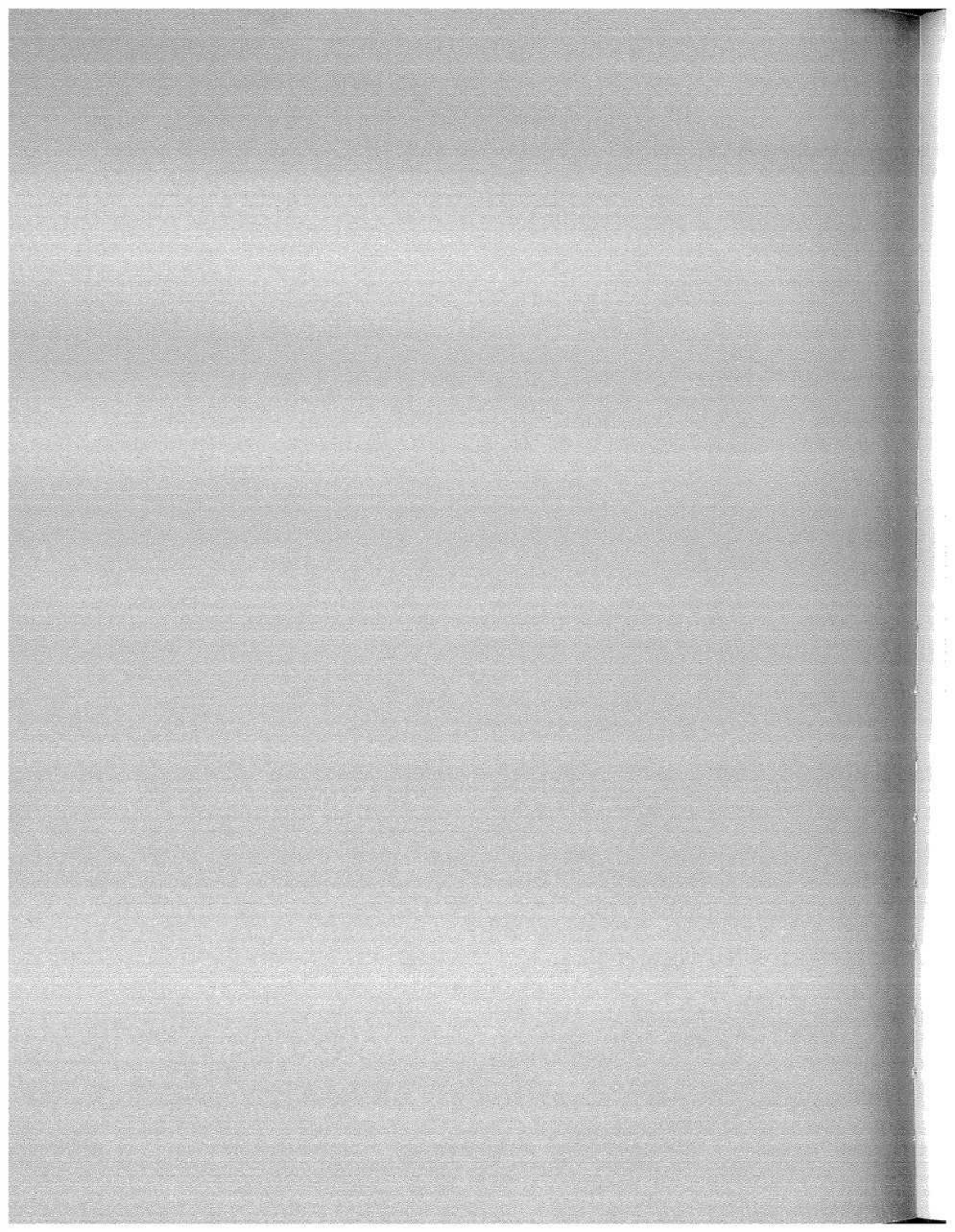
- Revoco de resina sintética 5 mm
- Aislamiento térmico de poliestireno extruido 150 mm
- Hormigón armado, con la cara interior emplastecida 160 mm

Composición de la fachada ventilada

- Sustrato vegetal 100 mm
- Filtro de fieltro
- Capa de drenaje 100 mm
- Filtro de fieltro
- Aislamiento térmico de poliestireno extruido 150 mm
- Protección frente a la aparición de raíces vegetales
- Tela asfáltica
- Hormigón pobre 40-150 mm
- Hormigón armado 250 mm
- Enlucido 10 mm



Biografía	
anotada	
Fuerza de los	
fuerzas	
o Richard	
Índice de nombres	



Bibliografía seleccionada

I. Teoría e historia de la construcción

- AA VV, *L'art de l'ingénieur: constructeur, entrepreneur, inventeur*, Centre Georges Pompidou, Paris, 1997.
- Ford, Edward R., *The details of modern architecture I & II*, The MIT Press, Cambridge (Mass.), 1990.
- Frampton, Kenneth, *Studies in tectonic culture: The poetics of construction in nineteenth and twentieth century architecture*, The MIT Press, Cambridge (Mass.), 1995 (versión castellana: *Estudios sobre cultura tectónica: poéticas de la construcción en la arquitectura de los siglos XIX y XX*, Akal, Madrid, 1999).
- Graefe, Rainer (ed.), *Zur Geschichte des Konstruierens*, Deutsche Verlags-Anstalt, Stuttgart, 1989.
- Kollhoff, Hans (ed.), *Über Tektonik in der Baukunst*, Vieweg & Sohn, Braunschweig, 1993.
- Mislin, Miron, *Geschichte der Baukonstruktion und Bautechnik*, tomo 1: *Antike bis Renaissance*, tomo 2: *Barock bis Neuzeit*, Werner, Düsseldorf, 1997.
- Norberg-Schulz, Christian, *Logik der Baukunst*, Bauwelt Fundamente, tomo 15, Berlin 1965.
- Semper, Gottfried, *Der Stil in den technischen und tektonischen Künsten oder praktische Ästhetik* (dos tomos), Verlag für Kunst und Wissenschaft, München, 1860-1863.
- Wachsmann, Konrad, *Wendepunkt im Bauen*, Krausskopf Verlag, Wiesbaden, 1959.

II. Principios constructivos

- Büttner, Oskar, y Hampe, Erhard, *Bauwerk Tragwerk Tragsstruktur*, VEB Verlag für Bauwesen, Berlin, 1985.
- Engel, Heino, *Tragsysteme*, Hatje, Ostfildern-Ruit, 1997 (versión castellana: *Sistema de estructuras*, Editorial Gustavo Gili, Barcelona, 2001).
- Hungerbühler, Ruedi, *Konstruktion im Hochbau. Rohbauelemente, Montagebau, Aufbau*, Baufachverlag, Zürich, 1983.
- Interkantonalen Lehrmittel Kollegium (ed.), *Konstruktionslehre Hochbau* (tomo 1 y 2), Zürich, 2001.
- Nervi, Pier Luigi, *Nuove strutture*, Edizioni di Comunità, Milán, 1963.
- Neufert, Ernst, *Bauelemente*, Vieweg & Sohn, Braunschweig, 2002 (versión castellana: *Arte de proyectar en arquitectura*, Editorial Gustavo Gili, Barcelona, 2007¹⁵).
- Neumann, Dietrich, y Weinbrenner, Ulrich, *Frick/Knöll. Baukonstruktionslehre* (tomo 1 y 2), Teubner Verlag, Stuttgart/Leipzig/Wiesbaden, 2002 y 2003.
- Ronner, Heinz, *Baukonstruktion im Kontext des architektonischen Entwerfens. Decke, Boden*, Birkhäuser Verlag, Basilea, 1991.
- , *Baukonstruktion im Kontext des architektonischen Entwerfens. Haus, Dächer*, Birkhäuser, Basilea, 1991.
- , *Baukonstruktion im Kontext des architektonischen Entwerfens. Haus, Sockel*, Birkhäuser, Basilea, 1991.
- , *Baukonstruktion im Kontext des architektonischen Entwerfens. Öffnungen*, Birkhäuser, Basilea, 1991.
- , *Baukonstruktion im Kontext des architektonischen Entwerfens. Wand, Mauer*, Birkhäuser, Basilea, 1991.

- , Kölliker, Fredi, y Rysler, Emil, *Baukonstruktion im Kontext des architektonischen Entwerfens. Zirkulation, Baustuktur, Zahn der Zeit*, Birkhäuser, Basilea 1994.
- Rüegg, Arthur, *Konstruktion III+IV*, material didáctico de la cátedra de Construcción de la ETH, Zürich.
- Schmitt, Heinrich, y Heene, Andreas, *Hochbaukonstruktion. Die Bauteile und das Bauegefüge, Grundlagen des heutigen Bauens*, Vieweg & Sohn, Braunschweig/Wiesbaden, 2001 (versión castellana: *Tratado de construcción*, Editorial Gustavo Gili, Barcelona, 2009⁸).
- Vittone, René, *Bâtir. Manuel de la construction*, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausana, 1996.
- Zoelly, Pierre, *Terratektur. Einstieg in die unterirdische Architektur*, Birkhäuser, Basilea, 1989.

III. Sistemas constructivos

- Achtziger, Joachim; Pfeifer, Günter; Ramcke, Rolf, y Zilch, Konrad, *Mauerwerk Atlas*, Birkhäuser, Basilea, 2001.
- Billington, David P., *Robert Maillart und die Kunst des Stahlbetonbaus*, Verlag für Architektur Artemis, Zürich/München, 1990.
- Brotrück, Tanja, *Basics Dachkonstruktion*, Birkhäuser, Basilea, 2007 (versión castellana: *Construcción de cubiertas*, Editorial Gustavo Gili, Barcelona, 2010).
- Von Busse, Hans Busso; Waubke, Nils Valerian; Grimme, Rudolf, y Mertins, Jürgen, *Atlas Flache Dächer, Nutz-bare Flächen*, Birkhäuser, Basilea, 2000.
- Baldon, Cleo, y Melchior, Ib, *Steps & stairways*, Rizzoli, Nueva York, 1989.
- Chesi, Gert, *Architektur und Mythos. Lehmgebäude in Afrika*, Haymon, Innsbruck, 1995.
- Fleischinger, August Ferdinand, y Becker, W. A., *Die Mauer-Verbindungen. Klassische Vorlagenbücher für den Praktiker* (tomo 6), Verlag Th. Schäfer, Hannover, 1993.
- Götz, Karl-Heinz, y Hoor, Dieter, *Holzbaue Atlas*, Birkhäuser, Basilea, 2003.
- Graubner, Wolfram, *Holzverbindungen. Gegenüberstellung japanischer und europäischer Lösungen*, DVA, Stuttgart, 1986.
- Grimm, Friedrich, *Konstruieren mit Walzprofilen*, Wiley, Berlin, 2003.
- Gruber, Herbert y Astrid, *Bauen mit Stroh*, Ökobuch, Staufen bei Freiburg, 2000.
- Hart, Franz; Henn, Walter, y Sontag, Hansjürgen, *Stahlbau Atlas: Geschossbauten*, Verlag Architektur + Baudetail, München, 1982.
- Hegger, Manfred; Auch-Schweik, Volker; Fuchs, Matthias, y Rosenkrantz, Thorsten, *Baustoff Atlas*, Birkhäuser, Basilea, 2005.
- Hegger, Manfred; Fuchs, Matthias; Stark, Thomas, y Zeumer, Martin, *Energie Atlas*, Birkhäuser, Basilea, 2007.
- Herzog, Thomas; Krippner, Roland, y Lang, Werner, *Fassaden Atlas*, Birkhäuser, Basilea, 2004.
- Kind-Barkauskas, Friedbert; Kausen, Bruno; Polónyi, Stefan, y Brandt, Jörg, *Beton Atlas*, Birkhäuser, Basilea, 2002.

- Knaack, Ulrich, *Konstruktiver Glasbau*, Rudolf Müller, Colonia, 1998.
- Kolb, Josef, *Systembau mit Holz*, Bauachverlag, Zürich, 1992.
- Krewinkel, Heinz W., *Glasarchitektur - Material, Konstruktion und Detail*, Birkhäuser, Basilea, 1998.
- Mehrgeschossiger Holzhausbau, Biel, Schweizerische Ingenieur- und Technikerschule für Holzwirtschaft, Biel, 1997.
- Meistermann, Alfred, *Basics Tragsysteme*, Birkhäuser, Basilea, 2007.
- Kummer, Nils, *Basics Mauerwerksbau*, Birkhäuser, Basilea, 2007 (versión castellana: *Obra de fábrica*, Editorial Gustavo Gili, Barcelona, 2010).
- Musso, Florian, y Krippner, Roland, *Basics Fassadenöffnungen*, Birkhäuser, Basilea, 2007.
- Natterer, Julius; Herzog, Thomas; Volz, Michael, y Winter, Wolfgang, *Holzbaue Atlas*, Birkhäuser, Basilea, 2003.
- Pfeifer, Günter; Liebers, Antje, y Reinert, Holger, *Der neue Holzbaue*, Callwey, München, 1998.
- Plumridge, Andrew, y Meulenkamp, Wim, *Ziegel in der Architektur*, DVA, Stuttgart, 1996.
- Reyer, Eckhard; Schild, Kai, y Völckner, Stefan, *Kompodium der Dämmstoffe*, Fraunhofer IB Verlag, Stuttgart, 2002.
- Schittich, Christian; Balkow, Dieter; Staib, Gerald; Schuler, Matthias, y Sobek, Werner, *Glasbaue Atlas*, Birkhäuser, Basilea, 2006.
- Schumacher, Fritz, *Das Wesen des neuzeitlichen Backsteinbaues*, Callwey, München, 1985.
- Schulitz, Helmut C.; Sobek, Werner, y Habermann, Karl, *Stahlbaue Atlas*, Birkhäuser, Basilea, 2001.
- Schunck, Eberhard; Oster, Hans Jochen; Barthel, Rainer, y Kieß, Kurt, *Dach Atlas, Geneigte Dächer*, Birkhäuser, Basilea, 2002.
- Steiger, Ludwig, *Basics Holzbaue*, Birkhäuser, Basilea, 2007.
- Templer, John A., *The staircase: Studies of hazards, falls, and safer design*, The MIT Press, Cambridge (Mass.), 1992.
- Walther, René, *Bauen mit Beton. Einführung für Architekten und Bauingenieure*, Ernst & Sohn, Berlin, 1997.
- Wigginton, Michael, *Glas in architecture*, Phaidon, Londres, 1996.
- Wurm, Jan, *Glas als Tragwerk, Entwurf und Konstruktion selbsttragender Hüllen*, Birkhäuser, Basilea, 2007.
- Zwenger, Klaus, *Das Holz und seine Verbindungen*, Birkhäuser, Basilea 1997.

Fuentes de las fotografías e ilustraciones

Prólogo

- 10.1: Cátedra de Andrea Deplazes, diagrama basado en los postulados de Kenneth Frampton.
 12.2: Lauber, Wolfgang (ed.), *Architektur der Dogon. Traditioneller Lehm- und Kunst der Mali*, Prestel Verlag, München, 1998, pág. 58. Fotografía de Wolfgang Lauber.
 12.3: Achtziger, Joachim; Pfeifer, Günter; Ramcke, Rolf, y Zilch, Konrad, *Mauerwerk Atlas*, Birkhäuser, Basilea, 2001, pág. 30. Fotografía de Ulrike Enders.
 12.6: Burg, Annegret, Kollhoff, Architekten Kollhoff und Timmermann, Birkhäuser, Basilea, 1998, pág. 63. Fotografía de Schwendinger & Büttner.

MATERIALES CONSTRUCTIVOS - MÓDULOS

Muros de fábrica

- 22.1: Mai, Ekkehard (ed.), *Das Capriccio als Kunstprinzip*, Skira, Milán, 1996.
 23.2-23.5: Fotografías de Ákos Moravánszky.
 24.6: *Detail*, 1/2, 2002, pág. 30.
 24.7-25.11: Fotografías de Ákos Moravánszky.
 26.12: SITE, *Architecture as Art*, Academy Editions, Londres, 1980, pág. 36.
 26.13: Fotografía de Ákos Moravánszky.
 26.14: Wilton-Ely, John, *Giovanni Battista Piranesi. Vision und Werk*, Hirmer, München, 1978, pág. 62.
 26.15: Fotografía de Ákos Moravánszky.
 27.16: Lindner, Werner y Tamms, Friedrich, *Mauerwerk*, Alfred Metzner, Berlin, 1938, pág. 132.
 27.17-29.21: Fotografía de Ákos Moravánszky.
 29.22: *Detail*, 1/2, 2002, pág. 38.
 29.23: Fotografía de Ákos Moravánszky.
 29.24: Dieste, Eladio, *La estructura cerámica*, Escala, Bogotá, 1987, pág. 132, fig. 14.
 30.25-26: Fotografías de Ákos Moravánszky.
 31.28-30: Fotografías de Stahlin AG, Zürich.
 32.31: Plumridge, Andrew, y Meulenkaup, Wim, *Ziegel in der Architektur*, DVA, Stuttgart, 1996, pág. 83.
 32.32: Achtziger, Joachim; Pfeifer, Günter; Ramcke, Rolf, y Zilch, Konrad, *Mauerwerk Atlas*, Birkhäuser, Basilea, 2001, pág. 79.
 33.33-33.34: Cátedra de Andrea Deplazes. Ilustración de Maud Châtelet.
 35.35: Blaser, Werner, *Mies van der Rohe. Die Kunst der Struktur*, Artemis, Zürich, 1965, págs. 20 y 21.
 36.36-37.42: Cátedra de Andrea Deplazes. Ilustración de Barbara Wiskemann.
 37.43: Plumridge, Andrew, y Meulenkaup, Wim, *Ziegel in der Architektur*, DVA, Stuttgart, 1996, pág. 81.
 37.44: Burg, Annegret, Kollhoff, Architekten Kollhoff und Timmermann, Birkhäuser, Basilea, 1998, pág. 92.
 37.45: Cátedra de Andrea Deplazes.
 37.46: Achtziger, Joachim; Pfeifer, Günter; Ramcke, Rolf, y Zilch, Konrad, *Mauerwerk Atlas*, Birkhäuser, Basilea, 2001, pág. 39. Fotografía de Rolf Ramcke.
 38.47-49: Cátedra de Andrea Deplazes. Ilustración de Barbara Wiskemann.
 38.50: Plumridge, Andrew, y Meulenkaup, Wim, *Ziegel in der Architektur*, DVA, Stuttgart, 1996, pág. 86.
 38.51: Fleischinger, August Ferdinand, y Becker, W. A., *Die Mauer-Verbände. Klassische Vorlagenbücher für den Praktiker* (tomo 6), Verlag Th. Schäfer, Hannover, 1993. Fotografía de August Ferdinand Fleischinger y W. A. Becker.
 38.52-53: Achtziger, Joachim; Pfeifer, Günter; Ramcke, Rolf, y Zilch, Konrad, *Mauerwerk Atlas*, Birkhäuser, Basilea, 2001, págs. 101 y 35.
 39.54-56: Keller AG Ziegeleien (catálogo), *Gelenkanker*, 9/98, Pfungen, 1998, págs. 6 y 1.
 39.57: derecha e izquierda: Keller AG Ziegeleien (catálogo), *Turbo-Anker*, 9/99, Pfungen, 1999, pág. 1.
 41.60: Holma, Maija, y Lahti, Markku, *Alvar Aalto. Eine sensible Struktur für das Leben*, Rakennustieto Oy, Helsinki, 1996, pág. 85. Fotografía de Maija Holma.
 42.61: Schumacher, Fritz, *Das Wesen des neuzeitlichen Backsteinbaues*, Callwey, München 1985, pág. 103.
 42.62: Fotografía de Michael Heinrich.
 43.63: Bucciarelli, Piergiacomo, *Fritz Höger: hanseatischer Baumeister 1877-1949*, Vice Versa Verlag, Berlin, 1992, pág. 41.
 43.64: Wang, Wilfried, *Architect Sigurd Lewerentz* (tomo 1), Buggförlaget, Estocolmo, 1997, pág. 168. Fotografía de Fabio Galli.
 44.65: Ronner, Heinz, *Wand, Mauer*, Birkhäuser, Basilea, 1991, pág. 49.
 44.66: Voigt, Wolfgang (ed.), *Heinz Bienenfeld 1926-1995* (tomo 3; catálogo de la exposición homónima), Deutsches Architektur Museum, Frankfurt, 1999, pág. 100. Fotografía de Lukas Roth.
 45.67: Fotografía de Ralph Feiner.
 45.68: Burg, Annegret, Kollhoff, Architekten Kollhoff und Timmermann, Birkhäuser, Basilea, 1998, pág. 82. Fotografía de Heinrich Helfenstein.
 46.69: De la Sota, Alejandro, *Alejandro de la Sota. Arquitecto*, Ediciones Pronaos, Madrid, 1989, pág. 35. Fotografía de Alejandro de la Sota.
 47.70 izquierda y derecha: Gravagnuolo, Benedetto, *Adolf Loos. Theory and works*, Löcker Verlag, Viena, 1982, pág. 195.
 47.71 arriba: Brooks, H. Allen, *The Le Corbusier archive: Le Corbusier. Ahmedabad 1953-1960*, Fondation Le Corbusier, Paris, 1983, pág. 118.
 47.71 abajo: Boesiger, Willy, "Le Corbusier et son atelier rue De Sévres 35", en *Œuvre Complete 1952-1957*, Editions Girsberger, Zürich, 1957, pág. 116.
 48.72: Driller, Joachim, *Marcel Breuer: die Wohnhäuser 1923-1973*, DVA, Stuttgart, 1998, pág. 155.
 48.73: Masello, David, *Marcel Breuer und Herbert Beckhard. Die Landhäuser 1945-1984*, Birkhäuser, Basilea, 1996, pág. 14.
 49.74 izquierda y derecha: Geist, Jonas, *Karl Friedrich Schinkel. Die Bauakademie. Eine Vergegenwärtigung*, Fischer Verlag, Frankfurt, 1993, págs. 53 y 40.
 50.75-76: Keller AG Ziegeleien (catálogo), *Preton-Wandelemente*, Pfungen, 2000.
 51.77: Burkard Meyer Architekten, Baden. Fotografía de Reinhard Zimmermann.
 51.78-79: Burkard Meyer Architekten, Baden.
 51.80: Burkard Meyer Architekten, Baden. Ilustración de preton, Wandelemente.
 52.81-82: Hans Kollhoff, Berlin.
 53.83: Departamento de Producción Digital, Escuela de Arquitectura de la ETH, Zürich.
 53.84: Departamento de Producción Digital, Escuela de Arquitectura de la ETH, Zürich.
 55.85: Gramazio & Kohler Architekten.
 54.86: Kühn, Margarete (ed.), *Karl Friedrich Schinkel, Lebenswerk. Die Reise nach Frankreich und England im*

Jahre 1826, Dt. Kunstverlag, München/Berlin, 1990, pág. 84.

- 54.87: Bearth & Deplazes Architekten.
 54.88: Bearth & Deplazes Architekten.
 55.89: Nigst, Peter (ed.), *Rafael Moneo. Bauen für die Stadt*, Gerd Hatje Verlag, Stuttgart, 1993, pág. 51. Fotografía de Rafael Moneo.
 55.90: Fotografía de Rafael Moneo.
 55.91 izquierda: *El Croquis*, 19-22, 1985, pág. 108.
 55.91 rechts: *A&V Monografías de Arquitectura y Vivienda*, 36, 1992, pág. 9.
 56.92-96: Rossbauer, Brnic, Graf Architekten/ETH Zürich.

Hormigón

- 57.1: Wilson, James Gilchrist, *Sichtflächen des Betons*, Bauverlag, Wiesbaden/Berlin, 1967, pág. 41.
 58.2: Jodidio, Philip, *Tadao Ando*, Taschen, Colonia, 1997, pág. 68. Fotografía de Tomio Ohashi.
 59.3: Boga, Thomas, *Die Architektur von Rudolf Olgiati*, gta Verlag, Zürich, 1977, pág. 181.
 59.4: AA VV, *L'art de l'ingénieur: constructeur, entrepreneur, inventeur*, Editions du Centre Georges Pompidou, Paris 1997, pág. 80.
 60.5: AA VV, *Le Béton en représentation*, Editions Hazan/Institute Français d'Architecture, Paris, 1993, pág. 136. Fotografía de A. Jesta.
 60.6: Astrophysikalisches Institut Potsdam, *Der Einstein-turm in Potsdam. Architektur und Astrophysik*, Ars Nicolai, Berlin, 1995, pág. 101.
 61.7: Schrämli, W., *Beton-Praxis: der Weg zum dauerhaften Beton*, HOLCIM (Schweiz) AG, Zürich, 1997, pág. 24.
 62.8-11: *ibid.*, pág. 14.
 63.12: *Betonpraxis. Der Weg zum dauerhaften Beton*, Holcim (Schweiz) AG, Zürich, 2003, pág. 19.
 64.13: Walther, René, *Bauen mit Beton. Einführung für Architekten und Bauingenieure*, Ernst und Sohn, Berlin, 1997, pág. 125.
 64.14: Fotografía de Holzco-Doka Schalungstechnik, Niderhasli.
 64.15: Walther, René, *op. cit.*, 64.13, pág. 121.
 65.16-17: Schmitt, Roland, *Die Schalungstechnik. Systeme, Einsatz und Logistik*, Ernst und Sohn, Berlin, 2001, págs. 266 y 512.
 66.18: Schrämli, W., *Beton-Praxis: der Weg zum dauerhaften Beton*, HOLCIM (Schweiz) AG, Zürich, 1997, pág. 47.
 66.19-20: Cátedra de Andrea Deplazes. Ilustración de Maud Châtelet.
 67.21: Technische Forschungs- und Beratungsstelle der Schweizer Zementindustrie, *Cementbulletin*, 16, Wilegg, 1987.
 68.22: Olgiati, Rudolf, *Eine Streitschrift*, Verlag Magazin + Buch, Stuttgart, 1994, pág. 26. Fotografía de Judith M. Grieshuber.
 68.23: Kind-Barkauskas, Friedbert; Kausen, Bruno; Polónyi, Stefan, y Brandt, Jörg, *Beton Atlas*, Birkhäuser, Basilea, 2002, pág. 193. Fotografía de Christian Schittich.
 69.24-25: Wilson, James Gilchrist, *Sichtflächen des Betons*, Bauverlag, Wiesbaden/Berlin, 1967, pág. 45.
 69.26: Brownlee, David Bruce, y De Long, David G., *Louis I. Kahn. In the realm of architecture*, The Museum of Contemporary Art, Los Angeles, 1991, págs. 182-183. Fotografía de Grant Mudford.
 69.27: Rapp, Günther, *Technik des Sichtbetons*, Beton-Verlag, Düsseldorf, 1969, pág. 21.

- 28: Ibid., pág. 216.
 29: Ibid., pág. 226.
 30: Cátedra de Keller, departamento de Física de la Construcción, ETH, Zürich.
 31: Ilustración de Aschwanden AG, Lyss.
 32: Cátedra de Andrea Deplazes. Fotografía de Thomas Melliger.
 33: Cátedra de Keller, departamento de Física de la Construcción, ETH, Zürich.
 34: Cátedra de Andrea Deplazes. Ilustración Thomas Melliger.
 35: Fotografía de Schöck-beba AG, Aarau.
 36: Ilustración de Aschwanden AG, Lyss.
 37: Cátedra de Keller, departamento de Física de la Construcción, ETH, Zürich.
 38-71.40: Cátedra de Andrea Deplazes. Ilustración de Thomas Melliger.
 41-42: Ilustración de Firma Haffen Deha, Dällikon.
 43: Fotografías de Elemente AG, Veltheim.
 44-47: Cátedra de Andrea Deplazes. Ilustración de Thomas Melliger.
 48: Ilustración de Halfen Deha, Dällikon.
 49: Cátedra de Andrea Deplazes. Fotografías de Thomas Melliger.
 50: Cátedra de Andrea Deplazes.
 51: Walther, René, *Bauen mit Beton. Einführung für Architekten und Bauingenieure*, Ernst und Sohn, Berlin, 1997, pág. 140.
 52: Kind-Barkauskas, Friedbert; Kauhsen, Bruno; Polónyi, Stefan, y Brandt, Jörg, *Beton Atlas*, Birkhäuser, 2002, pág. 271.
 53: Ibid., pág. 60.
 54: Ibid., pág. 206.
 55: Walther, René, *Bauen mit Beton. Einführung für Architekten und Bauingenieure*, Ernst und Sohn, Berlin, 1997, pág. 309.
 56: Ibid., pág. 181.
 57: AA VV, *Les frères Perret*, Institut Français D'Architecture/Éditions Norma, París, 2000, pág. 94.
 58: Hertzberger, Herman, *Lessons for students in architecture*, 010 Publishers, Róterdam, 1998, pág. 128. Fotografía de Jan Versnel.
 59-61: Engel, Heino, *Tragsysteme*, Hatje, Ostfildern-Ruit, 1997, pág. 207.
 62: Künzle, Otto, *Tragkonstruktionen IV*, semestre de verano 2, curso anual sobre hormigón armado, departamento de Arquitectura, ETH, Zürich, pág. 138.
 63: Kind-Barkauskas, Friedbert; Kauhsen, Bruno; Polónyi, Stefan y Brandt, Jörg, *Beton Atlas*, Birkhäuser, Basilea, 2002, pág. 21.
 64: Bürkle, Johann Christoph, *Morger & Degelo Architekten*, Niggli Verlag, Sulgen, 2000, pág. 141. Fotografía de Michael Fontana.
 65-66: Walther, René, *Bauen mit Beton. Einführung für Architekten und Bauingenieure*, Ernst und Sohn, Berlin, 1997, pág. 251.
 67: Ibid., pág. 253.
 68: Luchsinger, Christoph, *Hans Hofmann: vom Neuen Bauen zur neuen Baukunst*, gta Verlag, Zürich, 1985, pág. 112.
 69: Billington, David P., *Robert Maillart und die Kunst des Stahlbetonbaus*, Artemis, Zürich, 1990, pág. 105.
 70: Ramm, Ekkehard y Schunck, E. (eds.), *Heinz Isler. Schalen* (catálogo de la exposición homónima), Gesellschaft für Ingenieurbaukunst ETH, Zürich, 2002, pág. 61.
 77.71: Walther, René, *op. cit.*, 77.65-66, pág. 262.
- Madera**
 79.1, 80.2: Bearth + Deplazes. Fotografía de Timo Allemann.
 81.3: Kolb, Josef, *Systembau mit Holz*, Baufachverlag, Zürich, 1992, pág. 23.
 82.4-5: Bearth + Deplazes.
 83.6: Lignum, Schweizer Arbeitsgemeinschaft für Holz, Zürich.
 84.7: Cátedra de Andrea Deplazes. Ilustración de Maud Châtelet.
 84.8: Cátedra de Andrea Deplazes.
 84.9: Cátedra de Andrea Deplazes. Ilustración de Maud Châtelet.
 84.10-11: SIA-Norm 265/1: Holzbau: Schnittarten. 4.2262 Kantholz und Latten, Schweizer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich, pág. 52.
 85.12: Fotografías de Lignum, Schweizerische Arbeitsgemeinschaft für das Holz (catálogo): *Lignatec 10/2000. Holzfaserprodukte*, Zürich, 2000, pág. 4.
 86.13: Götz, Karl-Heinz y Hoor, Dieter, *Holzbau Atlas*, Institut für internationale Architektur-Dokumentation, München, 1978, pág. 21.
 86.14: Cátedra de Andrea Deplazes. Ilustración de Daniel Gut.
 86.15: Götz, Karl-Heinz y Hoor, Dieter, *op. cit.*, 86.13.
 87.16: Pfeifer, Günter; Liebers, Antje, y Reiners, Holger, *Der neue Holzbau*, Callwey, München, 1998, pág. 15.
 87.17: Cátedra de Andrea Deplazes. Ilustración de Maud Châtelet.
 87.18: Pfeifer, Günter; Liebers, Antje, y Reiners, Holger, *Der neue Holzbau*, Callwey, München, 1998, pág. 19.
 87.19: *Detail*, 1, 2001, pág. 94.
 88.20 arriba: Pfeifer, Günter; Liebers, Antje, y Reiners, Holger, *Der neue Holzbau*, Callwey, München, 1998, pág. 24.
 88.20 abajo: Fotografía de Borimir Radovic.
 88.21-22: *Detail*, 1, 2001, pág. 97. Fotografía de Borimir Radovic.
 89.23: Pfeifer, Günter; Liebers, Antje, y Reiners, Holger, *Der neue Holzbau*, Callwey, München, 1998, pág. 26.
 89.24: pavatex GmbH, Leutkirch.
 89.25: Pfeifer, Günter; Liebers, Antje, y Reiners, Holger, *Der neue Holzbau*, Callwey, München, 1998, pág. 26.
 90.26: Cátedra de Andrea Deplazes. Ilustración de Maud Châtelet.
 90.27: Finnforest Merk Dickholz GmbH (catálogo): *LenaTec-Massivbau*, Aichach, 2001, pág. 15.
 91.28: Pius Schuler AG, Rothenturm (catálogo), *Holzindustrie*, 159.
 91.29-30: Tschopp Holzbau, *BRESTA-Katalog*, Hochdorf.
 92.31: Cátedra de Andrea Deplazes. Ilustración de Maud Châtelet.
 92.32: Ligu, Das Holzbauelement, Kirchlinteln.
 93.33-34: Lignatur AG, Waldstatt.
 94.35: STEKO Holzbausysteme AG, Utwil (catálogo): *STEKO. Systembeschreibung, Planung, Konstruktion*, Kesswil.
 95.36: Finnforest Merk Dickholz GmbH (catálogo), *LenaTec-Bausystem*, Aichbach 2001, pág. 12.
 95.37: Woodwelding SA, Zürich.
- 96.38: Cátedra de Andrea Deplazes. Ilustración de Daniel Gut.
 96.40: Matej Draslar und Andreas Lochmatter, Archiv, cátedra de Andrea Deplazes, 2007.
 97.41-98.43: Kolb, Josef, *Systembau mit Holz*, Baufachverlag, Zürich, 1992, pág. 15.
 98.44: Cátedra de Andrea Deplazes. Ilustración de Daniel Gut.
 99.45-46: Kolb, Josef, *op. cit.*, pág. 15.
 100.47: Bearth + Deplazes.
 100.48: Kolb, Josef, *op. cit.*, pág. 80.
 100.49: Bearth + Deplazes.
 101.50: Firma Holzforum, Berna.
 101.51-102.52: Cátedra de Andrea Deplazes. Ilustración de Daniel Gut.
 103.53: Bearth + Deplazes.
 104.54: Cátedra de Andrea Deplazes.
 105.55-106.60: Hennrichsen, Christoph, "Die Werkstätten am Grossschrein von Ise", en *Detail*, 10, 2002, págs. 1.285 y 1.288.
 107.61: Banham, Reynier y Suzuki, Hiroyuki, *Modernes Bauen in Japan*, DVA, Stuttgart, 1987, pág. 109.
 108.63: Banham, Reynier y Suzuki, Hiroyuki, *Modernes Bauen in Japan*, DVA, Stuttgart, 1987, pág. 109.
 108.64 arriba y abajo: Drexler, Arthur, *The architecture of Japan*, The Museum of Modern Art, Nueva York, 1944, pág. 18.
 109.65: Meister, Urs, "Die Fäden des Netzes", en *tec21*, 21, 2001, pág. 19. Fotografía de Urs Meister.
 109.66-67: Graubner, Wolfram, *Holzverbindungen. Gegenüberstellungen japanischer und europäischer Lösungen*, DVA, Stuttgart, 1984, págs. 71 y 43.
 110.68: Meister, Urs, "Die Fäden des Netzes", en *tec21*, 21, 2001, pág. 21. Fotografía de Urs Meister.
 110.69: Drexler, Arthur, *The architecture of Japan*, The Museum of Modern Art, Nueva York, 1944, pág. 84.
 110.70: Zwenger, Klaus, *Das Holz und seine Verbindungen*, Birkhäuser, Basilea, 1997, pág. 146. Fotografía de Bunhazai Kenzo, Butsu Hozon Gi y Jiutsu Kyushai.
 111.71: Banham, Reynier, y Suzuki, Hiroyuki, *Modernes Bauen in Japan*, DVA, Stuttgart, 1987, pág. 108.
 111.72: Drexler, Arthur, *The architecture of Japan*, The Museum of Modern Art, Nueva York, 1944, pág. 67.
 111.73: Meister, Urs, "Die Fäden des Netzes", en *tec21*, 21, 2001, pág. 25.
 112.74: Ibid., pág. 23. Fotografía de Urs Meister.
 112.75: Drexler, Arthur, *The architecture of Japan*, The Museum of Modern Art, Nueva York, 1944, pág. 149.
 112.76: *Faltblatt der Hallen für neue Kunst Schaffhausen*, Raussmüller Collection, Basilea. Instalación: Carl Andre, *Shiloh*, 1980, 91 × 563 × 563 cm.
 113.77-78: Fotografía de Urs Meister.
- Acero**
 114.1: *tec21*, 23, 2003, pág. 14. Fotografía de Georg Aerni.
 114.2: *Archithese*, 6, 1994, pág. 70. Fotografía de Hans Ruedi Disch.
 115.3: Schultz, Helmut C.; Sobek, Werner, y Habermann, Karl, *Stahlbau Atlas*, Birkhäuser, Basilea, 2001, pág. 47.
 115.4: Ibid., pág. 27.
 115.5: Rohn, Roland/Schweizer Stahlbauverband (eds.): *Bauen in Stahl*, Schweizer Stahlbauverband, Zürich, 1956, pág. 200.

- 116.6: Frei, Hans, *Louis Henry Sullivan*, Artemis, Zürich, 1992, pág. 127.
- 116.7: Cocoon Vision AG, Basilea.
- 116.8: Sack, Manfred, *Richard Neutra*, Artemis, Zürich, 1994, pág. 38.
- 117.9: Bürkle, Johann Christoph, *Wohnhäuser der klassischen Moderne*, DVA, Stuttgart, 1994, pág. 100.
- 117.10: Ídem, pág. 101.
- 117.11: Zabalbeascoa, Anaxu, *Houses of the century*, Editorial Gustavo Gili, Barcelona, 1998, pág. 100. Fotografía de Scot Frances.
- 117.12: Besset, Maurice, *Le Corbusier*, Skira, Gante, 1987, pág. 155.
- 118.13: *Bauen in Stahl*, Stahlbauzentrum Schweiz, Zürich, 1956, pág. 291.
- 118.14-15: Allégret, Laurence, y Vaudou, V., *Jean Prouvé et Paris*, Éditions du Pavillon de l'Arsenal, París, 2001, págs. 282 y 283.
- 118.16: Schultz, Helmut C.; Sobek, Werner, y Habermann, Karl J., *Stahlbau Atlas*, Birkhäuser, Basilea, 2001, pág. 269 (original procedente de: Fritz Haller, *Bauen und Forschen*, Kunstverein Solothurn, Solothurn, 1988). Fotografía de Christian Moser.
- 119.17-18: Van Bruggen, Coosje, y Gehry, Frank O., *Frank O. Gehry, Guggenheim Museum Bilbao*, Guggenheim Museum Publications, Nueva York, 2000, port. y pág. 159.
- 120.19-20: Fotografía de Christian Richters.
- 121.21: Bell-Pottinger, Londres. Fotografía de Nigel Young.
- 122.22: Grimm, Friedrich, *Konstruieren mit Walzprofilen*, Ernst & Sohn, Berlín, 2003, pág. 9.
- 123.23-124.30: Cátedra de Andrea Deplazes. Ilustración de Alois Diethelm.
- 125.31: Stahlbau Zentrum Schweiz, *Steeldoc*, 3, 2006.
- 126.32: Cátedra de Andrea Deplazes. Ilustración de Alois Diethelm.
- 127.33-34: Stahlbau Zentrum Schweiz: *Steeldoc*, 1, 2006.
- 128.35-36: Cátedra de Andrea Deplazes. Ilustración de Alois Diethelm.
- 129.37: Tuchschnid Engineering AG, Nüssli Special Events AG, JAKEM AG (prospecto), *Monolith. Augenblick und Ewigkeit*, 2002.
- 129.38: Hart, Franz; Henn, Walter, y Sontag, Hansjürgen, *Stahlbau Atlas: Geschossbauten*, Institut für Internationale Architektur-Dokumentation, München, 1982, págs. 274 y 276.
- 130.39-40: Cátedra de Andrea Deplazes. Ilustración de Alois Diethelm.
- 131.41-44: Grimm, Friedrich, *Konstruieren mit Walzprofilen*, Ernst und Sohn, Berlín, 2003, págs. 55 y 86.
- 132.45-46: Cátedra de Andrea Deplazes. Ilustración de Alois Diethelm.
- 133.47: Grimm, Friedrich, *Konstruieren mit Walzprofilen*, Ernst und Sohn, Berlín, 2003, pág. 84.
- 133.48-49: *Ibid.*, pág. 81.
- 133.50: *Ibid.*, pág. 80.
- 134.51: Cátedra de Andrea Deplazes.
- 135.52: Michael Heinrich, München.
- 135.53-55: Allégret, Laurence, y Vaudou, V., *Jean Prouvé et Paris*, Éditions du Pavillon de l'Arsenal, París, 2001, págs. 195 y 262.
- 135.56: *Ibid.*, pág. 153.
- 136.57-58: *Werk, Bauen & Wohnen*, 11, 2000, pág. 32.
- 136.59: *Architektur Aktuell*, 230-231, 1999, pág. 124. Fotografía de Georg Marterer.
- 136.60: *Ibid.*, pág. 56. Fotografía de Philippe Ruault.
- 137.61: McCoy, Esther, y Blake, Peter J., *Craig Ellwood*, Hennessey & Ingalls, Santa Mónica, 1997, págs. 99 y 101.
- 137.62: Mack, Gerhard, *Herzog & de Meuron 1989-1991*, Birkhäuser, Basilea, 1991, pág. 25.
- 137.63: *El Croquis*, 86, 1998, pág. 87.
- 137.64: McCoy, Esther, y Blake, Peter J., *Craig Ellwood*, Hennessey & Ingalls, Santa Mónica, 1997, págs. 99 y 101.
- 137.65: Mack, Gerhard, *Herzog & de Meuron 1989-1991*, Birkhäuser, Basilea, 1991, pág. 16.
- 137.66: *El Croquis*, 86, 1998, pág. 75. Fotografía de Hisao Suzuki.
- 138.67: Schultz, Helmut C.; Sobek, Werner, y Habermann, Karl J., *Stahlbau Atlas*, Birkhäuser, Basilea, 2001, pág. 129.
- 138.68-69: Sudjic, Deyan, *Norman Foster, Richard Rogers, James Stirling*, Thames and Hudson, Londres, 1986, págs. 100 y 101. Fotografía de Richard Bryant.
- 138.70: Krewinkel, Heinz W., *Glasarchitektur. Material, Konstruktion und Detail*, Birkhäuser, Basilea, 1998, pág. 27.
- 138.71: Büttner, Oskar, y Hampe, Erhard, *Bauwerk Tragwerk*, *Tragstruktur*, Ernst & Sohn, Berlín, 1985, pág. 263.
- 139.72 a y b: *Detail*, 7, 2001, págs. 1.267 y 1.277.
- 139.74: Foster, Norman, *Foster catalogue 2001*, Prestel, München, 2001, pág. 96.
- 139.75: Graefe, Rainer (ed.), *Vladimir G. Suchov 1853-1939. Die Kunst der sparsamen Konstruktion*, DVA, Stuttgart, 1990, pág. 97.
- 140.76 a: "Pier Luigi Nervi", en *Process Architecture*, 23, 1981, pág. 100.
- 140.76 b: *Ibid.*, pág. 103.
- 140.77: Schultz, Helmut C.; Sobek, Werner, y Habermann, Karl J., *Stahlbau Atlas*, Birkhäuser, Basilea, 2001, pág. 326. Fotografía de Richard Bryant.
- 140.78: *A&V Monografías de Arquitectura y Vivienda*, 36, 1992, pág. 44.
- 140.79: Powell, Kenneth, *Stansted. Norman Foster and the architecture of flight*, Fourth Estate, Londres, 1992, pág. 76 y 77. Fotografía de Richard Bryant y Philip Sayer.
- 140.80: *A&V Monografías de Arquitectura y Vivienda*, 36, 1992, pág. 48.
- Aislamiento**
- 141.1: Cátedra de Andrea Deplazes.
- 141.2 arriba y abajo: Architekturgalerie de Lucerna; Haefliger, Toni; Huesler, Heinz, y Wirz, Heinz, *Herzog & de Meuron. Das neue Suva-Haus in Basilea 1988-1993*, Edition Architekturgalerie, Lucerna, 1994, págs. 32, 33 y 47. Fotografía de Toni Haefliger.
- 142.3: Cátedra de Andrea Deplazes. Ilustración de Eva Geering.
- 143.4: Kipnis, Jeffrey, *Philip Johnson: Recent work*, Academy, Londres, 1996, pág. 30.
- 144.5: Atelier Werner Schmidt, Areal Fabrica, Trun.
- 144.6: Gruber, Herbert y Astrid, *Bauen mit Stroh*, Ökobuch, Staufen am Freiburg, 2000, pág. 11.
- 145.7: Fotografía de Dietrich Schwarz.
- 145.8: Cátedra de Andrea Deplazes. Ilustración de Maud Châtelet.
- 145.9: Ernst Schweizer AG, Hedingen.
- 145.10-11: Cátedra de Andrea Deplazes.
- 145.12: Cátedra de Andrea Deplazes. Ilustración de Maud Châtelet.
- 146.13: Saint-Gobain Isover Austria AG, Stockerau.
- 146.14: Deutsche Foamglas GmbH, Haan.
- 146.15: Styrofoam, Berlín.
- 146.16: pavatex GmbH, Leutkirch.
- 146.17: Deutsche Rockwool, Gladbeck.
- 146.18: Styropor (BASF), Ludwigshafen.
- 146.19: swisspor AG, Steinhausen.
- 146.20: Isofloc AG, Bütschwil.
- 146-147.21: Reyer, Eckhard; Schild, Kai, y Völkner, Stefan, *Kompendium der Dämmstoffe*, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2002.
- 148.22-23: Cátedra de Andrea Deplazes.
- Vidrio**
- 149.1-2: Spauszus, Sigmar, y Schnapp, Jürgen D., *Glas allgemeinverständlich: eine Einführung in Theorie und Praxis*, VEB Fachbuchverlag, Leipzig, 1977.
- 150.3: Kunsthaus Bregenz (ed.), *Nachwallfahrtskapelle Locherboden*, Hatje Cantz, Stuttgart 1997, pág. 67.
- 150.4: Wigginton, Michael, *Glas in der Architektur*, DVA, Stuttgart, 1996, pág. 53.
- 150.5: Toman, Rolf (ed.), *Die Kunst der Gotik*, Könemann, Colonia, 1998, pág. 85. Fotografía de Achim Bednorz.
- 151.6: Knaack, Ulrich, *Konstruktiver Glasbau*, Rudolf Müller, Colonia, 1998, pág. 51.
- 151.7: Fiedler, Jeannine, y Feierabend, Peter, *Bauhaus*, Könemann, Colonia, 1999, pág. 222.
- 152.8: Schumacher, Thomas L., *Il Dantéum di Terragni*, Officina Edizioni, Roma, 1980.
- 152.9: Knaack, Ulrich, *Konstruktiver Glasbau*, Rudolf Müller, Colonia, 1998, pág. 20.
- 154.10: Christoph Elsener, cátedra de Andrea Deplazes.
- 154.11: Meisel, Louis K., y Estes, Richard, *The complete paintings 1966-1985*, Harry N. Abrams, Nueva York, 1986, pág. 79.
- 155.13: Neumeyer, Fritz (ed.), *Ludwig Mies van der Rohe, Hochhaus am Bahnhof Friedrichstrasse*, Ernst Wasmuth, Tübinga/Berlin, 1993, pág. 43.
- 155.14: Riley, Terence, y Bergdoll, Barry (ed.), *Mies in Berlin. Ludwig Mies van der Rohe, die Berliner Jahre, 1907-1938*, Prestel, München, 2002, pág. 189.
- 155.15: Fotografía de Ezra Stoller.
- 156.16: Müller-Wulckow, Walter, *Architektur der Zwanziger Jahre in Deutschland* (tomo. *Bauten der Gemeinschaft*, nueva edición de 1975), Karl Robert Langewiesche Nachfolger, Hans Köster Königstein im Taunus, pág. 86. Fotografía.
- 156.17: Pfammatter, Ulrich, *In die Zukunft gebaut*, Prestel, München, 2005, pág. 187.
- 156.18: Pawley, Martin, *Norman Foster, a global architecture*, Thames & Hudson, Londres 1999, pág. 52. Fotografía de Tim Street-Porter.
- 156.19: Schittich, Christian; Staib, Gerald; Balkow, Dieter; Schuler, Matthias, y Sobek, Werner, *Glasbau Atlas*, Birkhäuser, Basilea, 1998, pág. 50. Fotografía de Ken Kirkwood.
- 157.20: Fotograma de la película *Lost in translation*, Focus Features, 2003.
- 157.21: Christoph Elsener, cátedra de Andrea Deplazes.
- 158.22: Christoph Elsener, cátedra de Andrea Deplazes.
- 158.23: *2G Libros. Arne Jacobsen, edificios públicos*, Editorial Gustavo Gili, Barcelona, 2005, pág. 53.
- 159.24: Wigginton, Michael, *Glas in der Architektur*, DVA, Stuttgart, 1996, pág. 136.

- 1: *Architektur Aktuell*, 7-8, 2007, pág. 57. Fotografía de Christian Richters.
- 2: a. a. O., pág. 65. Fotografía de Christian Richters.
- 3: Fotograma de la película *Philadelphia*, Clínica Zito, Tristar Pictures, 1993.
- 4: *El Croquis*, 32-33, 1988, pág. 92.
- 5: *El Croquis*, 32-33, 1988, pág. 96. Fotografía de Taro Suzuki.
- 6: *El Croquis*, 32-33, 1988, pág. 97. Fotografía de Taro Suzuki.

o

- 1: Kahn, Lloyd, *Shelter II*, Shelter Publications, Bolinas (California), 1978, pág. 203. Fotografía de Doug Egan.
- 2: Genzel, Elke, y Voigt, Pamela, *Kunststoffbauten Teil 1, Pioniere*, Bauhaus-Universität Weimar, Universitätsverlag, Weimar, 2005, pág. 41.
- 3: Ward, James (ed.), *The artifacts of R. Buckminster Fuller, a comprehensive collection of his designs and drawings in four volumes*, Garland, Nueva York/Londres, 1995, pág. 217.
- 4: Genzel, Elke, y Voigt, Pamela, *Kunststoffbauten Teil 1, Pioniere*, Bauhaus-Universität Weimar, Universitätsverlag, Weimar, 2005, pág. 111, ilustración Fotografía de Paul Kramer.
- 5: "Kunststoff-Konstrukte", en *db*, 4, 2006, portada. Tradin Medien GmbH, Leinfelden-Echterdingen. Fotografía de Stefan Pangritz.
- 6: Faserplast AG, Rickenbach-Wil. Fotografía de Christina Stehrenberger.
- 7: *Pausendach Innenhof der Daniel-Staub Realschule*, 1: Heinz Isler, proyecto de estudiantes del módulo Laboratorio FVK 2006-2007, ZHW, Winterthur, 2006, pág. 10. Fotografía de Daniel Wyss y Alex Zeller.
- 8: Genzel, Elke, y Voigt, Pamela, *Kunststoffbauten Teil 1, Pioniere*, Bauhaus-Universität Weimar, Universitätsverlag, Weimar, 2005, pág. 240.
- 9: Genzel, Elke, y Voigt, Pamela, *Kunststoffbauten Teil 1, Pioniere*, Bauhaus-Universität Weimar, Universitätsverlag, Weimar, 2005, pág. V y ss. Fotografía de Heinz Isler.
- 10: Ibid., Fotografía de Heinz Hossdorf.
- 11: Ibid., Fotografía de Heinz Hossdorf.
- 12: Ibid., Fotografía de Heinz Isler.
- 13: Ibid., Fotografía de Heinz Isler.
- 14: Schweizerische Zentralstelle für Stahlbau, *Bauen Stahl*, 11, Zürich, 1979, pág. 63.
- 15: Bogner, Dieter, *Kunsthaus Graz AG* (eds.), *Friendly Alien. Ein Kunsthaus für Graz*, Hatje Cantz, Tübingen-Ruit, 2004, pág. 90.
- 16: Ibid., pág. 153. Fotografía de Paul Ott.
- 17: Otto, Frei, y Nerdinger, Winfried, *Frei Otto, Das Gesamtwerk*, Birkhäuser, Basilea, 2005, pág. 266. Fotografía de Eberhard Möller.
- 18: Pfammatter, Ulrich, *In die Zukunft gebaut*, Prestel, München, 2005, pág. 86. Fotografía de Ulrich Pfammatter.
- 19: Berger, Horst, *Light Structures*, Birkhäuser, Basilea, 1996, pág. 15.
- 20: R+R Fuchs Ingenieurbüro für Fassadentechnik GmbH, München y Herzog & de Meuron, Basilea.
- 21: "Stadien", en *Detail*, 9, Institut für internationale Architektur-Dokumentation GmbH & Co. KG, München, 2005, pág. 975. Fotografía del Allianz Arena/B. Dücke.

- 168.52: "Stadien", en *Detail*, 9, Institut für internationale Architektur-Dokumentation GmbH & Co. KG, München, 2005, pág. 975. Fotografía de Hubertus Hamm.
- 169.53: Kepes, Gyorgy, *Struktur in Kunst und Wissenschaft*, La Connaissance, Bruselas, 1967, pág. 32.
- 169.54: "Kunststoffwelten", en *INOUTIC, Magalog für Architekten*, 1, Inoutic/Deceuninck, München, 2007, pág. 23.

ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS

Cimentación - zócalo

- 173.1: Fotograma de la película *James Bond 007. Sólo se vive dos veces*, Eon Productions, Pinewood Studios, Buckinghamshire, 1967.
- 173.2: Cords-Parchim, Werner, *Das Handbuch des Landbaumeisters*, Neumann, Radebeul, 1969, pág. 148.
- 173.3-4: Cátedra de Andrea Deplazes. Ilustración de Alois Diethelm.
- 174.5: *GA architect*, 16 (Tadao Ando, vol. 3, 1994-2000), 2000, pág. 27.
- 174.6: Cátedra de Andrea Deplazes. Ilustración de Alois Diethelm.
- 174.7: Zoelly, Pierre, *Terratektur. Einstieg in die unterirdische Architektur*, Birkhäuser, Basilea, 1981, pág. 123.
- 174.8: *El Croquis* (Tadao Ando 1983-2000), 2000, pág. 108. Fotografía de Hiroshi Ueda.
- 175.9: Stierlin, Henri (ed.), *Architektur der Welt: Griechenland*, Taschen, Colonia, 1980, pág. 159. Fotografía de Henri Stierlin.
- 175.10: *Der Architekt*, 11, 1991, pág. 554.
- 175.11: Melli, Peter, *Unterlagen zur Vorlesung Untertagebau*, Inst. für Strassen- und Untertagebau, ETH, Zürich, 1975, págs. 92 y 93.
- 175.12: Hervé, Martin, *Guide de l'architecture moderne à Paris*, Editions Alternatives, París, 1990, pág. 63.
- 176.13: *Werk*, 1, Zürich, 1962, pág. 45. Fotografía de Alfred Hablützel.
- 176.14: Abrecht, Birgit, *Architekturführer Island*, DVA, München, 2000, pág. 14.
- 176.15-16: *Archithese*, 1, 2001, pág. 12.
- 176.17: Fotografía de Adrian Kramp.
- 177.18: Riera Ojeda, Oscar (ed.), *Ten Houses. Eduardo Souto de Moura*, Rockport, Gloucester, 1998, pág. 84. Fotografía de Luis Ferreira Alves.
- 177.19: *Werk, Bauen & Wohnen*, 10, 1975, pág. 882. Fotografía de Henri Stierlin.
- 177.20: izquierda y derecha: Albertini, Vincenzo; Baldi, Antonio, y Esposito, Clemente, *Naples, the rediscovered city*, Associazione Napoli Sotterranea, Nápoles, 1996, págs. 41 y 133.
- 177.21: Cátedra de Andrea Deplazes. Ilustración de Alois Diethelm.
- 178.22-23: Gerster, Georg, *Kirchen im Fels*, Atlantis, Zürich, 1972, págs. 13 y 104. Ilustración de Albert Gerster.
- 178.24: Carmody, John, y Sterling, Raymond, *Erdüberdeckte Grossbauten*, Beton-Verlag, Düsseldorf, 1989, pág. 139.
- 178.25: Loubes, Jean-Paul, *Maisons creusées du fleuve jaune*, Créaphis, París, 1988, pág. 108.
- 178.26: Carmody, John, y Sterling, Raymond, *Erdüberdeckte Grossbauten*, Beton-Verlag, Düsseldorf, 1989, pág. 139.
- 179.27: *Werk, Bauen & Wohnen*, 10, 1975, pág. 888, revisado por el editor.
- 179.28: Zoelly, Pierre, *Terratektur. Einstieg in die unterirdische Architektur*, Birkhäuser, Basilea, 1989, pág. 98.
- 179.29: Cátedra de Andrea Deplazes. Ilustración de Alois Diethelm.
- 179.30: Fotografía y diseño gráfico: Christian Kerez.
- 180.31: Ruebener, Rolf H., *Grundbautechnik für Architekten*, Werner-Verlag, Düsseldorf, 1985, pág. 122.
- 180.32 arriba y abajo: "Solus terrain", en *Daidalos* (cuaderno 48), Bertelsmann, Berlín, 1993, págs. 63 y 65.
- 181.33: Cátedra de Andrea Deplazes. Fotografía de Janet Schacke.
- 181.34: IPG Keller AG, Kreuzlingen. Ilustración de Rainer Keller.
- 181.35-182.43: Cátedra de Andrea Deplazes. Ilustración y fotografía: Thomas Melliger.
- 183.44: Ronner, Heinz, *Baukonstruktion im Kontext des architektonischen Entwerfens. Haus - Sockel*, Birkhäuser, Basilea, 1991, pág. 45. Ilustración de Heinz Ronner.
- 183.45: Cátedra de Andrea Deplazes.
- 183.46-47: Ilustración de Heinz Ronner.
- 183.48: Ronner, Heinz, *Baukonstruktion im Kontext des architektonischen Entwerfens. Haus - Sockel*, Birkhäuser, Basilea, 1991, pág. 46. Ilustración de Heinz Ronner.
- 184.49-185.54: Cátedra de Andrea Deplazes. Ilustración de Thomas Wirz.
- 186.56: Cátedra de Andrea Deplazes. Ilustración de Alois Diethelm.
- 186.57: Blake, Peter, *Philip Johnson*, Birkhäuser, Basilea, 1996, pág. 59.
- 186.58: Pérouse de Montclos, Jean-Marie, *Histoire de l'architecture française. De la Renaissance à la Révolution*, Mengès, París, 1995, pág. 301. Fotografía de Caroline Rose.
- 186.59: Diener & Diener, Basilea. Fotografía de Hans Ruedi Disch.
- 187.60-61: Cátedra de Andrea Deplazes. Fotografía de Alois Diethelm.
- 187.62: Oechslin, Werner (ed.), *Danièle Marques*, gta Verlag, Zürich, 2003, pág. 55. Fotografía de Christian Kerez.
- 187.63: Oechslin, Werner (ed.), *Danièle Marques*, gta Verlag, Zürich, 2003, pág. 54. Fotografía de Christian Kerez.
- 187.64: Kind-Barkauskas, Friedbert; Kausen, Bruno; Polónyi, Stefan, y Brandt, Jörg, *Beton Atlas*, Birkhäuser, Basilea, 2002, pág. 217. Fotografía de Heinrich Helfenstein.
- 188.65: Fotografía de Gion A. Caminada.
- 188.66: Schnebli, Dolf; Amman, Tobias, y Ruchat-Roncati, Flora, *Werkverzeichnis 1984-1990*, Zürich/Agno/Verscio, 1991, pág. 97. Fotografía de Heinrich Helfenstein.
- 188.67: Cátedra de Andrea Deplazes. Fotografía de Alois Diethelm.
- 188.68: Zumthor, Peter, *Peter Zumthor Häuser 1979-1997*, Birkhäuser, Basilea, 1999, pág. 108. Fotografía de Hélène Binet.
- 188.69: Cátedra de Andrea Deplazes. Ilustración de Alois Diethelm.
- 189.70: Cátedra de Andrea Deplazes.

- Fachada**
- 190.1: Biblioteca Nazionale Centrale.
- 190.2: Nerdinger, Winfried, *Gottfried Semper, 1803-1879. Architektur und Wissenschaft*, Prestel, München/Zürich, 2003, pág. 112.
- 191.4: Viollet-le-Duc, Eugène-Emmanuel, *Entretiens sur l'architecture*, Morel et Cie, Paris, 1864-1872, Atlas, lám. XXXVI.
- 191.5: Gargiani, Robert, *August Perret*, Gallimard/Electa, Milán, 1993, pág. 76. Fotografía de Robert Gargiani.
- 191.6: Gargiani, Robert, *August Perret*, Gallimard/Electa, Milán, 1993, pág. 77. Fotografía de Robert Gargiani.
- 192.7: Gargiani, Robert, *August Perret*, Gallimard/Electa, Milán, 1993, pág. 62. Fotografía de Robert Gargiani.
- 192.8: Friemert, Chup, *Die gläserne Arche. Kristallpalast Londres 1851 und 1854*, Prestel, München, 1984, pág. 134.
- 192.9: Nerdinger, Winfried, *Der Architekt Walter Gropius*, Gebr. Mann, Berlin, 1996, pág. 35. Fotografía de Albert Renger-Patzsch.
- 193.10: Van Doesburg, Theo, *Theo van Doesburg. Peintre et architecte*, Gallimard/Electa, Paris, 1993, pág. 119.
- 193.11: Warncke, Carsten-Peter, *De Stijl, 1917-1931*, Taschen, Colonia, 1990, pág. 136. Fotografía de Frank van den Oudsten/Lenneke Büller, Amsterdam.
- 194.12: Woodham, Jonathan M., *Twentieth-century ornament*, Rizzoli, Nueva York, 1990, pág. 11.
- 194.13: Koch, Alexander, *Die deutsche Kunst und Dekoration* (tomo 10), Koch Verlag, Darmstadt, 1902.
- 194.14: Von Moos, Stanislaus, *Venturi, Rauch & Scott Brown*, Schirmer Mosel, München, 1987, pág. 203.
- 195.15: Gordon Matta-Clark, *You are the measure*, The Whitney Museum of American Art, Nueva York 2007, pág. 117.
- 198.16: *Werk, Bauen + Wohnen*, 4, 1999, pág. 21. Fotografía de Scagliola/Brakkee, Róterdam.
- 198.17: Zumthor, Peter, *Peter Zumthor. Works, buildings and projects 1979-1997*, Lars Müller, Baden, 1998, pág. 206. Fotografía de Hélène Binet.
- 199.18: Cánovas, Andrés (ed.), *Miguel Fisac. Medalla de Oro de la Arquitectura 1994* (Arquitectos, edición especial), Madrid, 1994.
- 200.19: Mack, Gerhard, *Herzog & de Meuron 1978-1988*, Birkhäuser, Basilea, 1997, pág. 160. Fotografía de Margherita Spiluttini.
- 200.20: Bürkle, J. Christoph (ed.), *Gigon Guyer Architekten, Arbeiten 1989 bis 2000*, Niggli, Sulgen/Zürich, 2000, pág. 176.
- 201.21: Zumthor, Peter, *Peter Zumthor. Works, buildings and projects 1979-1997*, Lars Müller, Baden, 1998, pág. 109. Fotografía de Hélène Binet.
- 202.22: *Werk, Bauen + Wohnen*, 5, 2006, pág. 35. Fotografía de Gerry Johansson.
- 202.23: *Werk, Bauen + Wohnen*, 6, 2002, pág. 29. Fotografía de Rob t'Hart.
- 203.24: von Ballmoos Krucker Architekten. *Register Kommentare*, gta Verlag, Zürich, 2007, pág. 56.
- Hueco**
- 204.1: *Daidalos*, 13, 1984, pág. 64. Imagen: Franz Louis Catel. *Schinkel en Nápoles* (1824).
- 205.2: *Ibid.*, pág. 66.
- 205.3: *Ibid.*, pág. 66.
- 206.4: Le Corbusier, *Almanach d'architecture moderne*, Crés, Paris, 1926, pág. 92.
- 207.5: *Daidalos*, 13, 1984, pág. 68.
- 207.6: *Ibid.*, pág. 68.
- 207.7: *Ibid.*, pág. 68.
- 208.8: *Ibid.*, pág. 69.
- 209.9: *Ibid.*, pág. 71.
- 209.10-11: *Ibid.*, pág. 70. (procedente de *Une petite Maison-1923*, Les Carnets de la recherche patiente, Girsberger, Zürich, 1954).
- 210.12: *Ibid.*, pág. 72.
- 210.13-14: *Ibid.*, págs. 72 y 78. (procedente de *Une petite Maison-1923*, Les Carnets de la recherche patiente, Girsberger, Zürich, 1954).
- 211.15: *Ibid.*, pág. 73. Fotografía de Bruno Reichlin.
- 212.16: *Ibid.*, pág. 74.
- 212.17: *Ibid.*, pág. 74.
- 212.18: *Ibid.*, pág. 74.
- 212.19: *Ibid.*, pág. 77.
- 213.20: *Ibid.*, pág. 75.
- 213.21: *Ibid.*, pág. 75.
- 213.22: *Ibid.*, pág. 75.
- 214.23-221.30: Cátedra de Andrea Deplazes.
- 222.31-32: Cátedra de Andrea Deplazes. Fotografía de Christoph Elsener.
- 222.33: Boga, Thomas, *Die Architektur von Rudolf Olgiati*, gta Verlag, Zürich, 1977, pág. 172.
- 222.34: De la Sota, Alejandro, *Alejandro de la Sota Arquitecto*, Ediciones Pronaos, Madrid, 1989, pág. 85. Fotografía de Alejandro de la Sota.
- 222.35: Boga, Thomas, *Die Architektur von Rudolf Olgiati*, gta Verlag, Zürich, 1977, pág. 172.
- 223.36: Català-Roca, Francesc, y Monteys, Xavier, *La arquitectura de los años cincuenta en Barcelona*, Secretaria General Técnica, Centro de Publicaciones, Madrid, 1987, pág. 78. Fotografía de Francesc Català-Roca.
- 223.38: Mack, Gerhard, *Herzog & de Meuron 1978-1988*, Birkhäuser, Basilea, 1997, pág. 67. Fotografía de Margherita Spiluttini.
- 223.39: *Ibid.*, pág. 62.
- 223.40: Helbling, Hans, "Estratto dal fascicolo nr. 17 della rivista *Architetti*", en *Otto Rudolf Salvisberg 1882-1940*, Florencia, 1953, pág. 12. Institut für Geschichte und Theorie der Architektur (gta), ETH, Zürich.
- 224.41: "Harry Weese", en *Process Architecture*, 11, 1979, pág. 107.
- 224.42-43: *Werk, Bauen + Wohnen*, 1/2, 2001, pág. 166. Fotografía de Hans Ruedi Disch.
- 224.44: AA VV, *Louis I. Kahn. Le monde de l'architecte*, Centre Georges Pompidou, Paris, 1992, pág. 129.
- 225.45-46: Rispa, Raul (ed.), *Barragán. Das Gesamtwerk*, Birkhäuser, Basilea, 1996, pág. 142.
- 225.47-48: Bo & Wohler.
- 225.49: Riera Ojeda, Oscar (ed.), *Ten Houses. Eduardo Souto de Moura*, Rockport, Gloucester, 1998, pág. 38. Fotografía de Luís Ferreira Alves.
- 226.50: Rüegg, Arthur, "Farbkonzeppte und Farbskalen in der Moderne", en *Daidalos*, 51 (Architektur, Kunst, Kultur: *In Farbe*), 1994, pág. 74. Fotografía de Arthur Rüegg.
- 226.51: Gellner, Edoardo, *Alte Bauernhäuser in den Dolomiten. Die ländliche Architektur der venetianischen Alpen*, Callwey, München, 1989 (primera edición en Edizioni Dolomiti, 1988), pág. 252.
- 226.52: Donzel, Catherine; Gregory, Alexis, y Walter, Marc, *Grand American hotels*, Vendom Press, Nueva York, 1989, pág. 176.
- 226.53: Burg, Annegret, *Kollhoff. Architekten Kollhoff und Timmermann*, Birkhäuser, Basilea, 1998, pág. 67. Fotografía de Heinrich Helfenstein.
- 227.54: Cátedra de Andrea Deplazes. Ilustración de Christine Enzmann.
- 227.55-60: Cátedra de Andrea Deplazes. Ilustración de Thomas Melliger.
- 228.61-70: Cátedra de Andrea Deplazes. Ilustración de Christine Enzmann.
- 229.71: Hermann Forster Rohr- & Profitechnik AG, Arbon.
- 229.72: Opo Oeschger AG, Kloten, Hermann Forster Rohr- & Profitechnik AG, Arbon.
- 230.73: Cátedra de Andrea Deplazes.
- 231.74-75: Cátedra de Andrea Deplazes. Ilustración de Patric Allemann.
- 231.76: Boesiger, Willy, y Girsberger, Hans, *Le Corbusier 1910-65*, Artemis, Zürich, 1967, pág. 143.
- 232.77: *El Croquis*, 102 (Annette Gigon/Mike Guyer. 1989-2000), 2000, pág. 180.
- 232.78-82: Cátedra de Andrea Deplazes. Ilustración de Patric Allemann.
- 232.83: Bürkle, Johann Christoph, y Tropeano, Ruggero, *Ein Prototyp des neuen Bauens in Zürich: die Rotach-Häuser* (catálogo de la exposición homónima), gta Verlag, Zürich, 1994, pág. 75. Fotografía de M. Grasser y Ch. Eckert.
- 233.84: *Werk, Bauen + Wohnen*, 10, 1997, pág. 51.
- 233.85: Waechter-Boehm, Lisbeth, *Baumschlager & Eberle: Bauten und Projekte 1996-2002*, Springer, Viena, 2003, pág. 135. Fotografía de Eduard Huber.
- 233.86: Fotografía de Ernst Gisel.
- 234.87: *Archithese*, 2, 2000, pág. 15. Fotografía de Mechthild Heuser.
- 234.88: Lahti, Markku, *Alvar Aalto. Elämäälle herkempi rakenne*, Rakennustieto oy/ The Finnish Building Center, Helsinki, 1996, pág. 71. Fotografía de Malja Holma.
- Forjado**
- 235.1: Gesellschaft für Ingenieurbaukunst, *Robert Maillart: Betonvirtuose*, Vdf Verlag, Zürich, 1996, pág. 48. Fotografía de Robert Maillart.
- 236.2: Nervi, Pier Luigi, *Gestalten in Beton. Zum Werk von Pier Luigi Nervi*, Rudolf Müller, Colonia, 1989.
- 236.3: Joedike, Jürgen, *Bürobauten*, Niggli, Teufen, 1959, pág. 58.
- 236.4: Otto, Frei, y Rasch, Bodo, *Gestalt finden*, Axel Menges, München, 1992, pág. 209. Fotografía de Frei Otto y Bodo Rasch.
- 236.5-6: AA VV, *Alvar Aalto in seven buildings* (catálogo de la exposición homónima), Museum für finnische Architektur, Helsinki, 1998, págs. 39 y 28.
- 237.7: Joedike, Jürgen, *Bürobauten*, Niggli, Teufen, 1959, pág. 66. Fotografía de Eero Saarinen.
- 237.8-9: Nervi, Pier Luigi, *Neue Strukturen*, Hatje, Stuttgart, 1963, págs. 24-25. Fotografía de Pier Luigi Nervi.
- 237.10: Piano, Renzo, *Carnet de travail*, Éditions du Seuil, Paris, 1997, pág. 41. Fotografía de Renzo Piano y Richard Rogers.
- 238.11: Ragon, Michel, *Goldberg dans la ville*, Paris Art Center, Paris, 1985, pág. 31.
- 238.12: Joedike, Jürgen, *Bürobauten*, Niggli, Teufen, 1959, pág. 198. Fotografía de Hideo Kosaka.

- : Koolhaas, Rem, *Delirious New York*, 010 publishers, Rotterdam, 1994, pág. 83.
- : *El Croquis*, 111, 2002, pág. 47.
- : Weigel, Doris, *Die Einraumwohnung als räumliches Manifest der Moderne*, Argus, Schliengen, 1996, p. 75. Fotografía de Adolf Loos.
- : Parent, Claude, "Entrelacs de l'oblique", en *Reihe: lections Architecture "Les Hommes"*, Editions du l'iteur, Paris, 1981, pág. 52. Fotografía de Claude Parent y Paul Virilio.
- : *ibid.*, pág. 146.
- : *a+u*, 342, n. 3, 1999, págs. 111 y 113. Fotografía Christian Richters.
- : *26. Revista Internacional de Arquitectura*, 16 (reign Office Architects), 2000, pág. 51.
- la**
- 3: Cátedra de Andrea Deplazes. Ilustración Thomas Wirz.
- 249.16: Cátedra de Andrea Deplazes. Ilustración Daniel Gut.
- 1: Wangerin, Gerda y Weiss, Gerhard, *Heinrich Jensenow, ein Baumeister 1876-1950, Leben, Lehre, Werk*, Richard Bacht, Essen, 1976, pág. 212.
- 3: Conradin Clavuot, Chur.
- 3: Beckel, Inge; Bucher, Annemarie, y Kübler, Christoph, *Hans Leuzinger 1887-1971: pragmatisch modern*, gta Verlag, Zürich, 1993, pág. 55.
- 3: Conradin Clavuot, Chur.
- 1-22: Cátedra de Andrea Deplazes. Fotografía Christoph Elsener.
- 3: Wang, Wilfried, *Herzog & de Meuron*, Birkhäuser, Basilea, 1998, pág. 67.
- 3: Riley, Terence, y Bergdoll, Barry (eds.), *Mies in Berlin. Ludwig Mies van der Rohe. Die Berliner Jahre 1927-1938*, Prestel, München, 2001, pág. 359.
- 3: Fotografía de David Hirsch.
- 7-29: Bürkle, Johann Christoph, *Gigón Guyer Architekten. Arbeiten 1989-2000*, Niggli, Sulgen/Zürich, 2000, págs. 90, 85 y 186.
- 3-31: Fotografía de Ralph Feiner.
- 2: "Twentieth-century Museums 1", en *Architecture*, 3, 99. Fotografía de Michael Badycornb.
- 3: Brownlee, David Bruce; Mudford, Grant, y De Long, vid. G., *Louis I. Kahn. In the realm of architecture*, e Museum of Contemporary Art, Los Angeles, 1991, p. 397.
- 4: Drew, Philip, "Sydney Opera House. Jørn Utzon", *Architecture in Detail*, Phaidon, Londres, 1995, p. 22.
- 5 arriba: *Archithese*, 5, 2002, pág. 33.
- 6 abajo: Temko, Allan, *Eero Saarinen*, Georg Braziller, Nueva York, 1962, fig. 101. Fotografía de Ezra Stoller.
- 7: Drew, Philip, "Sydney Opera House. Jørn Utzon", *Architecture in Detail*, Phaidon, Londres, 1995, p. 18. Fotografía de Anthony Browell.
- 8-43: Cátedra de Andrea Deplazes. Ilustración Barbara Wiskemann.
- 4: Cátedra de Andrea Deplazes.
- 5-46: Cátedra de Andrea Deplazes. Ilustración Barbara Wiskemann.

eras, ascensores

- : Wilton-Ely, John, *Giovanni Battista Piranesi. Vision and Werk*, Hirmer, München, 1978, pág. VIII.

- 256.2: Klotz, Heinrich (ed.), *Haus-Rucker-Co 1967 bis 1983*, Vieweg & Sohn, Braunschweig/Wiesbaden, 1984, pág. 122.
- 256.3: Baldon, Cleo, y Melchior, Ib, *Steps & stairways*, Rizzoli, Nueva York, 1989, pág. 212. Fotografía de Eadweard Muybridge.
- 257.5: Cátedra de Andrea Deplazes. Fotografías de Christoph Elsener.
- 257.6: Sbriglio, Jacques, *Immeuble 24 N.C. et appartement Le Corbusier*, Birkhäuser, Basilea, 1996, portada.
- 257.7: Mack, Gerhard, *Herzog & de Meuron 1992-1996*, Birkhäuser, Basilea, 1996, pág. 202.
- 258.8: Templer, John A., *The staircase: Studies of hazards, falls, and safer design*, The MIT Press, Cambridge (Mass.), 1992, pág. 87.
- 258.9: *El Croquis*, 68/69 (Álvaro Siza 1958-1994), 1997, pág. 92. Fotografía de Roberto Collova.
- 258.10: Templer, John A., *The staircase: History and theories*, The MIT Press, Cambridge (Mass.), 1992, pág. 141.
- 258.11: Gutheim, Frederick, *Alvar Aalto*, George Braziller, Nueva York, 1960, pág. 34.
- 259.12: Irace, Fulvio, *Gio Ponti. La casa all'italiana*, Electa, Milán, 1988, pág. 164.
- 259.13: Bösel, Richard, y Frommel, Christoph C. (eds.), *Borromini e l'universo barocco*, Electa, Milán, 2000, pág. 103.
- 259.14: Lustenberger, Kurt, *Adolf Loos*, Zanichelli, Bologna, 1998, pág. 160.
- 259.15: *El Croquis* (OMA-Rem Koolhaas, 1987-1998), 1998, pág. 128.
- 260.17: Kranzfelder, Ivo, *Edward Hopper 1882-1967. Vision de la réalité*, Taschen, Colonia, 1998, pág. 129.
- 260.18: Testa, Peter, *Álvaro Siza*, Birkhäuser, Basilea, 1996, pág. 50.
- 260.19: Stierlin, Henri (ed.), *Architektur der Welt: Griechenland*, Taschen, Colonia, 1980, pág. 150. Fotografía de Henri Stierlin.
- 261.20-262.21: Neufert, Ernst, *Bauentwurflehre*, Vieweg & Sohn, Braunschweig/Wiesbaden, 2002, págs. 197 y 196.
- 263.22: Cátedra de Andrea Deplazes. Ilustración de Daniel Gut.
- 264.23-25: SIA-Norm 358, edición de 1996.
- 265.26: "Ayuntamiento de Solleder", en *26. Revista Internacional de Arquitectura*, 4 (Arne Jacobsen: edificios públicos), 1997, pág. 41. Fotografía de Jordi Bernadó.
- 265.27-266.29: AS Aufzüge AG, St. Gallen. Ilustración de Nik Biedermann.
- 267.30-35: Burkard Meyer Architekten, Baden.
- 268.36: *A&V Monografías de Arquitectura y Vivienda*, 77 (Herzog & de Meuron 1980-2000), 1992, pág. 9.
- 269.40-43: Salvisberg, Otto Rudolf, *Architekt Professor O. R. Salvisberg, Zürich: Krankenhäuser in St. Immer und Pruntrut, Fernheizkraftwerk und Maschinenlaboratorium der ETH. Zürich*, Hoffmann, Stuttgart, 1936, imagen 1. Fotografías de Otto Rudolf Salvisberg.
- 269.44: Lichtenstein, Claude, *O. R. Salvisberg. Die andere Moderne*, gta Verlag, Zürich, 1995, pág. 86.
- 270.45-46: *Archithese*, 6, 1998, pág. 60.
- 270.47-49: Conradin Clavuot, Chur.

ESTRUCTURAS

Sistemas constructivos

- 274.1: Blaser, Werner, *Elementare Bauformen*, Betonverlag, Düsseldorf, 1982, pág. 43.
- 274.2: Albrecht, Uwe, *Der Adelssitz im Mittelalter. Studien zum Verhältnis von Architektur und Lebensform in Nord- und Westeuropa*, Deutscher Kunstverlag, München/Berlin, 1995, pág. 11.
- 275.3: Biblioteca de la ETH, Zürich.
- 275.5: Schulitz, Helmut C.; Sobek, Werner, y Habermann, Karl, *Stahlbau Atlas*, Birkhäuser, Basilea, 2001, pág. 72. Fotografía de Harry Callahan.
- 275.6: Grundmann, Stefan, *Architekturführer Rom*, Axel Menges, Stuttgart, 1997, pág. 68.
- 276.7: Nabokov, Peter, y Easton, Robert, *Native American architecture*, Oxford University Press, Nueva York, 1989, pág. 194.
- 276.8: McDonald, William L., y Pinto, John A., *Hadrian's villa and its legacy*, Yale University Press, New Haven, 1995, pág. 90. Ilustración de Michael Lawrence.
- 276.9: Frampton, Kenneth, *Grundlagen der Architektur*, Oktagon, München/Stuttgart, 1993, pág. 177.
- 276.10: Ligtelijn, Vincent, *Aldo van Eyck. Werke*, Birkhäuser, Basilea, 1989, pág. 91.
- 277.11: Divorne, Françoise, *Berne et les villes fondées par les ducs de Zähringen au XIIe siècle*, Archives d'Architecture Moderne, Bruselas, 1991, pág. 117.
- 277.12: Frampton, Kenneth, *Grundlagen der Architektur*, Oktagon, München/Stuttgart, 1993, pág. 71.
- 277.13: Cátedra de Andrea Deplazes. Fotografía de Christoph Wieser.
- 278.14: *Andrea Palladio. La Rotonda*, Electa, Milán, 1990, pág. 48.
- 278.15: Studer, Heinz, *Baustilkunde. Entwicklung der Baustile vom alten ägyptischen Reich bis Ende 20. Jahrhundert* (Schweizer Baudokumentation, 3), Blauen, 1987, pág. 92.
- 278.16: Golany, Gideon S., *Chinese earth-sheltered dwellings. Ingenious lessons for modern urban design*, University of Hawaii Press, Honolulu, 1992, pág. 103.
- 278.17: Frampton, Kenneth, *Grundlagen der Architektur*, Oktagon, München/Stuttgart, 1993, pág. 260.
- 278.18: Frankl, Paul, *Entwicklungsphasen der neueren Baukunst*, B. G. Teubner, Leipzig/Berlin, 1914, pág. 25.
- 279.19: Cátedra de Andrea Deplazes. Fotografía de Christoph Wieser.
- 279.20: Giuliani Hönger, Zürich. Fotografías de Dirk Hebel.
- 279.21: *Scottish Towerhouses*, ETH, Zürich, 2005, pág. 30.
- 279.22: Cátedra de Andrea Deplazes.
- 280.23: Hobhouse, Christopher, *1851 and the Crystal Palace*, John Murray, Londres, 1950, pág. 48.
- 280.24: "Fritz Haller", en *Werk, Bauen + Wohnen*, 7/8, 1992, pág. 14. Fotografía de Christian Mose.
- 280.25: Lustenberger, Kurt, *Adolf Loos*, Artemis, Zürich/München, 1994, pág. 119.
- 280.26: a. a. O., pág. 118.
- 281.27: Kulka, Heinrich, *Adolf Loos. Bauen in der Welt*, Anton Schroll & Co., Viena, 1931, fig. 266.
- 281.28: Lustenberger, Kurt, *Adolf Loos*, Birkhäuser, Basilea, 1994, pág. 161.
- 281.29: Rowe, Colin, *Die Mathematik der idealen Villa*, Birkhäuser, Basilea, 1996, pág. 25.
- 282.30: Lucan, Jacques, *OMA-Rem Koolhaas*, Artemis, Zürich/München, 1991, pág. 129.

- 282.31: Koolhaas, Rem, y Mau, Bruce, *S, M, L, XL*, 010 Publishers, Róterdam, 1995, pág. 1313.
- 282.32: Albrecht, Uwe, *Der Adelssitz im Mittelalter. Studien zum Verhältnis von Architektur und Lebensform in Nord- und Westeuropa*, Deutscher Kunstverlag, München/Berlin, 1995, pág. 24.
- 282.33: Stauer & Hasler Architekten, *Kantonsschule Wil: ein Holzbauwerk*, Niggli, Sulgen, 2004, pág. 18.
- 282.34: Fotografía de Heinrich Helfenstein.
- 283.35: Giuliani Hönger, Zürich. Fotografía de Dirk Hebel.
- 283.36: Christian Kerez, Zürich. Fotografía de Walter Mair.
- 283.37: Boesiger, Willy (ed.), *Le Corbusier*, Artemis, Zürich, 1990, págs. 192-193.
- 284.38-40: Cátedra de Andrea Deplazes. Ilustración de Alois Diethelm.
- 284.41: Cátedra de Andrea Deplazes.
- 284.42: Meyer, Werner, y Clavadetscher, Otto P., *Das Burgenbuch von Graubünden*, Orell Füssli Verlag, Zürich, 1984, pág. 136.
- 284.43: dtv-Merian-Reiseführer, *Peking-Nordchina*, Deutscher Taschenbuch Verlag, München, 1990, pág. 229.
- 284.44: Ambrosi, Angelo; Degano, E., y Zaccaria, C. A., *Architettura in pietra a secco*, Schena Editore, Fasano, 1990, pág. 235.
- 285.45: Cátedra de Andrea Deplazes.
- 285.46: Chesi, Gert, *Architektur und Mythos. Lehmbauten in Afrika*, Haymon-Verlag, Innsbruck, 1995, pág. 202. Fotografía de Gert Chesi.
- 285.47 izquierda: Cátedra de Andrea Deplazes. Ilustración de Alois Diethelm.
- 285.47 derecha: Graefe, Rainer (ed.), *Zur Geschichte des Konstruierens*, Fourier Verlag, Wiesbaden, 2000, pág. 38. Modificación: cátedra de Andrea Deplazes.
- 285.49: Grassnick, Martin (ed.), *Materialien zur Baugeschichte. Die Architektur des Mittelalters*, Vieweg, Braunschweig/Wiesbaden, 1990, MA 161.
- 285.50: *Bauen in Beton. 1990-1991*, Verein Schweizerischer Cement-, Kalk- und Gips-Fabrikant, Zürich 1991, pág. 30. Fotografía de Atelier Kinold.
- 285.51: Cátedra de Andrea Deplazes. Ilustración de Alois Diethelm.
- 286.53: Cátedra de Andrea Deplazes. Ilustración de Alois Diethelm.
- 286.54: AA VV, *Louis I. Kahn. Le Monde de l'architecte*, Centre Georges Pompidou, París, 1992, pág. 245. Fotografía de Kathleen James.
- 286.55: Boesiger, Willy (ed.), *Le Corbusier. Oeuvre Complète 1952-1957*, Artemis, Zürich, 1991, pág. 213.
- 286.56: Cátedra de Andrea Deplazes. Ilustración de Alois Diethelm.
- 287.57: Pier Luigi Nervi, *una scienza per l'architettura*, Istituto Mides, Roma, 1982, proyecto 13.
- 287.58: Cátedra de Andrea Deplazes. Ilustración de Alois Diethelm.
- 287.59-61: Heinle, Erwin, y Schleich, Jörg, *Kuppeln aller Zeiten: aller Kulturen*, DVA, Stuttgart, 1996, págs. 224, 181 y 226.
- 288.62-63: *Archithese*, 5, 1996, pág. 6.
- 289.64: Hunziker, Jakob, *Das Schweizerhaus* (tomo 2: *Das Tessin, Aarau*), Verlag Sauerländer & Co., Aarau, 1902, pág. 25.
- 289.65: Fotografía de Christian Kerez.
- 290.66: Ateliers Jean Nouvel, París. Ilustración de Vincent Lafont.
- 290.67: Virilio, Paul, *Bunker-Archäologie*, Carl Hanser, München, 1992, pág. 178.
- 290.68: Bürgin, Katharina, *Objekte 1992-1994* (catálogo de la exposición homónima), Museum zu Allerheiligen, Schaffhausen, 1995. Fotografía de Rolf Wessendorf.
- 291.69: Cátedra de Andrea Deplazes. Fotografía de L. Felder, M. Hauser, N. Di Iorio y M. Pausa.
- 291.71: Cátedra de Andrea Deplazes. Fotografía de L. Felder, M. Hauser, N. Di Iorio y M. Pausa.
- 291.72-73: Cátedra de Andrea Deplazes. Fotografía de Urs Meister.
- 292.74-294.86: Cátedra de Andrea Deplazes. Ilustración/ fotografía de L. Felder, M. Hauser, N. Di Iorio y M. Pausa.
- 295.87: Mc Lachlan, Anne, y Keith, *Tunisia Handbook*, Baufachverlag, Gütersloh, 1997. Ilustraciones: Bath, Footprint Handbooks, 1997.
- 296.88: Cátedra de Andrea Deplazes. Fotografía de Nik Biedermann.
- 296.90: MacGibbon, David, y Ross, Thomas, *The castellated and domestic architecture of Scotland: From the twelfth to the eighteenth century* (tomo 1), Davin Douglas Press, Edimburgo, 1887, pág. 344.
- 296.91: Zeune, Joachim, *Der schottische Burgenbau vom 15. bis 17. Jahrhundert*, Deutsches Burgeninstitut, Marksburg über Braubach, 1989, fig. 116. Ilustración de C. J. Tabraham.
- 297.92: Barten, Sigrid, *Eduardo Chillida. Skulpturen aus Ton* (catálogo de la exposición homónima), Museum Bellerive, Zürich 1996, pág. 66. Fotografía de Marien Pérez.
- 297.93: Toman, Rolf (ed.), *Die Kunst des Barock: Architektur, Skulptur, Malerei*, Könemann, Colonia, 1997, pág. 23.
- 297.94: Gerber, Rolf, *Louis I. Kahn's Interesse an schottischen Burgen*, beca de la E. Degen Stiftung/Rolf Gerber, ETH, Zürich, 2000, pág. 51. Fotografía de Rolf Gerber.
- 297.95: Izquierda: Fawcett, Richard, *Scottish architecture from the accession of the Stewarts to the Reformation 1371-1560*, Edinburgh University Press, Edimburgo, 1994, pág. 240. Ilustración de Richard Fawcett.
- 298.96-99: Ibid., pág. 240. Ilustración de Richard Fawcett.
- 298.100: Muthesius, Hermann, *Das Englische Haus, Entwicklung, Bedingungen, Anlage, Aufbau, Einrichtung und Innenraum*, Ernst Wasmuth, Berlin, 1908, pág. 78.
- 299.101: Gerber, Rolf, *Louis I. Kahn's Interesse an schottischen Burgen*, beca de la E. Degen Stiftung/Rolf Gerber, ETH, Zürich, 2000, págs. 64-66.
- 299.102-104: Cátedra de Andrea Deplazes. Ilustración de Nik Biedermann.
- 300.105: MacGibbon, David, y Ross, Thomas, *The castellated and domestic architecture of Scotland: From the twelfth to the eighteenth Century* (tomo 2), Davin Douglas Press, Edimburgo, 1887, pág. 116.
- 300.106: Ibid. (tomo 1), pág. 189.
- 300.107 arriba: Kulka, Heinrich (ed.), *Adolf Loos. Das Werk des Architekten*, Anton Schroll & Co., Viena, 1931, fig. 229.
- 300.107 abajo: Ibid, fig. 225.
- 300.108: Cátedra de Andrea Deplazes.
- 301.109 arriba: Rykwert, Joseph, *Louis I. Kahn*, H. N. Abrams, Nueva York, 2001, pág. 118, 119. Fotografía de Roberto Schezen.
- 301.109 centro: Bruce Brownlee, David; Mudford, Grant, y De Long, David, G., *Louis I. Kahn. In the realm of architecture*, The Museum of Contemporary Art, Los Angeles, 1991, pág. 260. Fotografía de Grant Mudford.
- 301.109 abajo: Rykwert, Joseph, *Louis I. Kahn*, H. N. Abrams, Nueva York, 2001, pág. 116.
- 301.110: Ibid., pág. 121.
- 302.111-114: Rössler, Hannes (ed.), *Minihäuser in Japan*, Anton Pustet, Salzburgo, 2000. Ilustraciones de Kei Sugino.
- 303.115-118: Cátedra de Andrea Deplazes. Ilustraciones de Catherine Gay.
- 306.119: Bogner, Botond, *World cities. Tokio, Academy*, Tottenham, 1996, pág. 91. Ilustración de Kisho Kurokawa.
- 306.120-121: Deshoulières, Dominique, *Rob Mallet-Stevens. Architecte*, Archives d'Architecture Moderne, Bruselas, 1980, págs. 267-268.
- 306.122: Kurokawa, Kisho, *Kisho Kurokawa*, CEP Edition, París, 1982, pág. 21. Fotografía de Kisho Kurokawa.
- 307.123: Atelier 5, Berna.
- 307.124: Stierlin, Henri, *Islam. Frühe Bauwerke von Bagdad bis Córdoba*, Taschen, Colonia, 1996, pág. 152. Fotografía de Berengo Gardin.
- 307.125: Atelier 5, Berna. Fotografía de Leonardo Bezzola.
- 307.126: Stierlin, Henri, *Islam. Frühe Bauwerke von Bagdad bis Córdoba*, Taschen, Colonia, 1996, pág. 155.
- 308.127: McCoy, Esther, y Blake, Peter J., *Craig Ellwood*, Hennessey & Ingalls, Santa Mónica, 1997, pág. 35.
- 308.128: Gmür, Patrik, *Artaria & Schmidt. Wohnhaus Schaeffer Riehen/Basel 1927-1928*, gta Verlag, Zürich, 1993, pág. 16.
- 308.129: Wichmann, Hans, *System-design Fritz Haller*, Birkhäuser, Basilea, 1989, pág. 49.
- 308.130: Gmür, Patrik, *Artaria & Schmidt. Wohnhaus Schaeffer Riehen/Basel 1927-1928*, gta Verlag, Zürich, 1993, pág. 20.
- 309.131: Rowe, Colin, *Die Mathematik der idealen Villa*, Birkhäuser, Basilea, 1996, pág. 25.
- 309.132: Miotto, Laura, y Nicolino, Savina, *Lina Bo Bardi, aprirsi all'accadimento*, Testo & Immagine, Turin, 1998, pág. 7.
- 309.133: Blaser, Werner, *Mies van der Rohe. Die Kunst der Struktur*, Artemis, Zürich, 1965, pág. 155.
- 310.134: Wichmann, Hans, *System-design Fritz Haller*, Birkhäuser, Basilea, 1989, págs. 96-97. Fotografía de Therese Beyeler.
- 310.135: Ibid., pág. 70.
- 311.138-139: Cátedra de Andrea Deplazes. Ilustración de Alois Diethelm.
- 311.140: Franz Carl Weber AG, Spreitenbach.
- 312.141: *Arch+*, 100/101, 1989, pág. 56.
- 312.142: *Detail*, 4, 2001, pág. 660.
- 313.143 izquierda: *Detail*, 4, 2001, págs. 665 y 667.
- 313.143 derecha: *Detail*, 4, München, 2001, pág. 667.
- 313.144 arriba: Smith, Kathryn, *Schindler House*, Harry N. Abrams, Nueva York, 2001, pág. 31.
- 313.145: Schwabe, A., "Der heutige Stand des Raumzellenbaues", en *Der Architekt*, 1968, fig. 14. Fotografía de Werkfoto Bayer.
- 314.146: Cátedra de Andrea Deplazes. Ilustración de Alois Diethelm.
- 314.147: Stirling, James, *James Stirling. Bauten und Projekte 1950-1974*, Verlag Gerd Hatje, Stuttgart, 1975, pág. 147. Fotografía de Brecht-Einzig.

- 48: Gopnick, Blake, y Sorkin, Michael, *Moshe Safdie: Habitat 67, Montreal*, Testo & Immagine, Turin, 1998, g. 82.
49: Ibid., págs. 10-11.
50: Stirling, James, *James Stirling. Bauten und Projekte 1950-1974*, Verlag Gerd Hatje, Stuttgart, 1975, pág. 154.
51: Gopnick, Blake, y Sorkin, Michael, *Moshe Safdie: Habitat 67, Montreal*, Testo & Immagine, Turin, 1998, g. 76.

aplicada a la construcción, energía

- : Kollhoff, Hans, *Hans Kollhoff: Architektur*, Prestel, Munich, 2002, pág. 41. Fotografía de Ivan Nemec.
: Chesi, Gert, *Architektur und Mythos. Leimbauten Afrika*, Haymon-Verlag, Innsbruck, 1995, pág. 14. Fotografía de Gert Chesi.
: Ibid., fotografía de Gert Chesi.
: Stöhr, Karl Fritz, *Die amerikanischen Turmbauten, Gründe ihrer Entstehung, ihre Finanzierung, Konstruktion und Rentabilität*, Verlag R. Oldenbourg, München/Berlin, 1921, fig. 17. Fotografía de Karl Fritz Stöhr.
: Fawcett, Richard, *Scottish architecture from the session of the Stewarts to the Reformation 1371-160*, Edinburgh University Press, Edimburgo, 1994, g. 240.
: Fuente no disponible. Modificación de la cátedra de Andrea Deplazes.
2: Bearth + Deplazes. Fotografía de Ralph Feiner.
1: Bearth + Deplazes. Fotografía de Ralph Feiner.
2: Cátedra de Andrea Deplazes.
3-322.14: Cátedra de Andrea Deplazes. Ilustración de Thomas Wirz.
5-16: Cátedra de Andrea Deplazes.
7: Cátedra de Andrea Deplazes. Ilustración de Thomas Wirz.
3-19: Cátedra de Andrea Deplazes.
3-21: Bearth + Deplazes. Fotografía de Ralph Feiner.
2-23: Bearth + Deplazes.

IOS

seleccionadas

- tec21, 25, 2002, pág. 21. Fotografía de Ruedi Schmidmann.
Joedicke, Jürgen, *Architekturgeschichte des 20. Jahrhunderts*, Karl Krämer, Stuttgart, 1990, pág. 151.
Burkard Meyer Architekten, Baden. Fotografía de Reinhard Zimmermann.
Wehrlin, François (ed.), *Kenzo Tange: 40 ans d'urbanisme et d'architecture*, Process Architecture Publishing, Tokio, pág. 101. Fotografía de Osamu Imai.
Bearth + Deplazes.
9: Cátedra de Andrea Deplazes. Ilustración de Alois Diethelm.
: Wichmann, Hans, *System-design Fritz Haller*, Birkhäuser, Basilea, 1989, pág. 132. Fotografía de Irene Beyeler.
: Giurgola, Romaldo, y Mehta, Jaimini, *Louis I. Kahn*, Birkhäuser, Basilea, 1989, pág. 61.
2: *Architectural Record*, febrero de 1947, pág. 95.

- 331.13: *Heizungsanlagen. Anleitung für Betrieb, Überwachung und Wartung*, Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf, 1974, pág. 3.
333.14-15: Bürkle, Johann Christoph, *Wohnhäuser der klassischen Moderne*, DVA, Stuttgart, 1994, pág. 100.
333.16: Ibid., pág. 128.
333.17: Wijdeveld, Paul, *Ludwig Wittgenstein, Architekt*, Wiese Verlag, Basilea, 1994, pág. 124.
334.18-20: *Architectural Record*, diciembre de 1960, págs. 112 y 114.
334.21: *Arch+*, 93, 1988, pág. 79. Fotografía de Rayner Banham.
334.23: *Architectural Record*, febrero de 1960, portada.
335.24: *The progressive architecture library*, Reinold, Nueva York, febrero de 1966, págs. 145, 148 y 151.
335.25: *Architectural Form*, mayo de 1963, pág. 129.
335.26: *The progressive architecture library*, Reinold, Nueva York, febrero de 1966, págs. 145, 148 y 151.
335.27: Bussell, Abby, *SOM evolutions*, Birkhäuser, Basilea, 2000, págs. 50-51. Fotografía de Ezra Stoller.
335.28: *Schweizerische Bauzeitung*, 16, diciembre de 1965, pág. 920.
336.29: *Werk, Bauen & Wohnen*, 12, 1964, pág. 425.
336.30-31: *Schweizerische Bauzeitung*, 16, diciembre de 1965, pág. 914.
336.32: *Archithese*, 1, 2001, pág. 53.
336.33: Istituto Lina Bo e P. M. Bardi (ed.), *Lina Bo Bardi*, Edizioni Charta, Milán, 1994, pág. 104.
336.34: Klaus, Herdeg, *Formal structure in Indian architecture*, Rizzoli, Nueva York, 1990, pág. 19, reelaborado.
337.35: Burkard Meyer Architekten, Baden. Fotografía de Reinhard Zimmermann.
337.36-338.40: Burkard Meyer Architekten, Baden.
339.41-42: Burkard Meyer Architekten, Baden. Fotografías de Reinhard Zimmermann.
339.43-44: Burkard Meyer Architekten, Baden.
340.45: Burkard Meyer Architekten, Baden. Fotografía de Reinhard Zimmermann.
340.46-47: Burkard Meyer Architekten, Baden.
341.48-49: Cátedra de Andrea Deplazes. Fotografías de Alois Diethelm.
342.50-343.54: Cátedra de Andrea Deplazes. Fotografía/ilustración de Alois Diethelm.
343.55: Burkard Meyer Architekten, Baden. Fotografía de Reinhard Zimmermann.
344.56-345.60: Cátedra de Andrea Deplazes. Ilustración de Alois Diethelm.
345.61-62: Burkard Meyer Architekten, Baden. Fotografías de Reinhard Zimmermann.
346.63-64: Cátedra de Andrea Deplazes. Ilustración de Alois Diethelm.
347.65: Fotografía de Ralph Feiner.
347.66: *Detail*, 1/2, 2002, pág. 63. Fotografía de Ralph Feiner.
347.67: Cátedra de Andrea Deplazes.
347.68: Fotografía de Ralph Feiner.
348.69-349.71: Cátedra de Andrea Deplazes.
349.72: Bearth + Deplazes.
350.73-74: Cátedra de Andrea Deplazes.
351.75: Fotografía de Ralph Feiner.
351.76: Cátedra de Andrea Deplazes.
352.77: Fotografía de Ralph Feiner.
352.78: Cátedra de Andrea Deplazes.

- 352.79: *Detail*, 1/2, 2002, pág. 67. Fotografía de Ralph Feiner.
352.80: Cátedra de Andrea Deplazes.
353.81: Fotografía de Ralph Feiner.
353.82: Cátedra de Andrea Deplazes.
353.83: Fotografía de Ralph Feiner.
354.84-85: Fotografías: Bearth + Deplazes.
354.86: Cátedra de Andrea Deplazes.
355.87: Fotografía de Ralph Feiner.
355.88: Cátedra de Andrea Deplazes.
355.89: Fusch, Gustav, *Über Hypokausten. Heizungen und mittelalterliche Heizungsanlagen*, Pfriemer Bauverlag, Wiesbaden, 1986, pág. 13. Reproducción del original, Hannover, Jänecke Verlag, 1910.
355.90: Ibid., pág. 21.
356.91-93: Peter Märkli, Zürich.
357.94-96: Cátedra de Andrea Deplazes.
358.97-100: Peter Märkli, Zürich.
359.101: Peter Märkli, Zürich. Modificación: cátedra de Andrea Deplazes.
359.102: Cátedra de Andrea Deplazes.
360.103-361.105: Peter Märkli, Zürich. Modificación: cátedra de Andrea Deplazes.
361.106: Peter Märkli, Zürich.
361.107-362.109: Peter Märkli, Zürich. Modificación: cátedra de Andrea Deplazes.
363.110-364.114: Cátedra de Andrea Deplazes.
364.115: Peter Märkli, Zürich. Modificación: cátedra de Andrea Deplazes.
364.116-365.119: Cátedra de Andrea Deplazes.
365.120: Peter Märkli, Zürich. Modificación: cátedra de Andrea Deplazes.
365.121-122: Cátedra de Andrea Deplazes.
366.123: Dell'Antonio, Alberto, *Paspels, Valerio Olgiati*, Dino Simonetti, Zürich, 1998, pág. 45. Fotografías de Heinrich Helfenstein, Valerio Olgiati y Mira Blau Architekten.
366.124: *Archithese*, 2, 1997, pág. 36. Ilustración de Valerio Olgiati.
367.125: *Archithese*, 3, 1998, pág. 66.
367.126: Valerio Olgiati, Films.
367.127: *Archithese*, 2, 1997, pág. 37.
367.128-129: *Archithese*, 3, 1998, pág. 66, 67.
367.130-133: Valerio Olgiati, Films. Modificación: cátedra de Andrea Deplazes.
368.134-136: Gebhard Decasper, Ingenieur, Chur. Fotografías de Dickelmann.
369.137: Dell'Antonio, Alberto, *Paspels, Valerio Olgiati*, Dino Simonetti, Zürich, 1998, págs. 22 y 23. Fotografías de Heinrich Helfenstein, Valerio Olgiati y Mira Blau Architekten.
369.138: Valerio Olgiati, Films.
369.139: Valerio Olgiati, Films. Modificación: cátedra de Andrea Deplazes.
370.140-141: Valerio Olgiati, Films.
370.142-372.145: Valerio Olgiati, Films. Modificación: cátedra de Andrea Deplazes.
372.146: Valerio Olgiati, Films.
373.147: Valerio Olgiati, Films. Modificación: cátedra de Andrea Deplazes.
373.148-149: Valerio Olgiati, Films.
374.150: Valerio Olgiati, Films. Modificación: cátedra de Andrea Deplazes.
374.151-152: Valerio Olgiati, Films.
375.153: *Archithese*, 1, 2001, pág. 50.

375.154: *Ibid.*, pág. 53.
 376.155: *Ibid.*, pág. 52.
 376.156: *Ibid.*, pág. 51.
 377.157-160: *Ibid.*, pág. 53.
 378.161-380.167: Miller & Maranta, Basilea. Modificación: cátedra de Andrea Deplazes.
 381.168-382.173: *Werk, Bauen & Wohnen*, 9, 1997.
 383.174-175: *Werk, Bauen & Wohnen*, 9, 1997.
 384.176: Giuliani Hönger, Zürich. Fotografía de Walter Mair.
 384.177: Giuliani Hönger, Zürich.
 385.178-389.192: Giuliani Hönger, Zürich. Fotografías de Walter Mair.
 390-391.193: Giuliani Hönger, Zürich.
 392.194: Giuliani Hönger, Zürich.
 392.195: Giuliani Hönger, Zürich. Fotografía de Walter Mair.
 393.196-394.197: Giuliani Hönger, Zürich.
 395.198: Wieser, Christoph, "Von Parks und Plätzen im Zentrum Zürich Nord", en *Werk, Bauen & Wohnen*, 5, 2003, pág. 18. Fotografía de Ueli Roth.
 395.199: Cátedra de Andrea Deplazes. Fotografía de Marius Hug.
 396.200-398.209: Peter Märkli, Zürich.
 399.210: Cátedra de Andrea Deplazes. Fotografía de Marius Hug.
 399.211: Peter Märkli, Zürich.
 400.212-401.215: Peter Märkli, Zürich.
 401.216: Cátedra de Andrea Deplazes. Fotografía de Marius Hug.
 401.217-402.219: Peter Märkli, Zürich.
 402.220: Cátedra de Andrea Deplazes. Fotografía de Marius Hug.
 403.221: Peter Märkli, Zürich.
 403.222-404.223: Cátedra de Andrea Deplazes. Fotografía de Marius Hug.
 404.224-225: Peter Märkli, Zürich.
 405.226: Cátedra de Andrea Deplazes. Fotografía de Marius Hug.
 405.227-228: Peter Märkli, Zürich.
 405.229: Cátedra de Andrea Deplazes. Fotografía de Marius Hug.
 406.230-232: Peter Märkli, Zürich.
 407.233-235: Cátedra de Andrea Deplazes. Fotografías: Marius Hug.
 408.236: Fotografía de Roger Frei.
 408.237: Burkard Meyer Architekten, Baden.
 408.238: Fotografía Historisches Archiv ABB Schweiz.
 409.239: Fotografía de Roger Frei.
 409.240: Fotografía de Burkard Meyer Architekten, Baden.
 409.241-242: Fotografía de Roger Frei.
 410.243-411.247: Burkard Meyer Architekten, Baden.
 411.248: Fotografía de Roger Frei.
 412.249-255: Burkard Meyer Architekten, Baden.
 413.256-257: Fotografía de Thomas Schwendener, cátedra de Andrea Deplazes.
 413.258: Fotografía de Roger Frei.
 413.259: Burkard Meyer Architekten, Baden.
 414.260-261: Mebatech AG, Baden.
 414.262: Fotografía de Roger Frei.
 414.263: Mebatech AG, Baden.
 414.264-265: Fotografía de Roger Frei.
 415.266: Burkard Meyer Architekten, Baden.
 416.267: Fotografía de Ralph Feiner.
 416.268: Cátedra de Andrea Deplazes.
 417.269-270: Cátedra de Andrea Deplazes.
 418.271-272: Fotografía de Ralph Feiner.

418.273: Cátedra de Andrea Deplazes.
 419.274: Fotografía de Ralph Feiner.
 419.275-420.276: Cátedra de Andrea Deplazes.
 420.277: Fotografía de Ralph Feiner.
 421.278: Cátedra de Andrea Deplazes.
 422.279: Fotografía de Ralph Feiner.
 422.280-281: *Detail*, 3, 2000, pág. 384.
 423.282: Fotografía de Ralph Feiner.
 423.283: Cátedra de Andrea Deplazes.
 423.284: Fotografía de Ralph Feiner.
 424.285: *Glas und Praxis*, Glas Troesch AG, Bützberg, 2000.
 424.286: Cátedra de Andrea Deplazes.
 425.287-288: Meili & Peter, Zürich. Fotografías de Georg Aerni.
 425.289: Meili & Peter, Zürich. Modificación: cátedra de Andrea Deplazes.
 426.290-427.296: Meili & Peter, Zürich. Modificación: cátedra de Andrea Deplazes.
 428.297-298: Meili & Peter, Zürich.
 428.299: Jürg Conzett, Chur.
 429.300-301: Meili & Peter, Zürich. Fotografía: Georg Aerni.
 429.302: Meili & Peter, Zürich. Modificación: cátedra de Andrea Deplazes.
 430-431.303: Meili & Peter, Zürich. Modificación: cátedra de Andrea Deplazes.
 430.304: Meili & Peter, Zürich.
 430.305: Fotografía de Heinrich Helfenstein.
 431.306: Fotografía de Georg Aerni.
 432.307-434.313: Meili & Peter, Zürich.
 435.314: Meili & Peter, Zürich. Fotografía de Andreas Schmidt.
 435.315: Fotografía de Georg Aerni.
 435.316: Meili & Peter, Zürich.
 436.317: Fotografía de Ralph Feiner.
 436.318: Cátedra de Andrea Deplazes.
 437.319: Fotografía de Ralph Feiner.
 437.320-325: Bearth + Deplazes.
 438.326-327: Bearth + Deplazes. Ilustración de Winterthur Holzbau.
 438.328-330: Bearth + Deplazes.
 439.331-332: Cátedra de Andrea Deplazes.
 439.333: Bearth + Deplazes. Fotografía de Ralph Feiner.
 440.334-337: Fotografía de Ralph Feiner.
 441.338-339: Christian Kerez, Zürich.
 442.340: Felix Ackerknecht.
 442.341-444.350: Christian Kerez, Zürich.
 445.351-353: Dr. Ing. Mario Monotti (Büro dsp Ingenieure & Planer AG, Greifensee).
 445.354: Fotografía de Walter Mair.
 445.355-448.361: Christian Kerez, Zürich.
 449.362: Fotografía de Fredy Küng/BGS Architekten.
 449.363: Felix Ackerknecht.
 449.364: Fotografía de Christian Kerez.
 450.365 arriba a la izquierda: Fotografía de Marc Lendorff, huberlendorff Fotografie.
 450.365 en el centro a la izquierda: Fotografía de Dominique Marc Wehrli.
 450.365 abajo a la izquierda: Fotografía de Fredy Küng/BGS Architekten.
 450.366 arriba a la derecha: Fotografía de Christian Kerez.
 450.366 en el centro a la derecha: Fotografía de Dominique Marc Wehrli.
 450.366 abajo a la derecha: Fotografía de Dr. Schwartz Consulting AG, Zug.

CATÁLOGO DE ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS

Ilustraciones sin numerar: cátedra de Andrea Deplazes.

Representación gráfica

453-458: todas las reproducciones: cátedra de Andrea Deplazes.

Cimentación - zócalo

471.1: Bearth + Deplazes.

471.2: Fotografía de Ralph Feiner.

Muro - forjado

479.1: Cátedra de Andrea Deplazes. Ilustración de Maud Châtelet.

Hueco

504.1: Internet: www.sky-frame.ch. Fotografía de Peter Kunz.

Forjado

507.1: Bricosol AG, Zürich.

508.2: Poropor. Hagapart AG, Zug. Firmenkatalog.

509.3: Cátedra de Andrea Deplazes. Fotografía de Thomas Melliger.

510.4: Fotografía de Ralph Feiner.

511.5: Louis I. Kahn Collection.

512.6: Elementwerk Brun AG, Emmen.

513.7: Montana Bausysteme AG, Villmergen.

514.8: Lignatur AG, Waldstatt.

515.9: Valerio Olgiati, Flims.

515.10: Oechsli, Werner (ed.), *Danielle Marques*, gta Verlag, Zürich, 2003, pág. 57.

516.11: Lignatur AG, Waldstatt.

Cubierta y bajocubierta

518.1: Fotografía de Ralph Feiner.

519.2: "Niederlande heute", en *Archithese*, 3, 1997, pág. 65.

520.3: Bürkle, Johann Christoph (ed.), *Gigon Guyer Architekten. Arbeiten 1989-2000*, Niggli, Sulgen, 2000, pág. 73.

521.4: Morger & Degelo, Basilea.

522.5: Fotografía de Heinrich Helfenstein.

523.6: Morger & Degelo, Basilea. Fotografía de Ruedi Walti.

524.7: Diener & Diener, Basilea. Fotografía de Hans Ruedi Disch.

525.8: Fotografía de Ruedi Walti.

526.9: Oliver Schwarz, Zürich.

527.10: Bürkle, Johann Christoph (ed.), *Gigon Guyer Architekten. Arbeiten 1989-2000*, Niggli, Sulgen, 2000, pág. 19. Fotografía de Ruedi Walti.

528.11: Fotografía de Ralph Feiner.

530.12: Bürkle, Johann Christoph (ed.), *Gigon Guyer Architekten. Arbeiten 1989-2000*, Niggli, Sulgen, 2000, págs. 26-27.

532.13: *Detail*, 7/8, 2002, pág. 931.

Índice de términos

- Abombamiento 64, 84, 92
 Acelerador de fraguado 63, 67
 Acero inoxidable 39, 252, 323, 468, 486
 Acristalamiento 155,
 158, 160, 192, 214, 216-217, 219-221, 225, 230,
 233, 309, 402, 405-406, 414-415, 423-424, 449, 492
 Acumulador térmico 89, 145, 178, 318,
 324-325, 394, 510
 Acústica 20, 91,
 174-176, 218, 326, 353, 411-413, 446, 505, 510-511
 Adición 63, 67
 Aditivo 63-64, 67
 Adobe 13, 32, 56, 190
 Agua de condensación 214, 230, 463
 Agua freática 189
 Aire acondicionado 157, 305, 333, 355, 530
 Aislamiento (véase sistemas de aislamiento térmico)
 Aislamiento acústico 82, 89,
 115, 169, 198, 214, 227-228, 321, 323, 331, 380, 409,
 413, 434, 446, 478, 502, 505-506, 510-511, 513, 515
 Aislamiento acústico al ruido de impacto 132, 245,
 345, 380, 392, 401, 403, 419, 432-433, 435, 446, 448,
 461, 463, 465-466, 468-469, 471-481, 501, 507-517
 Aislamiento exterior 196, 322,
 405, 466, 476, 494, 510-511, 526
 Aislamiento interior 70, 148,
 196, 211, 465, 475, 488, 523
 Aislamiento térmico traslúcido 141, 145, 196, 317
 Alféizar 214, 221, 230, 324,
 342, 354, 460, 482, 484-485, 488, 490, 494, 498-500
 Anclaje 39, 49,
 71-72, 179, 197, 322-323, 345, 351, 404, 475, 478
 Anclaje de fachada 71, 322, 404, 406
 Antepecho 43, 51-52, 156, 214, 225,
 230, 251, 264, 322-323, 334-335, 343, 389, 392-394,
 405-406, 425, 428, 432-434, 442, 454, 459, 486, 525
 Aparejo 29, 32-38,
 40-45, 50, 52, 54-55, 57, 195, 354, 457, 520
 Apisonado 13, 65, 315
 Apoyo 70, 74,
 76, 103, 132-133, 144, 182-185, 267, 284, 286, 310,
 313, 351, 368, 381, 472-474, 479-480, 505, 509, 526
 Apuntalamiento 179, 308, 507-508, 513, 517
 Árbol de duramen blando 83-84
 Arco 13, 32, 43,
 49-50, 55, 75, 177, 179, 277, 286-287, 295, 307
 Arena 12, 31-32,
 58, 61-62, 67-69, 96, 149, 168, 177, 189, 245, 252, 255,
 290, 315, 341, 432-433, 435, 462, 465-467, 469, 524
 Árido 61-63, 67, 68-69, 202, 401
 Armadura 39, 50,
 52, 55, 59-60, 64-65, 71-72, 76, 78, 85, 114, 129, 133,
 142, 276, 316, 323, 368, 401, 472-479, 507-509, 513
 Arquitecto técnico 181
 Artefacto 10, 19, 60
 Ascensor 265-266, 331, 428
 Ático 241, 317, 427, 435, 528
 Autenticidad del material 41, 57, 82, 115, 150, 195, 197
 Bajo consumo energético 84, 318, 324, 326
 Balcón 222, 232-233,
 238, 242, 322-323, 345, 402, 479, 496, 529, 532
 Baldaquino 236
 Balloon-frame 80-82, 97, 100, 119, 279
 Banda de ventanas 223
 Bañera (cimentación) 184-185
 Barandilla 123, 258,
 263-264, 269, 292, 333, 344, 393, 402, 420, 524, 532
 Barrera de humedad 184-185,
 189, 394, 403, 461, 463, 465-466, 468, 470
 Barrera de vapor 81-82,
 90-94, 102, 230, 244-249, 254-255, 320,
 323, 352, 360, 373-374, 380, 393-394, 403, 419, 461,
 465-466, 469, 475, 480, 520, 522-524, 528, 531, 533
 Barro 12-14, 22,
 31-32, 40, 56, 58, 62, 97, 176, 275, 285, 295, 315
 Bituminoso 85, 89, 103, 189, 246-247, 254-255, 345, 371,
 373-374, 393-394, 415, 439, 462, 464-470, 480, 499, 525
 Bloque cerámico aislante 196-197
 Bloque de hormigón 31, 34, 457, 519
 Bloque de hormigón celular 33, 196-197, 457
 Borde de cubierta 255,
 322, 351, 402, 403, 406, 439, 528-529
 Bóveda 12-13, 16, 29, 32, 49, 59, 77, 135,
 139, 173, 177, 179, 191, 253, 274, 277-279, 286, 288
 Bricolaje 82, 119
 Brise-soleil 230-231, 413
 Cabio 13, 104, 134, 244, 250, 254, 310, 520
 Cámara de aire ventilada 78, 81-82, 100, 103, 230,
 244-245, 249, 255, 320, 341, 394, 432-433, 464, 470,
 474, 479, 486-487, 497, 513-520, 525, 527-528, 531, 533
 Camillas y cuerdas 182
 Canaión 250, 255, 393, 428,
 439, 470, 503, 518-255, 393, 428, 439, 470, 525, 533
 Capa de cemento 132,
 341, 360, 380, 464, 467, 471-479, 502, 513, 519
 Capa de revestimiento 68, 81, 318, 505
 Capa de separación 128, 189, 237-238,
 244-248, 255, 352, 403, 415, 419, 461-469, 471-479,
 481, 484, 490, 501-503, 507-515, 517, 520, 529, 533
 Carácter (arquitectónico) 19, 22, 25-27, 33, 40, 42, 45,
 53-59, 99, 111, 117-118, 155, 158, 163, 176, 190-192,
 195, 202-203, 216, 222, 228, 235-242, 251-252, 267,
 270, 296, 300, 308, 317, 334, 341-345, 349, 354, 357,
 361, 363, 375, 402, 413-414, 420, 423, 442, 449, 460
 Célula espacial 14, 30, 49,
 273-274, 276, 278, 306, 312, 314
 Cemento 31, 57-58,
 61-68, 72, 85, 88, 95, 132, 146, 163, 230, 244-245,

- 254, 315, 333, 341, 355, 358, 360, 380, 401, 406, 412, 414-415, 419, 430, 448, 457, 464, 466-467, 469, 476, 497, 499, 502, 513, 517, 519, 523, 525, 528, 531
- Cemento pórtland 61, 62, 457
- Chapa 59, 64-65, 82, 90, 99, 116, 124-126, 128-133, 135-136, 141, 187, 200, 229-230, 236, 241, 244, 249, 252, 255, 269, 305, 320, 351-353, 373-374, 393, 406-407, 421-422, 439-440, 470-471, 490-492, 496, 513, 517, 519-522, 526-528, 533
- Cimentación 75, 127, 138, 144, 173-189, 287, 289, 305, 308, 321-323, 349, 382, 462-471
- Cimentación corrida 183, 445, 450, 462
- Cimentación plan 183
- Cimentación profunda 127, 183
- Cimentación puntua 184-185
- Circulación 12, 209, 258, 265, 302, 320, 329
- Clínker 21, 23, 27, 31-32, 40, 42, 51-52, 55, 61-62, 195, 230, 315, 341, 347, 349, 352-354, 462, 471-472, 481, 486, 511
- Cojinete de fricción 473, 477, 526
- Colector 198, 325
- Columna (véase pilar) 16, 24, 59, 204, 277, 306-307, 419
- Concepto de aislamiento 321-323
- Concepto estructural referido a la sección 284
- Conducto para instalaciones 417-418
- Conector 12, 26, 138, 175, 224, 226, 256, 259, 267, 269, 277-278, 282, 297-299, 301, 303, 330-331, 358, 376, 380, 385, 389, 392, 394, 401, 409, 411, 417-418, 425, 428-429, 442, 449
- Construcción con bastidores (armazones) de madera 78, 81, 98, 101-103, 196, 230, 438, 440, 459, 469, 480, 498, 515
- Construcción con mamparas 16, 47-48, 137, 307
- Construcción con paneles 80, 95, 148, 196, 318, 320, 470-471, 481, 500
- Construcción de acero 13, 16, 59, 99, 114-116, 119, 121, 124-125, 127, 129, 137, 279-280, 308, 441
- Construcción de aluminio 135, 230, 232-234, 343, 420-423, 433-435, 526
- Construcción de armazones (véase construcción con bastidores de madera)
- Construcción de cubierta 251, 254-255, 352, 373-374, 380, 403, 414, 419, 428-429, 435, 439, 471, 518-524, 526-533
- Construcción de hormigón 24-26, 28-29, 31-34, 36, 39-40, 43, 47, 49-52, 54-78, 82-83, 87, 91, 93, 108, 112, 115, 119, 123-125, 127-133, 136-137, 140-144, 148, 160, 169, 182-189, 191-193, 195-199, 201, 203, 205, 223-224, 230, 235, 237, 239, 244-245, 251, 253-255, 267-269, 273-277, 279-281, 283, 285-288, 303, 305, 307, 309, 312-317, 320, 323, 325-326, 331, 334-338, 342-343, 345, 351-352, 355, 359-360, 373-375, 378-381, 389, 392-394, 396, 400-407, 411-420, 425, 428, 430, 432, 437, 442, 445-446, 448-450, 457, 461-479, 482, 484, 487-489, 493, 507-513, 517-526, 528-529, 531, 533
- Construcción de madera 13, 16, 58, 60, 78-84, 87, 92-93, 95-102, 105, 114-118, 124, 185, 187-188, 190, 192, 196-198, 230, 282, 315-316, 318, 320, 425, 428, 438, 515, 519, 527
- Construcción de solera 181-185, 189, 352, 403-404, 428, 432-433, 435, 437, 462-470
- Construcción de vigas y pilares 15-16, 49, 74-75, 99, 115-116, 136, 166, 192, 196, 235, 239, 308
- Construcción estable 12 164-165
- Construcción fungiform 140
- Construcción inestable 164-165, 167
- Construcción japonesa con madera 79, 105, 107-110, 112-113
- Construcción ligera 13-14, 196, 230, 273-275, 277-278, 318
- Construcción maciza 13-14, 16, 58, 76, 82, 90, 96, 99, 115, 174, 190, 193-194, 196-197, 222, 273-274, 276-281, 283-287, 312, 315-318, 325, 341, 378, 389, 441
- Construcción que trabaja a compresión 14, 286-287
- Contraventana 21, 230, 233, 343, 358, 497
- Cornisa 49, 188, 201, 204-205, 230, 241, 402, 404, 406, 414, 459
- Corrosión 64, 118, 129, 164, 197, 214, 216, 230, 264, 316
- Cortina 157, 192, 211-212, 230, 234, 302-303, 399, 405, 407, 444, 496
- Cota 181-182, 453-455, 459
- Cubierta a dos aguas 250, 277, 322-323, 425
- Cubierta a un agua 519
- Cubierta ajardinada 251, 403, 529, 532
- Cubierta caliente 245-247, 254, 528-529
- Cubierta con membrana autoprotegida 247, 255, 527
- Cubierta en diente de sierra 252
- Cubierta fría 244-245, 249, 254, 521, 533
- Cubierta inclinada 244, 250, 254-255, 366, 518-521
- Cubierta invertida 245, 248, 255, 532
- Cubierta plana 137, 241, 245-249, 251, 254-255, 302, 323, 522-528, 530, 532
- Cubierta plegada 77
- Cubrición 236, 241-255, 351-353, 351, 415, 419, 434-435, 477, 491, 519
- Cueva 115, 149, 174-176, 178, 292
- Cultura 10, 13-15, 19, 24-26, 40, 54, 56-60, 78, 105, 107, 109, 115, 167, 190, 194, 198, 204, 207-208, 226, 243, 273, 315-316, 318, 326, 537
- Cumbrera 109, 179, 242, 470, 518-521
- Cúpula 13-14, 16, 115, 162-163, 177, 236, 257, 273-276, 278, 287
- Desarrollo espacial 175, 177, 273-275, 279, 331
- Desmonte 176, 178, 181, 186, 278, 304
- Diagonal 40, 97, 110, 119-121, 136, 138-139, 239-240, 308, 515
- Dibujo 8, 11, 53, 110, 129, 161, 174, 199, 270, 332, 373, 407, 453-454, 456-457, 460-461

- Difusión del vapor de agua 217, 230, 249,
254-255, 320, 341, 481, 522-523
- Dimensionado 64, 73, 101-102,
104, 124, 134, 180, 248, 284
- Dintel 31, 43,
94, 96, 214, 220, 225-226, 228-230, 232-233, 322-324,
342, 344, 354, 428, 454, 484, 486, 490, 502, 503, 505
- Donjons 297-301, 317
- Drenaje 189, 245, 380, 403, 528-529
- Duración media 21, 67, 142, 158, 318
- Duramen 83-84
- Durmiente 13, 104, 106, 134, 250, 254, 310
- Eficiencia energética 96
- Elemento cajón 91, 93, 96
- Elemento sándwich 78, 80, 81,
95-96, 100-101, 135, 148, 164-165, 196, 311, 320, 353
- Elevación 138, 176, 186, 188
- Empuje del terreno 173, 175, 179-180, 183, 188-198
- Empuje del viento 96, 230, 249
- Encofrado 14, 50, 52, 55, 57-60, 64-69, 71,
74, 76-78, 87-88, 115, 124, 129, 136, 142, 180, 183-185,
195, 253, 268, 315, 323, 342, 361, 372, 375, 379,
389, 401, 411, 446, 474, 478-479, 496, 507-513, 517
- Encofrado de madera 58, 64-65, 68-69, 87-88, 268, 446
- Encofrado perdido 58, 115, 142, 184-185, 411, 511
- Encuentro de elementos estructurales en esquinas 75,
139, 479
- Energía 45, 63, 82, 141, 145, 149, 159,
217, 231, 234, 315-326, 332, 355, 405, 424, 449, 548
- Energía solar 145, 231, 234, 318, 324-326, 355, 424
- Enfoscado 125,
196-199, 202, 218-220, 305-306, 308, 322, 402,
404-405, 407, 463, 466, 476, 495, 497, 510-511
- Enlucido 219-220, 462-463, 466-467, 472-473,
475-477, 483, 485, 491, 495, 507-512, 519-526, 533
- Entalladura 71, 200,
214, 218, 220-221, 248-249, 254, 439, 470, 533
- Entramado 13, 16, 42,
60, 74-75, 85-87, 97-98, 107, 110-111, 115, 117,
128, 130, 137-138, 191, 196-197, 242, 251, 273,
275, 279-280, 285, 308, 311-312, 316-317, 441,
445, 449-450, 459, 480, 498, 500, 515, 516, 527
- Entramado de piezas ligeras 7, 13, 514, 527
- Entramado espacial 16, 138, 316
- Envolvente 11,
44, 49, 99, 148, 151, 157, 163, 165-166, 168, 189,
195, 200, 230, 255, 324, 349, 367, 379, 449
- Escala 11,
20, 42, 80, 83, 151, 176, 191, 258, 289-290, 304,
318, 364, 375-376, 384, 432-439, 453, 457, 460
- Escalera 12, 30, 108, 115, 136, 139, 175-176,
240, 256-270, 282-283, 296, 298-300, 302, 306, 309,
313, 330-331, 334, 349-350, 358, 366, 368, 376, 385,
407-409, 417-419, 424, 428, 437, 442, 453, 458-459, 545
- Esfuerzos cortantes 33, 77, 86, 92-93
- Esquema en planta 179, 299, 383
- Estabilidad 12, 14, 31, 33-34, 40-43, 45, 55, 61-63, 78,
80-81, 84-86, 90, 99, 110, 115, 118, 135, 139, 184-185,
197, 216, 273, 276, 284-286, 288-289, 315, 413
- Estandarización 28-30, 119
- Estereotomía 8, 12-13, 14, 22,
26, 58, 78, 288, 315-316
- Estor 21, 157, 211,
230, 232-234, 326, 380, 394, 406, 422-424, 449, 492
- Estrado 240
- Estructura 12, 329,
411, 417, 420, 425, 428, 440, 445
- Estructura de acero 59, 114-115, 166, 176, 445, 450
- Estructura espacial 12, 14,
202, 273, 280, 284-287, 303, 317, 329-330, 336, 338,
358, 376-379, 385, 399, 409, 411, 417-419, 437-438
- Estructura laminar 12, 16, 24-25, 28-29,
33-34, 37, 39-40, 43-45, 51, 55, 58-59, 77, 79, 96,
141-142, 179-180, 222, 253, 316, 349, 354, 359-360, 379
- Estructura plegada 77, 252, 273
- Estructura portante 12, 16,
48, 51, 55, 76, 116-118, 120, 128, 130, 132, 135,
137, 139, 180, 201, 223, 279, 281-282, 285, 288, 303,
307-310, 313-314, 320, 323, 329-331, 334-335, 338,
340, 349, 378, 381, 389, 400, 411, 417, 420, 440, 479
- Estructura profunda 57, 195
- Estructura superficial 14, 61,
65, 68-69, 195, 197, 200, 202, 312
- Evacuación de aguas 216,
255, 331, 453, 463-465, 467-470,
- Excavación 173, 176, 178-182, 375, 441
- Expresividad (véase carácter arquitectónico) 10-11,
13, 19, 23, 27, 29, 42-43, 45, 48-49, 53, 57-58, 68, 78,
82, 109, 117-118, 151, 155, 158-159, 191-195, 198-201,
203, 215-217, 226, 235-237, 251-253, 257, 268, 270,
297, 311-312, 315, 317, 321, 326, 334-335, 354, 356
- Fachada 9, 23-28, 30,
39, 42-43, 46, 48, 50-52, 54, 56, 71-72, 78, 80-82, 87,
89-94, 96, 99, 101, 109, 110-118, 120-121, 130, 135-137,
139-141, 144-145, 151, 155-161, 163, 166, 169, 178, 181,
186-188, 190-206, 215, 222-224, 230-233, 238, 241-243,
250-252, 255, 257, 280, 283, 293, 298-299, 301-303,
309-312, 316-317, 320-325, 330-331, 334-335, 338,
340-345, 354, 361-362, 367-368, 375-376, 378-380,
384-385, 389, 392-394, 400, 402, 404-405, 408-409,
411-425, 435, 437-440, 445, 448, 459, 480, 507-528, 531
- Falso techo 124, 129, 237, 267, 411, 417-418, 434-435
- Fibrocemento 254, 479-480, 514-516, 518-519, 525
- Filtro 146, 245, 394, 463-471, 481, 525-526, 533
- Flexibilidad 22, 75, 99,
237, 257, 276, 317, 329-330, 336, 430
- Flexión 74-77, 123, 145, 155, 509

- Forjado 12-13,
16, 26, 39, 47-49, 70, 73-76, 78, 81-82, 89-94, 96, 115,
125, 128-134, 136-137, 144, 179, 195, 224, 235-240,
267, 273, 276, 279-284, 307-310, 321-326, 330-332,
335-336, 338, 340, 342-343, 345-346, 349, 351,
353, 360, 368, 378, 380-383, 389, 394, 401, 404,
406, 411-415, 419-420, 425, 428, 432, 434-436, 438,
442, 445-446, 449, 450, 454, 459, 472-481, 507-517
Forjado compuesto 129
Forjado de acero 131, 133, 517
Forjado de bovedilla cerámica 508
Forjado de paneles aligerados 133, 512
Forjado de vigas 47, 235,
276, 280, 284, 303, 335, 446, 515-516
Forjado fungiforme 73, 76, 235
Forjado macizo 303, 324, 394
Forjado mixto de hormigón y chapa 513
Forjado plano 16, 73,
76, 115, 133, 235, 273-274, 276, 280, 331, 428, 473, 509
Forjado prefabricado de elementos cerámicos 507
Forjado reticular 73, 91,
93, 332, 382, 425, 428, 434-435, 480, 511, 516
Forjados de acero 129, 131, 133, 517
Formación de grietas 39, 84, 368
- Ghorfa* 279, 292-295
Goma 51-52, 64, 128,
158-159, 189, 480, 514-515, 528-529
Goterón 230, 322, 323, 406, 492, 498
Grava 12, 58, 61-62, 66-68, 189,
245-249, 255, 315, 337, 351-352, 375, 393, 419, 524, 538
Gualdrapeado 99
Gula 227, 229, 232-233, 326,
380, 393, 405, 422, 483, 488-489, 490-491, 504-506
- Helada 31, 63, 67, 173, 183-185, 230, 470
Herraje 71, 218-219, 227-229, 502-503, 505
Híbrido 59
Hormigón celular 148, 196-197, 457
Hormigón in situ 29, 52, 66-68, 74-75,
115, 129, 133, 187, 198, 230, 247, 254, 267, 307, 309,
359, 396, 401, 407, 412, 417, 450, 461-464, 466-469
Hormigón pobre 182, 189, 461, 533
Hormigón visto 57-60, 63-66, 68, 70, 148, 185, 188,
196, 201, 230, 268, 279, 323, 325, 337-379, 392, 394,
400-401, 407, 465, 468, 474-475, 478, 488, 493, 523
Hueco 11, 14, 16, 24, 26, 28, 31, 40, 43-44,
46-50, 54-55, 78, 80, 82, 90-92, 96-98, 101, 103, 115,
120, 137, 142-144, 150, 156, 163, 174, 186-187, 201-202,
204-2034, 250, 263-265, 268, 274, 292, 296-302, 307,
309, 313, 317-318, 321-323, 330, 334, 340, 342, 351-352,
361, 363, 375, 389, 405, 424, 440, 459, 482-506
Humedad 31, 43, 62, 64, 66, 83-84, 86-89,
111, 138, 183-189, 197, 214, 216, 230, 244, 255, 320,
354, 403, 461, 463, 465-466, 468, 470, 509, 522-523
- Iluminación 168-169, 173-174, 180, 186,
214, 274, 278, 297, 302, 326, 335, 339, 352, 409, 437
Impresión 124-125, 189, 198, 216, 245, 247, 462, 464-470
Infraestructura 12, 72, 112,
173, 179, 237-239, 305, 329-331, 334
Instalaciones 81, 90, 92-94, 96, 102-103, 124,
128-132, 138, 145, 153, 235-238, 305, 308, 329-336,
394, 413, 449, 469-470, 479-480, 510, 514-517, 522
Instalaciones técnicas 235, 237, 318, 333, 413-415
Intradós 43, 56, 214-215, 218-222,
224, 228, 230, 233, 299, 343-344, 363, 440, 485, 495
- Junta (de dilatación, llaga, tendel) 32-34,
36-37, 39-40, 53, 200, 341, 354, 464, 473-474, 486, 532
Junta de dilatación 39, 44,
200, 354, 379, 473-474, 532
Junta de sellado 218,
221, 229, 470, 482-489, 494-497, 502, 506, 520-522
- Ladrillo 11-13, 22-36,
38-46, 48-60, 83, 118, 141-144, 182, 195-200, 202, 230,
250, 268, 276, 281, 283-284, 286, 301, 311-312, 322,
337, 340-341, 345, 347, 349, 352-354, 359-360, 402,
404, 457, 463-464, 466-467, 473-474, 476-477, 479,
485-487, 491, 495, 505, 509, 512, 519, 522, 526, 528
Ladrillo visto 31-32, 40,
45-46, 195, 202, 230, 322, 337, 341, 345, 347, 474, 505
Lámina 151-152,
157-160, 166, 189, 193, 200, 217, 244-246, 253, 320,
326, 342, 374, 380, 393, 403, 406, 411, 419-422,
432-435, 446, 462-479, 507-513, 517, 528, 531
Lecho de grava 462
Linóleo 21, 163, 392-394, 403, 407, 419, 512
Llaga 32-34, 36, 37, 40, 53, 200, 354, 464,
Lluvia 44, 87, 198, 214, 221, 230,
242, 244-245, 250, 254-255, 316, 341, 343, 363, 420
Losa nervada 76, 129, 132, 326, 335, 412, 510
Low tech 56, 325, 336
Luz estructural 13, 16,
74, 75-77, 82, 90-93, 96, 99, 115-116, 132, 137-138,
167, 177, 205, 235, 253, 267, 274, 276, 281, 310,
331, 336, 340, 352, 368, 379-380, 382-383, 385,
401, 425, 428, 440, 480-481, 501, 508-510, 513-517
- Machihembrado 82, 93, 103,
373, 469, 471, 477, 481, 501, 515
Madera contrachapada 60, 64, 85,
87, 90, 95, 101, 394, 432, 502
Madera de albura 83-84
Madera de árboles frondosos 83
Madera de capas 85-88, 90
Madera de coníferas 83, 89-90, 92
Madera laminada 79, 86, 92, 428, 457, 519
Mampara 351, 363-364, 382, 401, 407
Marco 52, 228, 492-494, 499

Marco de puerta	228-229, 352	Papel estanco al viento	200, 434-435,
Marco de ventana	117, 214, 230, 352, 421, 423, 460		470, 485, 518-519
Materia prima	10-12, 40, 88, 147, 162-163	Papel oleaginoso	188, 200,
Material (materia)	19-24, 27-33, 40-49,	244-245, 462, 464, 469-470, 481, 485, 518, 519, 527	
52-59, 62-69, 80, 87, 91, 96, 98, 114-116, 119, 135,		Parqué	21, 463, 467-468,
137, 141-142, 145, 149-155, 158-160, 162-165, 169,			473-474, 477-479, 509, 516
173, 176-177, 179, 182, 191-192, 197-201, 216-217,		Pasamanos	256, 258, 263-264
225, 228, 235, 242, 246-249, 254-255, 264, 267,		Pavés	149, 152, 198, 400, 407
273, 275, 280, 284-287, 315, 320, 334, 446, 507-508		Pavimento	82,
Material aislante	11, 93, 142, 146, 152, 230, 245	96, 128, 132, 228, 236, 245, 247, 251, 256, 345, 392,	
Ménsula	39, 72, 197, 308, 394, 404, 406, 422	396, 407, 419, 442, 446, 501-503, 507-513, 516-517	
Monolítico	20, 43-44, 58-59, 74,	Pérdida de calor	70, 141, 226, 318, 324, 424, 449
114, 141-142, 148, 177-178, 187, 195, 230, 251, 253,		Perfil	122-123,
268, 289-290, 302, 311, 317, 326, 352, 354, 375, 379		125, 128, 130, 132, 139, 198, 216, 513, 517, 531	
Monolito	59, 114, 187, 289, 379	Persiana enrollable	21, 230, 232, 326, 494, 498
Montaje	39, 50, 52,	Persiana veneciana	232-233, 392, 405-406, 531
71-72, 79-80, 82, 94-96, 100-102, 114, 118, 126-127,		Piedra caliza	31, 36, 258, 316, 322, 407, 432, 457
129, 133, 135, 159-160, 182, 200, 215, 232-233, 269,		Piedra de cantera	40, 177, 223, 284
313, 315, 331, 343, 354, 360, 404, 471, 479, 507, 516		Piedra natural	21-23, 31, 58,
Mortero	14, 32-33, 39-40, 42-43, 50, 53-54,	72, 186, 188, 198-199, 295, 322, 394, 457, 465, 475, 510	
63, 66, 69, 72, 230, 284, 295, 341, 349, 352, 354, 457		Piel 14, 25, 41, 57-58, 81, 98, 117, 141, 151, 153, 163-164,	
Mortero de agarre	462, 475-478, 507-508, 510-511	166-169, 174, 195, 198, 202, 215, 230, 237, 252, 254, 257,	
Muro cortina	16, 160, 192,	288, 309, 316, 322, 324, 347, 349, 359, 363-364, 416, 423	
.....	196, 201, 311, 316, 402, 420	Pieza de compensación	463-464, 472-474, 476, 484
Muro de fábrica	12,	Pilar	16, 34, 48-49, 54-56,
22-23, 25-27, 29-37, 39-57, 80, 118, 148, 195, 197,		59, 73-78, 99, 107, 111, 114-118, 120, 123-127, 130,	
230, 286-287, 292, 301, 316, 321, 338, 341-343,		132, 135-140, 177-178, 184-185, 190-192, 242, 251,	
345, 349, 351-352, 354-355, 360, 404, 457, 462		253, 275, 277-279, 281-283, 287-288, 308-311, 317,	
Muro de fábrica de dos hojas	33-34, 39, 44-45,	330-331, 334-336, 353, 381, 400-401, 404-407, 411-415,	
145, 148, 196, 322, 345, 463, 473, 484, 502, 512, 522		417, 428, 432, 435, 445, 449-450, 513, 517, 519	
Muro de fábrica de una hoja	32-33,	Pilastra	52, 402, 404-407
36, 40-48, 230, 462, 472, 483, 507-508, 521		Pintura	19, 21, 69, 82, 118, 158,
Muro de fábrica visto	41-42, 45-46,	165-166, 189, 190, 192-193, 198-199, 208-210, 216, 230,	
.....	57, 341, 464, 474, 519	237, 241, 313, 380, 394, 435, 445, 448, 476, 524, 531	
Muro-pared	12-13,	Planeamiento	33-34, 79, 90-95,
16, 22, 32, 47-49, 70, 94, 118, 173, 192, 194, 205,		102, 164, 180, 195, 198-199, 304, 311, 330, 395, 407	
225, 241-242, 269, 274, 288, 311, 322-323, 325, 338,		Planta libre	112, 235, 331, 404, 435
345, 363, 368, 378, 381, 392, 404, 420, 457, 503		Plástico	12, 16, 21, 39, 63, 65, 81-82, 95,
Natural (sin tratamiento)	22, 26-30, 56-58,	131, 145, 149, 151, 153-169, 187, 189, 200, 216-218,	
95-96, 114, 153, 156, 169, 212, 216, 225, 252, 277, 416		245-248, 257, 264, 312, 314, 495, 511, 524, 533, 542	
Nave	116, 137, 310	Plástico acrílico	163, 167, 351-352, 355
Obra en construcción	12, 14, 49, 53, 96, 119,	Plástico reforzado con fibras	162-166
143, 159, 252, 305, 308, 318, 329, 330, 401, 404, 459		Plastificante	63, 67
<i>Opus caementitium</i>	55, 58, 287	Predimensionado	73, 104, 134
Ornamento	24-27, 42, 45, 49,	Prefabricación	50-51,
57-58, 119-120, 135, 139, 191-192, 194, 203, 243, 292		53-55, 74-75, 78-79, 90, 100-101, 118, 310-312,	
Panel de drenaje	462-465, 467, 469-470	314, 318, 342, 404, 412, 438, 512, 514, 516-517	
Panel de tres y cinco capas	85, 87-88, 94, 516	Prefabricación pesada	50-51
Panel de yeso	403, 435, 465, 475, 489, 523	Preparación de la obra	181-182
Panel fonoabsorbente	403	Pretensado	73, 77, 132-133,
Paño (de muro)	13, 46, 224, 283, 359		150, 217, 235, 359, 378, 428, 508
		Proceso	10-12, 19,
		26, 30, 58-59, 88, 95, 119, 154, 157, 159-160, 169, 177,	
		181, 199, 203, 216, 238, 256, 304, 311, 316, 318, 325	

- Proceso constructivo 11, 27, 45, 53,
142-144, 295, 305, 315, 507-517
- Producción digital 53, 199, 538
- Producto derivado de la madera 49,
85-86, 88-89, 95, 96, 98, 152, 199, 244, 457
- Programa espacial 47, 330, 356, 384
- Protección antideslumbramiento 230-231, 233-234, 353
- Protección contra incendios 76, 88,
114-116, 123-125, 164, 198, 224, 237, 265, 399, 428, 446
- Protección solar 21, 56, 117, 155, 157,
214, 217, 230-234, 305, 326, 352-353, 358, 363, 394,
414-415, 420-421, 423-424, 433, 439-440, 459-460
- Proyecto 10, 12,
33-34, 43-45, 73, 79, 82, 90-93, 95, 104, 114, 117,
134, 151, 155, 160, 163, 173, 193, 199, 203, 205,
237, 240, 253, 257, 259, 276, 278, 280-281, 290,
303-304, 309, 311, 317-319, 329, 332, 375, 425-426
- Puente térmico 70, 197, 322-324, 449
- Puerta 11,
21, 34, 43, 47, 94, 123, 173, 226-229, 265-266,
274, 321-324, 352, 389, 424, 437, 449, 502-506
- Puerta basculante 229
- Puerta corredera 112, 227, 229, 265, 504, 506
- Puerta giratoria (abatible) 226-228, 502-503, 505
- Puerta plegable 227
- Punto de rocío 183
- Racionalización 34, 50, 98, 116, 242, 305
- Rampa 12, 240, 257, 259, 408-409, 414, 453, 458
- Ranura 51, 86, 90, 93, 224, 229, 394, 466, 480
- Rastrel 103, 197, 244-245,
255, 373-374, 432-435, 439, 471, 481, 514, 518, 520
- Refuerzo 29, 76, 81-82, 87-88, 100,
128, 131, 179, 285-288, 310, 335, 419, 502, 505, 527
- Relación agua/cemento 63, 67, 69
- relleno 97, 115, 190-191, 221, 264, 264, 308
- Replanteo 181
- Representación 453-461
- Resistencia a compresión 59, 83, 245-246
- Retardadores de fraguado 63, 66, 67
- Retracción 62-63, 66, 84-85, 91-92, 111
- Revestimiento 24, 27, 42, 44,
52, 68, 71-72, 81-82, 91, 100-103, 114-116, 118-120,
124-125, 128-129, 136-139, 148, 160, 163-164, 175,
186-188, 190-194, 196-198, 218-221, 228, 236-237,
244, 251-253, 255, 257, 315-318, 322, 334-335, 344,
380, 393-394, 414, 419-422, 432-434, 438, 467-468,
477-478, 490-492, 503, 513, 517-518, 520, 524
- Revestimiento de madera 81-82, 367,
379, 464, 471, 481
- Revoco 23,
27, 34, 40, 44, 57, 97, 116-117, 124, 141-142, 144,
147-148, 186-187, 230, 241-244, 295, 311, 313,
316, 323, 325, 341, 457, 459, 466, 472-473, 476,
482-485, 494-495, 502, 510-512, 520-522, 526, 533
- Rigidización 75, 77, 355
- Ripia 81-82,
109, 141, 198, 202, 230, 254-255, 374, 471, 481, 501
- Rollizo 84, 500
- Rombo 120-121, 139, 167-168
- Ruido 20, 176, 230, 380, 409, 428, 513
- Salpicaduras 40, 189
- Sellado (viento) 103, 244, 249, 469, 480, 514-516
- Sistema *blackbox* o *sándwich* 95-96, 100-102, 148
- Sistema complementario 148, 164, 178,
196-197, 314, 318, 321-323
- Sistema de aislamiento térmico 39, 44, 70,
72, 78, 81-82, 98, 101-103, 117-118, 141-145, 148, 164,
169, 184-185, 194-196, 214, 217, 230, 233, 244-249,
254-255, 318, 320-324, 352, 353, 355, 373-374,
392-394, 404-406, 419, 424, 439, 461-469, 471-482,
485, 487, 489, 491, 493, 495, 501-502, 509-528, 531, 533
- Sistema de losa y pilares 281, 309, 330
- Sistema portante de elementos lineales 74-75, 100,
109, 116, 135-137, 314
- Sistema sintético 80,
96, 116, 141, 146, 148, 195-197, 314, 316, 321, 382
- Sistemas constructivo "en forma de mesa" 282, 310,
335, 417, 419
- Soga 32-33, 36-38, 41, 44, 270
- Solape 32-33, 36-37,
52, 86, 92, 200, 202, 254, 434-435
- Solera 181-185,
188-189, 403-404, 428, 432-433, 435, 437, 462-470
- Sostenibilidad 23, 198, 210, 315, 317-319, 325, 408
- Sótano 34,
173-174, 186-189, 298, 321, 333, 449-450, 462-469
- Suelo radiante 332-333, 360, 374, 380,
449, 460, 462, 465, 471-475, 479, 481, 501, 507-512
- Superficie 16,
19-20, 57, 65-66, 68-70, 78, 87-88, 90-94, 100-102,
115, 150-151, 154-156, 163, 182, 193, 195, 202,
224, 230, 234, 290, 299, 341, 353-354, 393, 459, 510
- Tablero de alma enlistonada 85, 87
- Tablero de fibras 85, 89, 469,
479-480, 514-516, 519, 525
- Tablero de fibras blando 85,
89, 103, 245, 439, 469, 471, 480, 499, 514-516, 519
- Tablero de fibras orientadas (OBS) 88
- Tablero de madera maciza 92, 98
- Tablero de partículas prensadas 85, 88, 90, 521
- Tablero de virutas laminadas encoladas 85-88,
90, 497, 499
- Tablero enlistonado 87
- Tablero laminado 85-87, 99, 130
- Tablero DM (o de densidad media) 85, 89, 505
- TABS (sistema termoactivo) 413, 415

Taco	39, 86, 92, 99, 147, 218-221, 466, 476, 495, 511, 533
Talud	181-182, 189, 462-470
Tapajuntas	123, 136, 200, 219-220, 360, 422, 439, 487, 531
Techo enlucido	220, 475, 476, 479,
Técnica	10, 12, 14, 19, 22, 42, 53-55, 58, 60, 74, 80-82, 110, 113, 149-150, 174, 180, 194, 198-199, 202, 204, 242, 273-274, 325, 332-333
Tecnología	13, 25, 29, 53, 55-56, 58, 60, 78, 95, 149, 159, 238, 259, 315-317, 319, 329, 336, 425
Tectónica	10, 12-13, 58, 78-82, 98, 121, 190, 192, 283, 288, 315-316, 325, 351, 353, 416
Teja	241, 242, 244, 520
Tejido	13, 23-24, 42-43, 45, 58, 77, 80, 160, 192, 198, 232, 234, 236-237, 316
Tendel	32-34, 39, 53, 473-474, 486
Teoría del cambio de materiales	78, 315
Terraza	26-27, 48, 241, 251, 306, 322-323, 345, 392-394, 425, 504
Terreno	173-189, 225, 230, 235, 238, 240, 251-253, 282, 305, 322-323, 357, 436, 459, 470
Textil	12, 14-15, 21-24, 45, 54, 58-59, 96, 167, 169, 189-191, 193, 202, 236-237, 242, 277, 352, 462-470, 476, 495, 557
Tipología	10, 48, 56, 178, 192, 276-314, 325, 399, 409, 411, 413
Toldo	232-233, 421, 423, 533
Torre	52, 114, 120-121, 139, 164, 181, 224, 236, 238, 259, 315-316, 335-336
Trama	13-14, 16, 60, 118-121, 137-138, 148-149, 151, 169, 190, 202, 242, 251, 269, 275, 308, 315-317, 413-414, 416, 466, 480, 498, 500, 514-516, 527
Transmisión de calor	83, 197, 217, 230
Triangulación	181
Tubería de drenaje	189, 470
Umbral	162, 207, 226, 228-229, 289, 324, 502
Unidad espacial	14, 16, 48, 273-276, 278, 297-299, 300, 306, 309, 312-314, 442
Unión de acero	126
Valor g	217, 231, 424
Valor U	217, 424
Ventana	11, 21, 26, 34, 43-44, 47-49, 51-52, 56, 81, 94, 99, 115-117, 123, 137, 139, 145, 154, 159-161, 192, 204-225, 230-233, 250, 274, 289, 305, 313, 315, 318, 321-326, 330, 332-336, 340-345, 352, 360-365, 368, 373-375, 392-394, 402, 404-407, 423-425, 428, 433, 438-440, 454, 459-460, 482-504, 523
Ventana alargada	206-208, 313
Ventana apaisada	8, 204-211, 251
Ventana corrida	16, 51, 116, 223, 251, 309, 333, 358
Ventana de aluminio	216, 343, 363, 375, 394, 407, 420, 423, 488, 523
Ventilación	51, 54, 78, 84, 89, 100-101, 103, 141, 157, 173-175, 186, 197, 201, 224, 230, 235, 244-245, 248-249, 254-255, 274, 278, 305, 318, 324-325, 331, 334-336, 341, 351, 405, 412-413, 420-424, 432-435, 439-440, 446, 449, 467, 469-471, 474, 477-479, 481, 486, 491, 493, 499, 501, 509, 513-521, 525, 527-528, 531, 533
Vidrio	11, 48, 64, 75, 82, 116-118, 137, 141, 145-147, 149-169, 192-193, 198, 202, 215, 217-222, 230-231, 233, 251, 254-255, 264, 280, 288, 313, 326, 333, 335, 353, 407, 414-417, 419-422, 424, 442, 449, 457, 503-504, 531
Vidrio armado	217
Vidrio celular	146, 152, 166, 198, 230, 245, 247, 320, 355, 380, 419, 475, 489, 525, 528-529
Vidrio colado	158, 217
Vidrio compuesto	353, 531
Vidrio flotado	150, 158, 217, 422
Vidrio para ventanas	151, 154, 215, 217, 326
Vierteaguas	221, 230, 404, 484, 486
Viga	12-13, 16, 32, 43, 47, 51, 54, 73-78, 85-86, 90, 92-94, 97, 99, 104, 106-109, 111-118, 123-140, 151, 165, 198, 201, 235, 251, 267, 269-270, 273, 276, 278-281, 284, 292, 303, 307-308, 310, 313, 332, 335, 349, 351-353, 378, 381-383, 389, 431, 434-435, 446, 509, 513, 515-517, 531
Viga cajón	86, 91-93, 351, 382, 425, 428, 430, 433, 435, 516
Viga continua	74, 126, 128
Viga inferior	78, 81, 103, 131-132, 137-139, 389, 428
Viga superior	103, 137-138, 381
Visualización 181	236
Yeso	85, 196, 244, 281, 295, 407, 457, 511
Zanca	263, 269
Zócalo	11, 31, 52, 70, 148, 173-189, 253, 257-258, 288, 301, 322-323, 337, 355, 404-405, 407-409, 432, 459, 462-471, 519, 543, 551