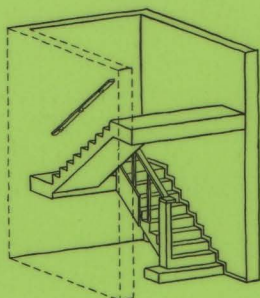
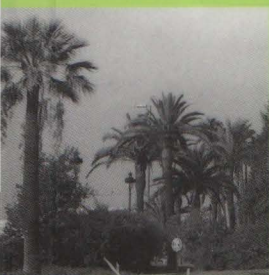


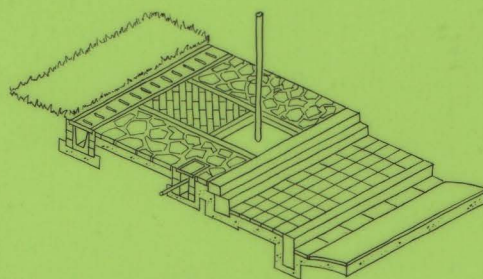
José Luis González  
Albert Casals  
Alejandro Falcones

2ª edición revisada  
conforme al CTE



# Claves del construir arquitectónico

TOMO II. ELEMENTOS  
Elementos del exterior, la estructura y la compartimentación



N

2)

GG

R. 767799

72

60N

cla

(V.2)

José Luis González  
Alberto Casado  
Alejandro Falcones

# Claves del construir arquitectónico

TOMO II. ELEMENTOS

2ª edición revisada conforme al CTE

Ti: 1769715

CB: 73649814



Editorial Gustavo Gili, SL

Procedimiento 67-88, 08050 Barcelona, España. Tel. 88 332 81 81  
Valle de Bravo 27, 55050 Tlaxcala, México. Tel. 55 60 60 11

Procedimiento 67-88, 08050 Barcelona, España. Tel. 88 332 81 81  
Valle de Bravo 27, 55050 Tlaxcala, México. Tel. 55 60 60 11

GG



Claves  
del constructivismo  
arquitectónico

TOMO II. ELEMENTOS

T.P. 1367512

CO. 1367512

**Editorial Gustavo Gili, SL**

Rosselló 87-89, 08029 Barcelona, España. Tel. 93 322 81 61

Valle de Bravo 21, 53050 Naucalpan, México. Tel. 55 60 60 11

Praceta Notícias da Amadora 4-B, 2700-606 Amadora, Portugal. Tel. 21 491 09 36

José Luis González  
Albert Casals  
Alejandro Falcones

# Claves del construir arquitectónico

TOMO II. ELEMENTOS

2ª edición revisada conforme al CTE



2ª edición revisada conforme al CTE  
1ª tirada, 2008

Corrección de estilo: Agnès González Dalmau  
Diseño gráfico de los tres tomos: Toni Cabré/Editorial Gustavo Gili, SL

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la ley, la reproducción (electrónica, química, mecánica, óptica, de grabación o de fotocopia), distribución, comunicación pública y transformación de cualquier parte de esta publicación —incluido el diseño de la cubierta— sin la previa autorización escrita de los titulares de la propiedad intelectual y de la Editorial. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual (arts. 270 y siguientes del Código Penal). El Centro Español de Derechos Reprográficos (CEDRO) vela por el respeto de los citados derechos.

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.

© José Luis González Moreno-Navarro, 2001, 2008  
© Editorial Gustavo Gili, SL, Barcelona, 2001, 2008

*Printed in Spain*

ISBN: 978-84-252-1719-8 (colección)

ISBN: 978-84-252-1865-1 (tomo II)

Depósito legal: B. 10.210-2008

Impresión: Gráficas 92, SA, Rubí (Barcelona)



# Índice

|                                                                              |     |
|------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Extracto de la Introducción a los tres tomos</b>                          | 7   |
| <b>Introducción a los tomos II y III</b>                                     | 9   |
| <b>TOMO II. Elementos del exterior, la estructura y la compartimentación</b> | 15  |
| <b>I. La formación del espacio exterior</b>                                  | 17  |
| 1. Elementos horizontales                                                    | 19  |
| 1.1 El terreno natural                                                       | 20  |
| 1.2 Pavimentos exteriores                                                    | 24  |
| 2. Elementos verticales                                                      | 36  |
| 2.1 Elementos de contención de tierras                                       | 37  |
| 2.2 Cercas, vallados y pantallas                                             | 42  |
| 2.3 Arbolado                                                                 | 46  |
| <b>II. La estructura portante</b>                                            | 55  |
| 3. Cimentaciones                                                             | 57  |
| 3.1 El terreno de cimentación                                                | 58  |
| 3.2 Cimentaciones superficiales o directas                                   | 61  |
| 3.3 Cimentaciones profundas                                                  | 65  |
| 3.4 Contención de tierras en sótanos                                         | 68  |
| 4. Elementos verticales                                                      | 71  |
| 4.1 Muros o paredes                                                          | 73  |
| 4.2 Pies derechos                                                            | 77  |
| 5. Elementos horizontales                                                    | 79  |
| 5.1 Vigas o jácenas de forjados                                              | 81  |
| 5.2 Forjados                                                                 | 85  |
| 5.3 Elementos portantes de cubiertas ligeras                                 | 91  |
| 6. La estructura como unidad                                                 | 94  |
| 6.1 Estructuras de muros                                                     | 95  |
| 6.2 Estructuras porticadas                                                   | 101 |
| <b>III. La compartimentación del interior</b>                                | 108 |
| 7. Entrepisos                                                                | 110 |
| 8. Particiones                                                               | 115 |
| 8.1 Tabiques y paredes                                                       | 116 |
| 8.2 Puertas                                                                  | 127 |
| 9. Revestimientos                                                            | 132 |
| 9.1 La envolvente interior como unidad                                       | 133 |
| 9.2 Pavimentos interiores                                                    | 138 |
| 9.3 Falsos techos (techos colgados)                                          | 153 |
| 9.4 Revestimientos de paredes y techos                                       | 160 |
| 10. Escaleras                                                                | 169 |
| <b>Bibliografía</b>                                                          | 176 |
| <b>Identificación fotográfica</b>                                            | 177 |
| <b>Agradecimientos</b>                                                       | 178 |
| <b>Notas biográficas</b>                                                     | 178 |

|     |                                                                       |
|-----|-----------------------------------------------------------------------|
| 1   | Extracto de la introducción a los tres tomos                          |
| 9   | Introducción a los tomos II y III                                     |
| 16  | Tomos II - Elementos del exterior de la estructura y la climatización |
| 17  | I. La formación del espacio exterior                                  |
| 18  | 1. Elementos horizontales                                             |
| 20  | 1.1 El terreno natural                                                |
| 24  | 1.2 Pavimentos exteriores                                             |
| 36  | 2. Elementos verticales                                               |
| 37  | 2.1 Elementos de contención de tierras                                |
| 42  | 2.2 Cercas, vallas y pantallas                                        |
| 46  | 2.3 Aislado                                                           |
| 50  | II. La estructura portante                                            |
| 52  | 3. Climatizaciones                                                    |
| 56  | 3.1 El terreno de climatización                                       |
| 61  | 3.2 Climatizaciones superficiales o directas                          |
| 63  | 3.3 Climatizaciones profundas                                         |
| 66  | 3.4 Contención de tierras en sótanos                                  |
| 73  | 4. Elementos verticales                                               |
| 77  | 4.1 Muros o paredes                                                   |
| 78  | 4.2 Pisos de sótanos                                                  |
| 79  | 5. Elementos horizontales                                             |
| 81  | 5.1 Vigas o jácenes de forjados                                       |
| 82  | 5.2 Forjados                                                          |
| 87  | 5.3 Elementos portantes de cubiertas ligeras                          |
| 94  | 6. Elementos de aislamiento                                           |
| 97  | 6.1 Elementos de aislamiento                                          |
| 100 | 6.2 Elementos de aislamiento                                          |
| 101 | 6.3 Elementos de aislamiento                                          |
| 102 | 6.4 Elementos de aislamiento                                          |
| 103 | 6.5 Elementos de aislamiento                                          |
| 104 | 6.6 Elementos de aislamiento                                          |
| 105 | 6.7 Elementos de aislamiento                                          |
| 106 | 6.8 Elementos de aislamiento                                          |
| 107 | 6.9 Elementos de aislamiento                                          |
| 108 | 6.10 Elementos de aislamiento                                         |
| 109 | 6.11 Elementos de aislamiento                                         |
| 110 | 6.12 Elementos de aislamiento                                         |
| 111 | 6.13 Elementos de aislamiento                                         |
| 112 | 6.14 Elementos de aislamiento                                         |
| 113 | 6.15 Elementos de aislamiento                                         |
| 114 | 6.16 Elementos de aislamiento                                         |
| 115 | 6.17 Elementos de aislamiento                                         |
| 116 | 6.18 Elementos de aislamiento                                         |
| 117 | 6.19 Elementos de aislamiento                                         |
| 118 | 6.20 Elementos de aislamiento                                         |
| 119 | 6.21 Elementos de aislamiento                                         |
| 120 | 6.22 Elementos de aislamiento                                         |
| 121 | 6.23 Elementos de aislamiento                                         |
| 122 | 6.24 Elementos de aislamiento                                         |
| 123 | 6.25 Elementos de aislamiento                                         |
| 124 | 6.26 Elementos de aislamiento                                         |
| 125 | 6.27 Elementos de aislamiento                                         |
| 126 | 6.28 Elementos de aislamiento                                         |
| 127 | 6.29 Elementos de aislamiento                                         |
| 128 | 6.30 Elementos de aislamiento                                         |
| 129 | 6.31 Elementos de aislamiento                                         |
| 130 | 6.32 Elementos de aislamiento                                         |
| 131 | 6.33 Elementos de aislamiento                                         |
| 132 | 6.34 Elementos de aislamiento                                         |
| 133 | 6.35 Elementos de aislamiento                                         |
| 134 | 6.36 Elementos de aislamiento                                         |
| 135 | 6.37 Elementos de aislamiento                                         |
| 136 | 6.38 Elementos de aislamiento                                         |
| 137 | 6.39 Elementos de aislamiento                                         |
| 138 | 6.40 Elementos de aislamiento                                         |
| 139 | 6.41 Elementos de aislamiento                                         |
| 140 | 6.42 Elementos de aislamiento                                         |
| 141 | 6.43 Elementos de aislamiento                                         |
| 142 | 6.44 Elementos de aislamiento                                         |
| 143 | 6.45 Elementos de aislamiento                                         |
| 144 | 6.46 Elementos de aislamiento                                         |
| 145 | 6.47 Elementos de aislamiento                                         |
| 146 | 6.48 Elementos de aislamiento                                         |
| 147 | 6.49 Elementos de aislamiento                                         |
| 148 | 6.50 Elementos de aislamiento                                         |
| 149 | 6.51 Elementos de aislamiento                                         |
| 150 | 6.52 Elementos de aislamiento                                         |
| 151 | 6.53 Elementos de aislamiento                                         |
| 152 | 6.54 Elementos de aislamiento                                         |
| 153 | 6.55 Elementos de aislamiento                                         |
| 154 | 6.56 Elementos de aislamiento                                         |
| 155 | 6.57 Elementos de aislamiento                                         |
| 156 | 6.58 Elementos de aislamiento                                         |
| 157 | 6.59 Elementos de aislamiento                                         |
| 158 | 6.60 Elementos de aislamiento                                         |
| 159 | 6.61 Elementos de aislamiento                                         |
| 160 | 6.62 Elementos de aislamiento                                         |
| 161 | 6.63 Elementos de aislamiento                                         |
| 162 | 6.64 Elementos de aislamiento                                         |
| 163 | 6.65 Elementos de aislamiento                                         |
| 164 | 6.66 Elementos de aislamiento                                         |
| 165 | 6.67 Elementos de aislamiento                                         |
| 166 | 6.68 Elementos de aislamiento                                         |
| 167 | 6.69 Elementos de aislamiento                                         |
| 168 | 6.70 Elementos de aislamiento                                         |
| 169 | 6.71 Elementos de aislamiento                                         |
| 170 | 6.72 Elementos de aislamiento                                         |
| 171 | 6.73 Elementos de aislamiento                                         |
| 172 | 6.74 Elementos de aislamiento                                         |
| 173 | 6.75 Elementos de aislamiento                                         |
| 174 | 6.76 Elementos de aislamiento                                         |
| 175 | 6.77 Elementos de aislamiento                                         |
| 176 | 6.78 Elementos de aislamiento                                         |
| 177 | 6.79 Elementos de aislamiento                                         |
| 178 | 6.80 Elementos de aislamiento                                         |
| 179 | 6.81 Elementos de aislamiento                                         |
| 180 | 6.82 Elementos de aislamiento                                         |
| 181 | 6.83 Elementos de aislamiento                                         |
| 182 | 6.84 Elementos de aislamiento                                         |
| 183 | 6.85 Elementos de aislamiento                                         |
| 184 | 6.86 Elementos de aislamiento                                         |
| 185 | 6.87 Elementos de aislamiento                                         |
| 186 | 6.88 Elementos de aislamiento                                         |
| 187 | 6.89 Elementos de aislamiento                                         |
| 188 | 6.90 Elementos de aislamiento                                         |
| 189 | 6.91 Elementos de aislamiento                                         |
| 190 | 6.92 Elementos de aislamiento                                         |
| 191 | 6.93 Elementos de aislamiento                                         |
| 192 | 6.94 Elementos de aislamiento                                         |
| 193 | 6.95 Elementos de aislamiento                                         |
| 194 | 6.96 Elementos de aislamiento                                         |
| 195 | 6.97 Elementos de aislamiento                                         |
| 196 | 6.98 Elementos de aislamiento                                         |
| 197 | 6.99 Elementos de aislamiento                                         |
| 198 | 6.100 Elementos de aislamiento                                        |

NOTA A LOS TRES TOMOS:  
 Las referencias cruzadas a los temas de los diferentes tomos se indican con el número del tomo (en romanos), seguido del número del tema y subtema (en arábigos). Así, III-1.2 hace referencia al tomo III, tema 1, subtema 2.



## Extracto de la introducción a los tres tomos

En el inicio del tomo I se justifican los objetivos globales de los tres tomos de este libro y los medios para alcanzarlos. Aunque no es necesario repetir todo lo allí expuesto, a continuación recordamos los aspectos más importantes.

### Presentación

El objetivo propuesto es exponer el saber constructivo básico necesario para participar profesionalmente en el mundo de la Arquitectura, pero, y esto es lo fundamental, con una nueva manera de estructurarlo y desarrollarlo mucho más acorde con su realidad actual.

Su punto de partida se encuentra en la experiencia acumulada por los autores, arquitectos en ejercicio y profesores de Construcción Arquitectónica desde hace más de veinte años, y, especialmente, en las conclusiones de sus investigaciones más importantes.<sup>1</sup>

El resultado final perseguido no es otro que un compendio sobre condiciones mínimas que, integrando sistemáticamente todos los factores en juego, aporte métodos y saberes que eviten los conflictos entre la eficacia y la conveniencia estética de nuestra arquitectura, aquí y ahora, en todo lo que depende de su parte material.

El método para conseguirlo se basa en el estudio de los elementos constructivos (tomos II y III) y de los principios que han de orientar su concepción y realización (tomo I), prestando una atención muy especial a las relaciones por las que unos y otros se condicionan y potencian en el proceso de crear unos edificios que han de integrar eficacia y conveniencia estética.

### Los cinco principios del construir arquitectónico

La arquitectura sólo se justifica si facilita y potencia el uso y disfrute de los artefactos que produce gracias a:

- la adecuación de sus espacios a los usos previstos o previsibles,
- la adecuación a esos usos del ambiente conseguido en esos espacios,
- la conveniencia pública y privada de sus cualidades estéticas y comunicativas,
- la integridad a largo plazo de sí mismos y de sus ocupantes,
- la eficiencia directa y medioambiental de los procesos de su materialización.

Es razonable afirmar que son cinco objetivos imprescindibles para quien quiera construir bien, y los fundamentos axiológicos sobre los que se han de asentar sus criterios de valor. Lo cual permite poder considerarlos, en definitiva, como los cinco principios del construir arquitectónico, tal como se hace en este texto.

Una buena parte de los objetivos concretos que se deducen de esos principios son de obligado cumplimiento por las legislaciones de los diferentes países para asegurar la calidad cuantificable de las edificaciones con independencia de las leyes del mercado. Otra parte de los objetivos, como la conveniencia estética, obviamente, queda al margen de ello. En España esa calidad cuantificable se concreta con el denominado Código Técnico de la Edificación (en adelante CTE), en vigor desde 2006 y 2007.

El proceso global de construir una obra de arquitectura pasa, necesariamente, por una fase previa en la que alguien, el arquitecto o profesional equivalente (individual o colectivo), la debe imaginar, y posteriormente plasmar lo imaginado en documentos gráficos y escritos (el proyecto), para que después pueda ser materializada por un colectivo mucho más numeroso (la obra).

El éxito del construir arquitectónico depende del desarrollo correcto de las dos fases, la imaginativa y la productiva, es decir:

- que lo imaginado (proyectado) sea potencialmente útil gracias a su espacio y previsible ambiente, que potencialmente asegure la integridad del edificio y de sus ocupantes, que sea



estéticamente conveniente, además de susceptible de ser materializado económicamente con los procesos de producción al alcance, y,

- que el proceso de producción que hace real lo imaginado consiga las propiedades especificadas para los materiales y configure las formas dibujadas para los elementos y el conjunto del edificio, de manera que aquellas potencialidades se materialicen definitivamente.

Este texto busca de un modo especial proporcionar las claves que facilitan la tarea de imaginar y proyectar los edificios y sus entornos, por supuesto, teniendo en cuenta su proceso de producción.

Los tres tomos se centran en el estudio de la materia y sus elementos, las fachadas, las cubiertas, las instalaciones, etc., pero sin dejar de prestar atención, cuando sea necesario, al espacio que todos ellos configuran, con el fin de poner de manifiesto su indisoluble relación. Es un estudio sobre cómo la parte material de los edificios contribuye al cumplimiento de los objetivos de la arquitectura, que se ha de completar por el lector con el de la contribución del espacio y con valoraciones conjuntas de ambas partes que, sólo cuando se suman, dan lugar a la obra arquitectónica.

Al conjunto de conocimientos sobre esos elementos materiales, sus soluciones constructivas y las reglas que rigen su utilización y combinación con el fin de alcanzar los cinco objetivos expuestos se denomina aquí saber constructivo.

### Las dos partes de este texto

El método más eficaz para la exposición de este saber constructivo requiere distinguir los Elementos de los Principios, pero destacando al mismo tiempo las relaciones a múltiples bandas por las que unos y otros se potencian y condicionan.

La organización de partes, capítulos, temas y apartados tiene como objetivo hacer fácilmente aprehensible el mare magnum de nuevos conceptos en el que es preciso desglosar los problemas y sus soluciones.

En la primera parte (tomo I), conceptual y propedéutica, se estudian las leyes que regulan

las conexiones existentes entre los cinco objetivos o principios, y sus consecuencias concretas con tal de medir la eficacia de las múltiples soluciones constructivas posibles. Se incluyen los aspectos más generales del CTE, haciendo el recorrido desde principios a requisitos y exigencias.

La segunda parte (tomos II y III), descriptiva y taxonómica, se orienta a la aplicación de los principios a los sistemas constructivos de nuestro entorno más cercano y a comprobar cómo nuestra manera de construir cumple o no esos principios.

Se continúa con más aspectos generales del CTE y se indica cómo los elementos pueden aportar las prestaciones que aseguran el cumplimiento de sus exigencias.

La primera parte se organiza según los cinco principios indicados. La segunda lo hace según la descomposición del edificio en sus cinco componentes más significativos teniendo en cuenta los espacios que configuran, el exterior, el interior, la frontera entre ambos, las instalaciones y los elementos que aseguran la estabilidad de todo el conjunto.

Es un esquema fácilmente memorizable, pero que abarca todos los factores en juego (y sólo los más atractivos), que es coherente con la mentalidad de los que se dedican a la arquitectura y, a la vez, con su propia experiencia personal como usuarios de ella.

Sin necesidad de acudir al cálculo, este libro aporta la comprensión de la mayoría de las relaciones con los problemas físicos a partir de la experiencia cotidiana del lector novel, experiencia que se considera aquí como una fuente inagotable de conocimiento. Si se desea profundizar en los procedimientos de cuantificación se debe acudir a obras de especialidad, aunque se recomienda no hacerlo sin antes haber comprendido a fondo todo lo que se expone en estas páginas.

Después de este breve resumen de la Introducción a los tres tomos, vayamos al extracto de la Introducción a los tomos II y III.

<sup>1</sup> González Moreno-Navarro, José Luis, *El Legado oculto de Vitruvio*, Alianza Editorial, Madrid, 1993; Casals Balagué, Albert, *El arte, la vida y el oficio de arquitecto*, Alianza Editorial, Madrid, 2001.



## Introducción a los tomos II y III

En los tomos II y III se exponen dos grandes grupos de cuestiones:

1) Los diferentes modos mediante los cuales se concreta la cadena general de Principios, Requisitos, Exigencias en cada uno de los subsistemas y elementos en los que se puede descomponer el edificio, y

2) Las diferentes maneras según las cuales las soluciones (de elementos y subsistemas) aportadas por nuestra tecnología edificatoria actual, concretan la cadena inversa, es decir, Producción, Características de los materiales, Características de las formas, hasta llegar a las Prestaciones de elementos y subsistemas que han de dar satisfacción a las Exigencias anteriores.

El objetivo concreto es ayudar al lector ocupado en un proceso de proyecto de un edificio, y para ello se exponen los criterios que le permiten:

- adaptar a su caso concreto la cadena que, a partir de los Principios, acaba definiendo las exigencias de elementos y subsistemas, que constituyen los problemas a resolver, y

- evaluar las prestaciones de las soluciones genéricas de los diferentes elementos y subsistemas constructivos para que pueda escoger y adaptar la más adecuada a su caso concreto.

Es preciso destacar que, como no hay dos edificios iguales, las soluciones son genéricas y es necesario saber adaptarlas a cada edificio; pero sólo se alcanza el éxito final si además de adaptarlas con acierto en la fase de proyecto, luego en la fase de la obra se materializan correctamente. Es conveniente recordar lo dicho en la Introducción a los tres tomos bajo el título "Las dos fases del construir arquitectónico" y, en general, todo el tema 12 del volumen I.

### Los cinco capítulos básicos

Para alcanzar los objetivos propuestos es necesario descomponer la unidad del edificio genérico en secciones de estudio dentro de las cuales se pueda hacer con facilidad la comparación entre exigencias y prestaciones. La primera descomposición se concreta en las cinco partes clave: exterior, estructura, compartimentación, instalaciones y envolvente, que dan lugar a los cinco grandes capítulos en que se dividen los tomos II y III.

La extensión de cada uno de ellos es equivalente, salvo los de la compartimentación (en el tomo II) y la envolvente (en el III) que reciben una atención especial.

La razón de esa mayor atención reside en que ambos pertenecen a un campo del conocimiento en el que no se dan especialistas como, por el contrario, sí se dan en las instalaciones o estructuras. En estos dos campos se encuentran ingenieros o arquitectos especializados en un amplio dominio global sobre problemas y soluciones. Sin embargo, tanto la envolvente como la compartimentación, cuya complejidad con el desarrollo de la tecnología edificatoria es notablemente creciente, son campos en los que los especialistas lo son de una solución concreta y dependientes comercialmente de la empresa que produce la solución. Son campos en los que no existen profesionales cuya experiencia domine de manera amplia e independiente tanto problemas como soluciones.

Algunas de las causas de esta situación en relación con estas dos partes decisivas del edificio se encuentran en que los contenidos de las habituales enseñanzas desarrolladas en las escuelas de arquitectura, españolas o europeas,



únicos centros donde se imparten, son escasos y fragmentados según sean las diferentes secciones o departamentos universitarios que las detentan, sin que sean nunca objeto de una visión global y sintética.

Se puede decir que son, a pesar de su trascendente importancia, las partes de la edificación menos conocidas en su conjunto por parte de todos los que intervienen en la edificación. Todo ello justifica que en este libro se dé mayor extensión a estos dos capítulos, intentando además enfatizar el estudio simultáneo y sintético tanto de los problemas y sus exigencias como de las prestaciones de las soluciones.

### Organización de los cinco capítulos en unidades temáticas

Hecha esta aclaración, recordamos que los cinco capítulos se organizan en distintos temas teniendo en cuenta que la posición, vertical u horizontal, de los elementos es, tal como se expone en I-1, un criterio de clasificación muy eficaz.

Los 20 temas (10 en cada tomo) en que se dividen los cinco capítulos se descomponen, a su vez, en subtemas y algunos en nuevos subtemas. Las unidades dentro de las cuales se hace la comparación entre exigencias y prestaciones las denominaremos unidades temáticas (que pueden ser temas o subtemas o “subsubtemas”) y hay en total 44: 24 en el tomo II (5 en el espacio exterior, 11 en la estructura, 8 en la compartimentación) y 20 en el tomo III (13 en las instalaciones y 7 en la envolvente).

Esta organización de unidades temáticas es consecuencia de la manera en que nuestra tecnología edificatoria actual organiza la configuración constructiva de los edificios y sus elementos. En las introducciones a los cinco capítulos de los dos tomos se añaden más explicaciones sobre todo ello.

La estructura expositiva de cada una de estas 44 unidades temáticas es conceptualmente la misma. Todas ellas responden a un mismo esquema, aunque, según sea el elemento descrito, cada unidad temática adopta variantes que facilitan su estudio. El esquema más general es el siguiente:

- 1) el elemento y sus partes
- 2) combinatoria tipológica
- 3) descripción de tipos y variantes posibles
- 4) análisis de prestaciones

En el apartado 1) se describe el elemento constructivo genérico y se da cuenta de sus partes. Por ejemplo, de una cubierta inclinada (III-9.1) se da una relación de 8 partes, y de un cerramiento ciego de fachada, 6 (III-7.2). Es importante definir claramente esas partes porque son la base sobre la que se desarrolla la tipología (entendida como el estudio de tipos). La explicación de cómo se consigue esta tipología no es tan sencilla.

### De la tipología a la combinatoria tipológica

Cuando en las unidades temáticas se aborda el estudio de cada uno de los elementos constructivos, por ejemplo, la cubierta plana (III-9.2) o el forjado (II-5.2), lo primero que se advierte es que no existe para ellos una única solución genérica, sino una gran cantidad de ellas. Su elevado número surge de una extensa combinatoria entre las posibles variantes que se dan o bien en las partes constituyentes del elemento o bien en algún otro aspecto o variable, como con cámara/sin cámara, pesado/ligero, o si se utilizan amorfos, pequeños elementos, semiproducidos, componentes, etc. Es fácil comprobar que el número de soluciones posibles para cada elemento es una cantidad difícilmente abordable en un solo texto y, a medida que se desarrolla la tecnología de la edificación, todavía más. Su estudio no se puede basar en la imposible exposición de todas ellas; el camino debe ser otro.

Como una primera simplificación, adoptada desde siempre por los textos de construcción, las soluciones se pueden agrupar en los tipos reconocidos por todos los que participan en la edificación; por ejemplo, en las cubiertas planas, los tipos usuales son la cubierta a la catalana, la convencional, la invertida, etc., y en los forjados, el unidireccional, el reticular, etc.

Pero es un estudio insuficiente ya que estos tipos, a su vez, pueden subdividirse en nuevos subtipos, como, en el caso de las cubiertas planas, transitables o no transitables,



para cargas pesadas o ligeras, sobre estructuras pesadas o ligeras, con capas impermeables in situ o prefabricadas, y éstas su vez, bituminosas, poliméricas... La combinatoria de todas estas posibilidades nos da al final el extenso y, como ya se ha dicho, inabordable conjunto de soluciones. El método debe situarse en un punto intermedio entre los tipos básicos y la totalidad de las soluciones.

El método adoptado finalmente en los dos tomos, dedicados a los elementos, que busca reunir profundidad y extensión, es el estudio de la lógica que rige la existencia en nuestro contexto arquitectónico de tipos y soluciones, y se basa en el análisis de la combinatoria que los genera, análisis que se realiza bajo la denominación de "combinatoria tipológica", que incluye el estudio de:

- las variables que dan lugar a posibles variantes combinables, por ejemplo, las diferentes partes del elemento, si es pesado o ligero, con cámara o sin cámara, etc.
- las combinaciones concretas establecidas por nuestras costumbres constructivas, que dan lugar a los tipos genéricos existentes,
- las posibles variantes que dentro de cada tipo dan lugar a las soluciones concretas.

No se presentan en todos los casos con el mismo grado de definición; por ejemplo, en las cubiertas planas los tipos y sus variantes son muy claros, pero en las carpinterías de las ventanas (III-7.1.1) la combinatoria sólo se puede concretar en cada edificio en particular.

Definida la combinatoria tipológica y sus resultados, pasamos a describir con cierto detalle los tipos y las soluciones, hasta donde se puede en cada caso; hecho lo cual, se está en condiciones de proceder a su evaluación mediante la comparación de sus prestaciones con las exigencias que habitualmente deben satisfacer.

## Exigencias y prestaciones, elección y diseño

El esquema de la valoración de cada una de las posibles soluciones según la relación exigencias-prestaciones, obviamente, sigue lo establecido en el tomo I mediante los cinco principios, que podemos recordar una vez más:

- la adecuación del **espacio**, que se basa en las dimensiones correctas, las relaciones por vistas, los desplazamientos, etc.,
- la adecuación del **ambiente** propio y la no agresión al medio ambiente global,
- la **integridad** a corto y largo plazo de los usuarios y de todo lo construido,
- la **conveniencia estética**, pública y privada, del edificio y de cada una de sus partes, y
- la **producción eficiente** y medioambiental de todo ello.

El análisis no se hace tipo a tipo, o solución a solución, lo cual requeriría una extensión también excesiva, sino sobre el conjunto de todos los tipos, destacando cómo sus prestaciones son consecuencia de cada una de las variables en juego (pesado/ligero, etc.) que establecen similitudes entre todas las soluciones que pertenecen al tipo, lo cual permite, además de conocer la respuesta de cada tipo, compararlos entre sí.

El objetivo final de todo el estudio no es otro que dar al lector criterios de elección y adaptación, entre las soluciones existentes, de la más conveniente a su problema. En ciertos casos, esos criterios se complementan con unos principios básicos de diseño. Es decir, son criterios que, en todos los casos, orientan en la fase de proyecto para elegir correctamente la solución y, en algunos, además, para adaptar la solución genérica al caso concreto.

Todo ello es consecuencia de que el objetivo de este libro (de sus tres tomos), en realidad, no es tanto dar soluciones sino proporcionar criterios que en la fase de proyecto de un edificio permitirán al lector:

- como condición imprescindible para encontrar las soluciones, saber plantear correctamente los problemas (esto es, en cada caso particular, definir y cuantificar todas las exigencias derivadas de los cinco principios), y
- en relación con las soluciones genéricas existentes (definidas por sus formas, materiales y prestaciones genéricas), en primer lugar, saber evaluarlas, después, escoger la más adecuada, y finalmente, adaptarla a cada caso concreto.

Para ello es necesario un repaso sistemático de si las soluciones cumplen o no los diferentes requisitos y exigencias derivados de los cinco principios.



En función de la extensión disponible y de la finalidad del libro, las prestaciones que mayor atención reciben son las relacionadas con el ambiente, la integridad y la configuración del espacio. La eficiencia de producción queda sólo apuntada aunque, tal como se ha indicado, tiene gran influencia en la combinatoria tipológica. Para la conveniencia estética, en aplicación de lo explicado en el tomo I, sólo se hace referencia a las variables, por ejemplo, la forma general, el color, etc., que tienen incidencia en ella, con un ejemplo que lo concreta. El objetivo básico de estas cortas referencias es recordar al lector que, tal como se justifica en la introducción al capítulo V del citado tomo, las razones de la producción y las razones prácticas son totalmente insuficientes para decidir sobre un elemento constructivo cuando participa en la imagen del edificio, y que algunas de las variables deben estar sometidas a este principio.

Recuérdese también que el repertorio de soluciones permite resolver los problemas que se han planteado en el proceso de proyecto sólo de las partes materiales del edificio, cubiertas, fachadas, etc., y no de la organización del espacio. Sólo con lo expuesto en estas páginas no se puede proyectar un edificio. Pero sin ello, tampoco.

En general, se ha adoptado el criterio de que, por lo menos, quede planteado el máximo número de problemas que presentan, en general, los diferentes elementos constructivos. El estudio de las soluciones no puede ser exhaustivo y se da preferencia a las de la construcción más habitual. Pero las soluciones expuestas son intencionadamente genéricas y algo abstractas, ya que las muy concretas no son adaptables a todos los casos y, generalmente, provocan una postura acomodaticia que lleva a copiarlas sin razonar ni su elección ni su adaptación a su caso concreto.

Como base de referencia común para todo el país, en el análisis se utilizan los criterios expuestos en el CTE. Para algunas exigencias olvidadas por dicho Código, como la permeabilidad al agua de fachadas no de fábrica y de las ventanas, o la durabilidad de los pavimentos, es necesario recurrir a normas UNE que regulan la producción industrial y parte de la actividad de la construcción. En este texto no

se citan todas las que se han publicado, dado su gran número, aunque sí se hace referencia a las más interesantes.

El análisis se complementa, cuando se dispone de información adecuada, con estudios estadísticos sobre fallos, disfunciones o alteraciones que permiten valorar desde la experiencia real la validez de los criterios expuestos. Dado lo exiguo de este tipo de estudios en nuestro país, es preciso recurrir en algún momento a los realizados en un país de similar (aunque no igual) cultura constructiva, Francia, que, debido a su sistema de garantías en la edificación (adoptado recientemente también en España) posee una extensa base de datos sobre aspectos muy concretos.

Las estadísticas españolas no facilitan, de momento, más que una aproximación a la incidencia particular en cada una de las partes del edificio. A modo de valoración del peso relativo en este aspecto de las cinco partes de los tomos II y III, es interesante destacar que, siempre en cifras aproximadas, de la totalidad de los eventos patológicos estudiados por las empresas aseguradoras, los porcentajes que afectan a cada parte son:

- 36 % a la envolvente (25 % fachadas, 11 % cubiertas),
- 26 % a la estructura (15 % en las cimentaciones, 11 % a la parte aérea),
- 15 % a la compartimentación,
- 12 % a las instalaciones, y
- 12 % al conjunto del edificio, siendo mínimo el que corresponde al exterior.

Como se puede observar, la envolvente es la parte más expuesta a fallos justamente por ser la más compleja. Aunque también podría deberse, como ya se ha indicado, a ser un campo en el que no existen auténticos especialistas. Obviamente, es la parte a la que más exige el principio de conveniencia estética y que, por ello, requiere mayor dosis de creatividad al arquitecto que la proyecta.

No se debe olvidar que las causas de estos fallos pueden estar en que, en la fase de proyecto, la solución se escogió o se adaptó mal, o que durante la obra no se siguieron las indicaciones, supuestamente correctas, del proyecto. Este libro, como ya se ha indicado, se centra especialmente en la fase de proyecto.



## Recomposición para la síntesis

Con todo, no debe olvidarse que, en arquitectura, el objetivo final siempre acaba siendo la síntesis, imprescindible para concebir una unidad tan compleja como es un edificio. Un edificio bien resuelto es mucho más que una mera adición de partes, ya que las interrelaciones entre éstas son decisivas en el resultado global final. Las antes citadas estadísticas demuestran que la mayoría de las alteraciones de una parte se derivan de acciones que provienen de otra; así, una elevada proporción de las alteraciones de las fachadas son consecuencia o de fallos en la estructura o de fallos en las cubiertas; las de la compartimentación se derivan de fallos en la estructura o en las instalaciones, etc.

Es necesario destacar, pues, además de la complejidad de cada parte, la complejidad de todo el conjunto. A lo largo del texto y en unos cuantos temas concretos aparecen distintas consideraciones sobre cómo conseguir que el edificio, en todo lo que depende de las relaciones entre sus partes, no sólo no tenga fallos, sino que funcione lo mejor posible. La unidad temática III-8 "fachada" reúne los cerramientos de las aberturas con sus partes ciegas. La III-10 destaca las relaciones existentes entre todas las partes de la envolvente y con parte de las instalaciones. La II-9.1 unifica el análisis de los revestimientos interiores. Las II-6.1 y II-6.2 lo hacen con los elementos estructurales, y la III-5 relaciona las instalaciones con todo el edificio. Por último, al final del tomo III, la Conclusión tiene como objetivo la consideración del edificio como reunión de todas sus partes.

• • •

El lector habrá podido advertir que no se encuentra ante un libro de recetas. El desarrollo actual y el futuro previsible de la tecnología edificatoria dejan inservible ese modelo que pudo ser válido, como mucho, hasta hace cincuenta años. El incremento de las exigencias tradicionales y el desarrollo de otras nuevas, junto con la explosión, complejización e internacionalización de la oferta de soluciones cada vez más parciales y especializadas, requieren métodos que doten al experto de algo más que simples

recetas: proporcionarle formación para poder manejar críticamente la cada vez más extensa, compleja, cambiante, y muchas veces sesgada información, y, por encima de todo, sin pérdida de la visión de la globalidad.

Cada vez es más necesario que, cualquiera que sea el procedimiento, curso o asignatura, libro o CD-Rom, las actividades educativas se orienten a dar pautas para ordenar la información y especialmente pautas de razonamiento para poder utilizar y rentabilizar críticamente esa información. Lo cual, en definitiva, es lo mismo que dotar al alumno de capacidad para continuar por sí mismo el aprendizaje, y más adelante su puesta a punto o reciclaje, capacidad que cada vez es más necesaria en la cultura contemporánea, esencialmente cambiante.

Según eso, la lectura de este libro será más provechosa cuanto más interés ponga el lector en captar lo esencial de lo que se expone y no se deje llevar por lo contingente. No es exagerado decir que deberá tener una actitud contraria a la que, habitualmente, adoptan muchos lectores de arquitectura, es decir, dar mucha más importancia a las imágenes que al texto. A pesar de la apariencia, en estos descriptivos tomos II y III las ideas también se depositan más en el texto que en las figuras.

El valor de las imágenes descriptivas siempre es muy limitado y efímero en el tiempo y el espacio, no sólo en este libro sino en cualquiera. Obviamente, su presencia es fundamental, ya que sin ellas es imposible la comprensión de las ideas. Pero no están para suplantarlas. Suplantar una idea con una imagen ocurre cuando, en la toma de decisiones, en un proyecto o en una obra, se copia una solución o un detalle sin un proceso de elaboración conceptual propio. En estas páginas, esas imágenes no están para ser copiadas sin reflexión.

Por supuesto, es preciso renovarlas o mejorarlas, y, para lograrlo, el mejor método no es otro que observar atentamente, pero con actitud crítica, los edificios y las obras que se estén construyendo en nuestro entorno; esa experiencia directa de la construcción en tres dimensiones y en movimiento, si está guiada por lo aprendido con la lectura del texto, siempre será más provechosa que cualquier fotografía o dibujo de este o de cualquier otro libro.



En definitiva, lo importante, lo que queda, son los conceptos y los criterios con los que se aplican a cada caso, tanto a la observación como a la acción.

Convencidos los autores de todo ello, las ideas expuestas han sido las que han guiado la larga y compleja tarea de escribir estos tomos II y III, una de cuyas mayores dificultades ha consistido en sistematizar y explicitar un sinnúmero de criterios o hechos que generalmente quedan implícitos por parecer obvios entre los profesionales y, por tanto, son susceptibles de ser malinterpretados o no comprendidos por los que pretenden llegar a serlo, a quienes, en definitiva, va dirigido el libro.

Ya para finalizar, es útil recordar lo dicho en el tomo I, al final de la Introducción a los tres tomos:

“El lector, una vez asimilados los contenidos del libro, dispondrá de un saber constructivo básico compuesto de:

- una herramienta de análisis que le permitirá comprender y valorar, en una primera aproximación suficiente en muchos casos, el qué, el cómo y el porqué de las formas y los materiales de los edificios habituales de nuestro país,
- un repertorio de elementos constructivos y de criterios sobre su utilización que le permitirán iniciar los ejercicios de imaginar edificios con suficiente garantía de su potencial adecuación en todo lo que depende de la materia,
- una estructura conceptual básica que le permitirá ordenar sistemáticamente los nuevos conocimientos que, si desea progresar en este campo, deberá buscar en otras obras más especializadas.

Si es así, se habrán cumplido los objetivos fundamentales de este texto”.



## TOMO II. Elementos del exterior, la estructura y la compartimentación

El cómo se expresa en el terreno la estructura y la compartimentación del espacio exterior.

\* la situación en el espacio exterior del edificio, y  
\* la situación en el espacio interior que el propio edificio define.

\* la frontera entre ambos espacios, que define los elementos de transición.

Este primer capítulo estudia las obras realizadas en la primera parte, es decir, en el espacio exterior, que producen dos tipos de transformaciones:

- \* las que convierten al terreno natural en suelo urbanizado en el que poder edificar, y
- \* las que adaptan el espacio exterior contenido a los edificios a la función de estos.

Si bien el ámbito de esta obra es el de la obra del segundo tipo, se hacen referencias a los primeros cuando la ocasión se presta, ya que la diferencia entre ellos sólo es de escala. Por lo mismo, se dedican en esta introducción unas cuantas líneas a exponer los conceptos básicos del proceso de urbanización.

Los criterios de planificación, zonificación y el diseño general que rigen las transformaciones del terreno natural en suelo urbanizado quedan establecidos en la Ley del Suelo y son desarrollados por la disciplina denominada urbanismo. Los documentos que dirigen esas transformaciones, elaborados por los urbanistas, se denominan Planes Urbanísticos, y pueden ser de diferentes rangos:

- \* Planes Generales, que ordenan áreas del territorio que pueden abarcar municipios, conjuntos de ellos, comarcas o regiones,
- \* Planes Parciales, cuyo ámbito es un sector del suelo urbanizable así delimitado por un Plan

de ordenación, o por el hecho de ser un sector del suelo urbano o urbanizable e incluso pueden referirse a conjuntos de municipios, como por ejemplo planes especiales de protección de edificios o de determinadas especies vegetales.

Una vez elaborado, un plan concreto ha de recoger a través de un trámite administrativo complejo de aprobación y otros organismos públicos de mayor rango hasta llegar a ser aprobado, después de lo cual pasan a ser las disposiciones legales que rigen las transformaciones mencionadas.

Lo que define un Plan General es la parte de terreno natural que se convierte en "suelo urbanizable" y los usos que en él se permiten. Según sean los objetivos del plan, en ese suelo se puede producir un nuevo barrio residencial, un polígono industrial o una zona de equipamientos. En todos los casos se ha de prever el Sistema de Equilibrio Límite, formado por las vías y zonas no edificadas, dicho sistema estructura el territorio y conecta entre sí los suelos edificables, públicos y privados, en los cuales se sitúan los edificios en las zonas reservadas para ellos, que legalmente se denominan parcelas.

El Sistema de Equilibrio Límite también incluye los elementos de urbanización siguientes:

- \* calles, o espacios para la circulación de personas o vehículos que requieren un trazado y unas pendientes determinadas,
- \* explanadas, o extensiones de superficie plana de pendientes sensiblemente horizontales de medidas diversas según su tipo: plazas públicas, áreas de aparcamiento para vehículos, áreas de juegos, etc.,
- \* espacios verdes, o zonas del terreno,





## CAPÍTULO I. La formación del espacio exterior

### 1. Elementos horizontales

- 1.1 El terreno natural
- 1.2 Pavimentos exteriores

### 2. Elementos verticales

- 2.1 Elementos de contención de tierras
- 2.2 Cercas, vallados y pantallas
- 2.3 Arbolado

Tal como se expone en el tomo I, definimos las tres partes básicas del edificio según su situación en el espacio:

- la situada en el espacio exterior al edificio,
- la situada en el espacio interior que el propio edificio define,
- la frontera entre ambos espacios, que denominamos envolvente.

Este primer capítulo estudia las obras realizadas en la primera parte, es decir, en el espacio exterior, que producen dos tipos de transformaciones:

- las que convierten el terreno natural en suelo urbanizado en el que poder edificar, y
- las que adaptan el espacio exterior contiguo a los edificios a la función de éstos.

Si bien el ámbito de este libro es el de las obras del segundo tipo, se hacen referencias a las primeras cuando la ocasión se presta, ya que la diferencia entre ellas sólo es de escala. Por lo mismo, se dedican en esta Introducción unas cuantas líneas a exponer los conceptos básicos del proceso de urbanización.

Los criterios de planificación, zonificación y de diseño general que rigen las transformaciones del terreno natural en suelo urbanizado quedan establecidos en la Ley del Suelo y son desarrollados por la disciplina denominada Urbanismo. Los documentos que dirigen esas transformaciones, elaborados por los urbanistas, se denominan Planes Urbanísticos, y pueden ser de diferentes rangos:

- Planes Generales, que ordenan áreas del territorio que pueden abarcar municipios, conjuntos de ellos, comarcas o regiones,
- Planes Parciales, cuyo ámbito es un sector del suelo urbanizable así delimitado por un Plan General Municipal,

• Planes Especiales, que regulan con detalle aspectos concretos de zonas reducidas del suelo urbano o urbanizable e incluso pueden referirse a conjuntos de elementos, como, por ejemplo, planes especiales de protección de edificios o de determinadas especies vegetales.

Una vez elaborado, un plan concreto ha de recorrer un trámite administrativo complejo en ayuntamientos y otros organismos públicos de mayor rango hasta llegar a ser aprobados, después de lo cual, pasan a ser los instrumentos legales que rigen las transformaciones mencionadas.

Lo que define un Plan General es la parte de terreno natural que se convierte en "suelo urbanizable" y los usos que en él se prevén. Según sean los objetivos del plan, en ese suelo se puede proyectar un nuevo barrio residencial, un polígono industrial o una zona de equipamientos. En todos los casos se ha de prever el Sistema de Espacios Libres, formado por los viales y zonas no edificadas; dicho sistema estructura el territorio y conecta entre sí los suelos edificables, públicos y privados, en los cuales se situarán los edificios en las zonas reservadas para ellos, que legalmente se denominan parcelas.

El Sistema de Espacios Libres requiere los elementos de urbanización siguientes:

- viales, o espacios para la circulación de personas o vehículos que requieren un trazado y unas pendientes determinadas,
- explanadas, o extensiones de superficie plana de pendiente sensiblemente horizontal, de medidas diversas según su uso: plazas públicas, áreas de aparcamiento para vehículos, áreas de juegos, etc.,
- espacios verdes, o zonas del terreno, natural o transformado, en las que predominan



la preservación y el acondicionamiento de las áreas vegetales existentes, o las de nueva plantación.

Según el caso, la superficie ocupada por los edificios es más o menos grande. Si es un sector urbano muy denso podemos encontrar únicamente calles y parcelas ocupadas totalmente por los edificios. Si es una urbanización poco densa, además de calles y edificios hay espacios públicos o privados no edificadas que son zonas verdes, en los que dominan los elementos vegetales.

Sólo podremos iniciar la construcción de un edificio cuando su parcela adquiera la condición legal de solar, lo cual ocurre cuando todas las obras de urbanización están acabadas, es decir, las calles pavimentadas y las parcelas dotadas de todos los servicios de suministro de agua, electricidad, evacuación, saneamiento, etc.

Ahora bien, todas estas transformaciones no sólo tienen consecuencias económico-legales sino que originan un nuevo paisaje que también ha de ser objeto de un cuidadoso análisis como tal. El estudio del paisaje, de sus potentes implicaciones ecológicas y sociales y de sus cualidades visuales susceptibles de estar sometidas al principio de conveniencia estética, da lugar a una rama nueva del Urbanismo denominada Paisajismo. El Urbanismo, junto con el Paisajismo, debe regular, pues, la formación del espacio exterior.

Todas estas transformaciones, sean las de escala urbanística como las que en menor escala afectan al espacio libre inmediato a los edificios, se realizan mediante la adición o combinación de las siguientes obras o elementos constructivos:

- **obras de acondicionamiento** a la nueva función del terreno natural mediante movimientos de tierras a fin de variar su forma o de operaciones de saneamiento que buscan la mejora de sus condiciones materiales,
- **elementos de contención** a los que se recurre en el caso en que la forma final del terreno no resulte estable por sí misma,
- **pavimentos exteriores**, que revisten el terreno definitivo,
- **la vegetación**, que configura las zonas verdes,

• **cercados y vallas**, que subdividen el espacio en zonas diferentes por su uso o tipo de propiedad (parcelas privadas, zonas públicas, etc.) o que protegen de algún agente agresivo como el ruido o un posible intruso,

• **redes de servicios**, que suministran fluidos, agua, electricidad, gas, etc.

Este capítulo I se dedica a esos elementos y, siguiendo los criterios generales del libro expuestos en la Introducción, se divide en dos temas. El tema 1 aborda los **Elementos horizontales** que organizan la base del espacio exterior, es decir, el terreno natural, e incluye su acondicionamiento y los pavimentos con los que se reviste. El tema 2 trata de los **Elementos verticales** que subdividen el espacio e incluye los elementos de contención del terreno, los cercados y vallas y el arbolado. Entre todos configuran el **espacio exterior** y modifican en lo posible el **ambiente exterior** adecuándolo al uso previsto. La **conveniencia estética**, la **integridad global** y la **eficiencia de la producción**, que debe abarcar los factores ecológicos y medioambientales, acaban de establecer el marco exigencial de las soluciones de cada caso. Las **redes de servicio** quedan expuestas simplíficamente en el capítulo I del tomo III.



## TEMA 1. Elementos horizontales

### 1.1 El terreno natural

### 1.2 Pavimentos exteriores

Se definen como **elementos horizontales exteriores** los que configuran la base del espacio exterior de una nueva urbanización o del espacio inmediato que rodea a un edificio y son: el propio terreno natural, más o menos transformado, y la pavimentación que sobre él se coloca.

El terreno está constituido por el conjunto de masas de tierras y rocas que quedan afectadas con mayor o menor intensidad y profundidad por las obras de urbanización y edificación. Según sea la situación del terreno con relación a un edificio, se puede clasificar según sea terreno exterior a él o terreno de cimentación sobre el que se construye y apoya dicho edificio. Aquí se estudia el terreno exterior y en el tema 3.1 el de cimentación.

El presente tema se centra en las operaciones que tratan de dotar al terreno contiguo al edificio de nuevas formas y superficies, así como de mejoras del material del terreno, que pueden incluir la aportación de nuevas tierras de cualidades específicas que configuren la base del espacio exterior. Son operaciones de la misma naturaleza que las obras de urbanización del territorio y no difieren de ellas más que en su tamaño o extensión, es decir, en su escala.

Con todo, son transformaciones que requieren el concurso de nuevos elementos de obra o vegetales (tema 2) que acaben de definir el espacio exterior y le doten de cualidades que permitan su adaptación definitiva a las exigencias prácticas y estéticas del futuro edificio.

Tanto este tema 1 como el 3.1 tratan del único elemento o subsistema del edificio, el terreno, que no es necesario manufacturar o adquirir en un almacén de materiales. Lo tenemos ya antes de construir, pero, dada su decisiva incidencia en el comportamiento del edificio acabado, deberemos tener un amplio

conocimiento sobre él, como si lo hubiéramos hecho nosotros, tanto sobre su forma como sobre sus características materiales.

Sobre los métodos para conocer sus características materiales véase el tema 3.1. Sobre los procedimientos para conocer su forma, baste recordar que para ello es imprescindible un levantamiento topográfico que deberá darnos datos de la planta de la parcela en la que hay que actuar y, especialmente, de su relieve en vertical, mediante las curvas de nivel y las secciones o perfiles que se pueden deducir de ellas.

En el tema 1.1, dentro de las obras denominadas de acondicionamiento, se incluyen las que varían la forma del terreno, denominadas desmontes y terraplenes, y las de mejora de sus cualidades materiales, como pueden ser las compactaciones o las obras de estabilización o las que controlan la presencia del agua, denominadas drenajes y avenamientos.

Dentro de los desmontes cabe situar las demoliciones de edificios que eventualmente puedan estar en nuestra parcela. Es una actividad que no se considera en este libro; el lector interesado puede consultar obras especializadas. También son desmontes las excavaciones de zanjas y pozos necesarias para la realización de las cimentaciones, de las que se dan indicaciones en 3.2.

Dentro de los elementos verticales, en 2.1 se estudian los elementos de contención que permiten conseguir formas y perfiles que el terreno natural no puede adoptar por sí mismo, al menos de manera estable y duradera.

En 1.2 se estudian los revestimientos horizontales del terreno imprescindibles para poder circular por la nueva superficie y evitar su degradación, al mismo tiempo que conseguir un nuevo ambiente.



## 1.1 El terreno natural

### TIPOS DE TERRENOS

Según la forma

Según el material

### TIPOS DE OBRAS DE ACONDICIONAMIENTO. PRINCIPIOS BÁSICOS

Cambios de la forma. Estabilidad inicial

Cambios en el material. Compactación de las tierras de aportación

Integridad a largo plazo

*Estabilización de las tierras naturales*

*Drenajes y avenamientos*

*Evacuación del agua superficial*

### TIPOS DE TERRENOS

Las características de las operaciones de acondicionamiento dependen totalmente de las características del terreno, como por ejemplo su consistencia, que puede ser dura, semidura, blanda, etc. Por lo tanto, es necesario definir los tipos habituales de terrenos y en función de ellos determinar los métodos concretos para transformarlos. También en este caso es aplicable el criterio general del libro y analizaremos los distintos tipos a partir de la forma y el material.

#### Según la forma

De una manera genérica, se pueden clasificar los terrenos naturales en:

- sensiblemente a nivel,
- homogéneamente inclinados o
- accidentados, irregulares, etc.

Obviamente, es posible hacer clasificaciones más precisas, pero la anterior es suficiente para definir los tipos de transformaciones posibles del terreno. Su intensidad dependerá del grado de coincidencia entre la forma inicial y la prevista en el plan urbanístico o proyecto arquitectónico.

En general, en aplicación del principio de eficiencia de producción, conviene que el grado de coincidencia sea el mayor posible, de manera que las modificaciones sean mínimas. En la mayoría de las ocasiones esto se consigue asignando un uso al terreno congruente con su forma original; por ejemplo, no es conveniente

proyectar un campo de fútbol sobre un terreno accidentado o en pendiente; y sobre el mismo terreno será oportuno escalonar los edificios que en él se vayan a construir.

Pero en infinidad de ocasiones no tendremos otra opción que modificar intensamente la forma natural original. La forma final más usual que se persigue es la superficie plana que quedará ocupada por un vial o una explanada. Si es así las dos modificaciones básicas posibles son de los siguientes tipos:

- supresión de terreno, por excavación,
- aportación de terreno, por terraplenado.

#### Según el material

En general, las clasificaciones según el material vienen dadas por el tipo de respuesta que se espera del terreno.

Si se espera de él que soporte las cargas de un edificio, interesa su clasificación según sus resistencias a compresión o corte, tal como se expone en II-3.1.

Si el terreno es objeto de las modificaciones citadas, explanaciones y vaciados, especialmente si se ha de excavar, interesa una clasificación que nos permita determinar el grado de dificultad y consecuente coste económico de su transformación. Según su excavabilidad los terrenos pueden ser:

- rocas, excavables sólo con explosivos,
- duros, excavables sólo con máquinas; es el caso de las rocas descompuestas o terrenos muy compactos,



- medios, excavables con pico pero no con pala, como arcillas semicompactas,
- blandos, excavables con pala, como tierra vegetal o arenas.

Si de lo que se trata es de la estabilidad de los taludes naturales o la compacidad de las tierras de los terraplenes, la clasificación oportuna es la que toma como base la granulometría, añadiendo parámetros que definen su comportamiento desde esos puntos de vista.

Pero, por otra parte, no olvidemos que el terreno, como elemento exterior, está claramente afectado por todo lo relacionado con el agua. Así, según **su contenido en agua**, se pueden clasificar en secos, húmedos y pantanosos.

Un terreno permeable generalmente contiene aguas subterráneas procedentes de la de lluvia. A una cierta profundidad, casi siempre se encuentra una capa de terreno impermeable que detiene el descenso por gravedad de esas aguas; su nivel superior es variable, dependiendo de la tensión superficial que facilita su ascensión capilar, pero, sobre todo, del caudal, que oscila con las variaciones climáticas, de manera que puede alcanzar la superficie del terreno en época de lluvias o casi desaparecer en verano. Este conjunto de aguas subterráneas se denomina acuífero o agua freática, y su nivel superior variable, nivel freático.

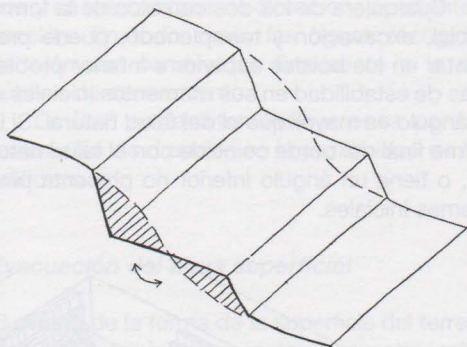
El CTE-SE-C, dedicado a las cimentaciones, determina que el estudio geotécnico (ver II-3.1) debe aportar la calificación del terreno, los datos necesarios sobre los procedimientos de excavación y terraplenado más adecuados, así como lo referente a la capa freática.

## TIPOS DE OBRAS DE ACONDICIONAMIENTO. PRINCIPIOS BÁSICOS

### Cambios en la forma. Estabilidad inicial

La excavación y el terraplenado se presentan combinados en las explanaciones, es decir, cuando la nueva rasante del terreno exige excavar en una zona, a lo que se denomina desmonte o excavación, y aportar tierras en otra, que es lo que se llama terraplenado.

La economía de la operación exige proyectar las nuevas rasantes para que el volumen de tierras extraídas sea igual al de tierras aporta-



En este caso se ha procedido a dos desmontes escalonados ya que la rasante del terreno natural estaba más alta que la de la calle.

das. Si no es así, se llaman tierras de préstamo las que se requieren o tierras sobrantes las que no tienen su destino final en la misma obra. En ambos casos se requiere un transporte desde o hacia puntos más o menos alejados.

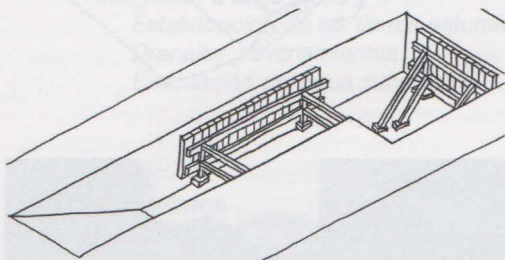
La primera operación también se presenta en los vaciados. Se tiene un vaciado cuando la excavación deja el nivel definitivo del terreno por debajo del existente en todo su perímetro. Es el caso de la excavación necesaria para construir un aparcamiento subterráneo.

Los bordes de los vaciados, desmontes y terraplenes que se producen espontáneamente al dejar libre las tierras tienen un perfil denominado talud natural, determinado por el ángulo que forman las tierras con la horizontal.

Cada terreno tiene su talud natural, y en textos más especializados se pueden encontrar las variables de las que depende.



Cualquiera de los dos cambios de la forma inicial, excavación y terraplenado, puede presentar en los bordes superior e inferior problemas de estabilidad en sus momentos iniciales si el ángulo es mayor que el del talud natural. Si la forma final del borde coincide con el talud natural, o tiene un ángulo inferior no presenta problemas iniciales.



Si el borde presenta un ángulo superior se necesita una obra de contención como un muro o un revestimiento resistente (II-2.1) o bien un muro pantalla (II-3.4).

Hasta obtener la forma definitiva habrá que recurrir, en muchos casos, a obras auxiliares de seguridad, como, por ejemplo, realizar los cortes dejando las tierras con un ángulo igual o inferior al de su talud natural. En caso contrario, serán precisos apuntalamientos, entibamientos o acodalamientos, etc.

### **Cambios en el material. Compactación de las tierras de aportación**

Las tierras añadidas al terreno natural se extienden sobre él y se compactan mediante un proceso consistente en extender capas de poco espesor y apisonarlas por medios manuales (la rana o pisón a motor de gasolina) o mecánicos (el rodillo de pata de cabra para terrenos arcillosos y el neumático para terrenos arenosos), hasta que alcancen la densidad prevista, que se mide sobre probetas extraídas in situ y sometidas al ensayo de densidad denominado Proctor, que la mide en % del valor máximo obtenido en el laboratorio en ensayos estandarizados de compactación y penetración. Para densidades superiores, hay que referirse al ensayo Proctor Modificado (PM). Una buena com-

pactación para un terreno situado en la subbase de un firme de carretera es del 95 % PM.

El CTE-SE-C, capítulo 7, Acondicionamiento del terreno, es la normativa que rige todas estas operaciones.

### **Integridad a largo plazo**

Existen dos causas básicas que pueden variar las características de las tierras preparadas por los procedimientos anteriores:

- el agua de lluvia, por su acción directa o por sus corrientes subterráneas.
- las cargas gravitatorias producidas por el uso, tráfico de vehículos, etc.

El agua subterránea ha de conducirse fuera del terreno mediante los drenajes y avenamientos. El agua de escorrentía se ha de canalizar para que no produzca erosión con la ayuda de pavimentos, o revestimientos en las superficies ataluzadas, o de obras de canalización adecuadas.

Para conseguir la máxima indeformabilidad frente al tráfico de vehículos, etc., hay que proceder a la compactación de los terrenos aportados en los terraplenes según lo dicho anteriormente o, en su caso, a la estabilización del terreno natural.

No se deben confundir estos métodos con la consolidación. La consolidación es el incremento gradual de la densidad de un suelo por la acción de las fuerzas de gravedad, sea el peso propio del terreno o el de edificios erigidos sobre él. Obviamente, no es una técnica, sino un proceso a largo plazo. La compactación es el incremento artificial de la densidad de un suelo por medios mecánicos. Y la estabilización es la mejora de las propiedades de un suelo relativas a la resistencia al corte, mantenimiento de volumen y forma, mediante la modificación de su granulometría o agregándole productos especiales, generalmente químicos.

### **Estabilización de las tierras naturales**

Un paso más en la transformación del terreno inicial lo constituyen las obras de estabilización. Se entiende por **estabilización** todo método



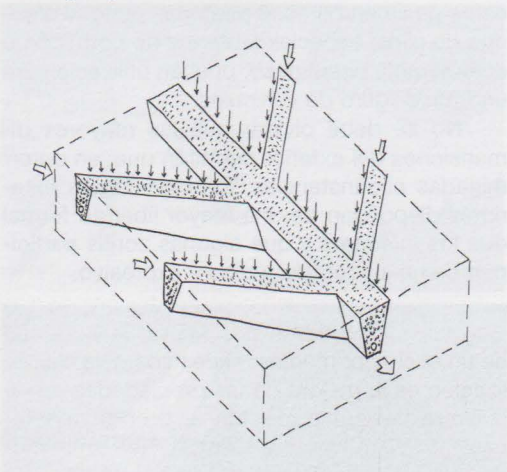
artificial empleado con el objeto de mejorar las propiedades iniciales de un suelo, relativas fundamentalmente a su resistencia al corte, mediante la modificación de su granulometría o la adición de productos especiales.

La granulometría inicial de un suelo puede mejorarse con la adición de otros suelos con un contenido suficiente de limo o arcilla, capaz de rellenar los huecos y ligar los elementos de grava y arena inicialmente sueltos. Con este método es posible incluso la construcción de muros de tierra apisonada.

Cuando este tratamiento no es suficiente, se puede añadir cemento, y se obtiene lo que se llama tierra-cemento; pero ciertos terrenos que contienen componentes agresivos para el cemento requieren la adición de betunes, resinas artificiales u otros productos químicos.

También es posible la estabilización de un suelo o su impermeabilización superficial mediante la inyección de cemento o productos químicos, como silicato sódico o cloruro cálcico, que forman un gel al reaccionar.

**Drenajes y avenamientos**



Son sistemas de captación y conducción de aguas del subsuelo para proteger de la humedad espacios libres, edificios, pavimentos y obras de contención de tierras. El sistema más utilizado es el de una masa de material granular filtrante. También puede usarse un conducto de tubos porosos envueltos en granulados, conectados mediante arquetas en los encuen-

tros y en los cambios de dirección, pendiente o sección. En todo caso, las aguas recogidas deberán ser conducidas finalmente a la red pública de saneamiento.

En III-6 se facilitan indicaciones para la realización de drenajes en la proximidad de los edificios.

**Evacuación del agua superficial**

El diseño de la forma de la superficie del terreno y de sus posibles pavimentos y revestimientos debe tener en cuenta la acción atmosférica, cuyos efectos producen la erosión por meteorización, así como la acción del agua pluvial, con la consiguiente erosión superficial, la formación de surcos y los desprendimientos de masas de tierra. También el agua que se filtra más profundamente afecta a la integridad de las obras de tierra; para ello deberán conocerse características tales como la permeabilidad, la heladicidad, la floculación y la expansividad, a fin de actuar de la manera más conveniente.

## 1.2 Pavimentos exteriores

### COMPOSICIÓN Y PARTES

#### COMBINATORIA TIPOLOGICA

Capas intermedias o capas de base

Capas de acabado, uso o rodadura

#### DESCRIPCIÓN DE TIPOS

Capas de base

*Suelo natural mejorado*

*Soleras*

Capas de uso

*Amorfos*

*Pequeños elementos*

*Componentes*

Elementos de borde

#### PRESTACIONES Y CRITERIOS BÁSICOS DE DISEÑO

Adecuación del espacio

Adecuación del ambiente

Integridad propia

*De las capas de base*

*De las capas de uso*

Espacio y conveniencia estética

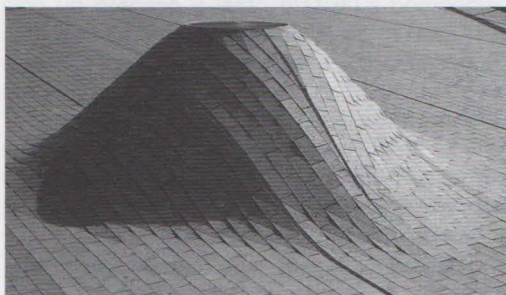
### COMPOSICIÓN Y PARTES

El pavimento es uno de los pocos elementos de los edificios que tanto puede ser exterior como interior, lo que no quiere decir que una misma solución sirva para los dos casos. La presencia del agua de lluvia añade nuevas exigencias a los pavimentos interiores (II-9.2), lo que lleva a que muy pocos de éstos puedan asomarse al exterior: el material, obviamente, ha de ser resistente al agua en sus dos estados básicos, líquido y sólido, la textura de la superficie no puede ser resbaladiza y la forma general ha de facilitar la escorrentía. Por muy obvias que parezcan, con relativa frecuencia se conoce algún caso en el que se han olvidado alguna de estas exigencias. El cumplimiento de la primera, que se consigue en general con una baja porosidad, inferior a un 5%, limita claramente los materiales utilizados. Algunos materiales, como la piedra natural, pueden situarse en las dos partes, aunque no todas las de interior pueden usarse en el exterior.

El tema incluye todos los pavimentos situados en el exterior del edificio, bien sobre el terreno natural que lo circunda o formando el acabado de una cubierta plana transitable (III-9.2).

Se ha considerado que el uso principal de estos pavimentos es el peatonal, aunque algunos de ellos, especialmente los de hormigón o aglomerante bituminoso, pueden utilizarse para un tráfico ligero de vehículos.

No se debe olvidar que las mayores dimensiones del exterior permiten que, en determinadas circunstancias, los pavimentos exteriores dispongan de una mayor libertad formal que los interiores y que algunas zonas participen de un juego más lúdico y expresivo.



Sus partes principales son la capa de base o las intermedias, la de acabado o de uso o de rodadura, y los bordes y complementos.



La capa de base debe transmitir al soporte inferior las cargas que pueden actuar sobre el pavimento sin deformarse, así como ofrecer una configuración geométrica aproximadamente igual a la que será la definitiva (superficie horizontal, inclinada o alabeada), pues la capa de acabado o de uso no es más que un revestimiento superficial de mayor o menor espesor.

Las capas intermedias pueden de ser de diferentes tipos según las necesidades de cada caso.

Casi siempre, son necesarios elementos de borde, tales como bordillos, peldaños, encintados. Son elementos específicos de los pavimentos exteriores que carecen, en general, del equivalente a las paredes o tabiques de los interiores que los confinan; los exteriores precisan de estos bordes para contenerse en sus límites.

De igual manera, son necesarios algunos complementos para el buen funcionamiento del conjunto, como son los interceptores de tierras y zanjas areneras, los alcorques de los árboles, los imbornales y las arquetas, y los pozos de registro de las galerías por las que discurren las diversas instalaciones urbanas subterráneas.



A la izquierda de los mojonos, el pavimento es una cubierta plana de un edificio semienterrado; a la derecha, un pavimento sobre terreno. Ver detalles en II-p. 33 y en III-p. 202.

## COMBINATORIA TIPOLÓGICA

Los tipos de pavimentos exteriores dependen básicamente de los materiales con los que se realizan las capas de acabado y uso. Las capas intermedias posibles no son tantas como las de los pavimentos interiores y dependen de si se asientan sobre el terreno natural, con las innumerables variantes que dependen de la naturaleza de dicho terreno, o sobre una cubierta plana.

## Capas intermedias o capas de base

Sobre el terreno natural las capas intermedias se denominan capas de base y sólo pueden ser:

- el propio terreno compactado,
- arena,
- zahorra, o mezcla de arena y grava,
- hormigón en masa con mayor o menor espesor.

En cualquiera de los casos, la capa de base debe estar convenientemente confinada o limitada por taludes suficientemente estables.

La situación sobre una cubierta plana exige que sobre el forjado de soporte se coloque el conjunto de capas de impermeabilización y aislamiento relacionadas en III-9.2, sobre las que se asienta el pavimento. Sólo en el caso del pavimento de superficie horizontal, sobrealzado con juntas abiertas, se requerirá un elemento intermedio que haga de soporte y de regulador geométrico del pavimento. Estos elementos intermedios se analizan en el tema citado.

## Capas de acabado, uso o rodadura

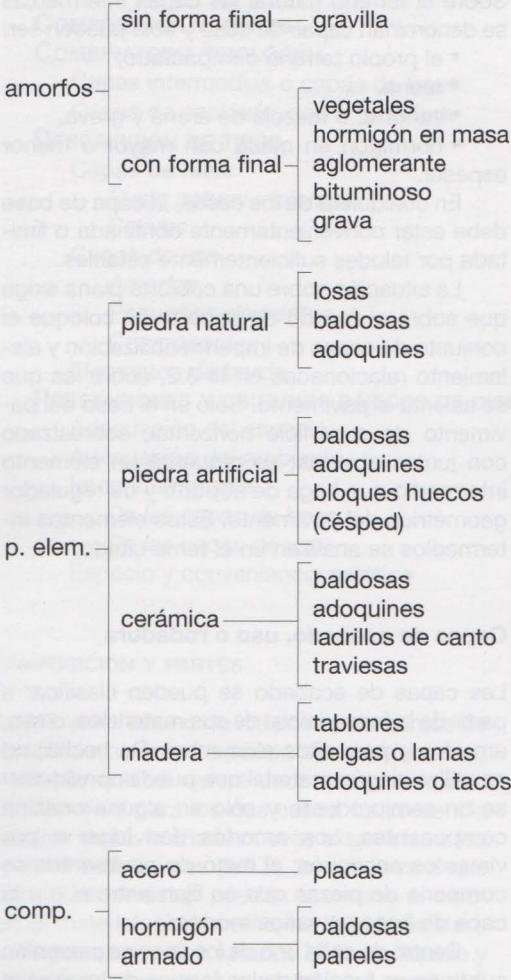
Las capas de acabado se pueden clasificar a partir de la forma inicial de sus materiales, o sea, amorfos y pequeños elementos. De hecho, no se utiliza ningún material que pueda considerarse un semiproducto y sólo en alguna ocasión componentes. Los amorfos dan lugar a pavimentos continuos; el resto de pavimentos se compone de piezas que se fijan entre sí o a la capa de base de varios modos.

Dentro de cada uno de los tipos se presentan subtipos en función de las formas de las piezas o de las formas definitivas de los amorfos, en los que cabe distinguir los que quedan sin forma, los granulares y los que sí la adoptan, como los hormigones. Las condiciones de mantenimiento de unos y otros son muy diferentes.

Los tipos adecuados para pavimentos de cubiertas planas son las losas y las baldosas de cualquiera de los materiales indicados, las delgas de madera y los componentes en forma de panel. Las baldosas se colocan adheridas a la capa intermedia de la cubierta y las losas, delgas o paneles se colocan con las juntas abiertas fijadas a un soporte sobrealzado que deja discurrir el agua hasta que alcanza la capa impermeable.



terreno natural



DESCRIPCIÓN DE TIPOS

Capas de base

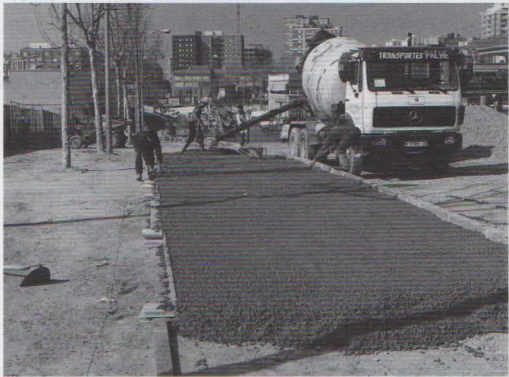
Suelo natural mejorado

Para aumentar su estabilidad o resistencia, el suelo natural puede mejorarse directamente, estabilizándolo mediante la modificación de su granulometría o agregándole compuestos especiales. También se puede mejorar sustituyendo su capa superficial por otra de aportación, de mejores cualidades. El efecto de esta mejora equivale al de una solera.

yendo su capa superficial por otra de aportación, de mejores cualidades. El efecto de esta mejora equivale al de una solera.

Soleras

Los suelos que por su naturaleza inestable deben ser necesariamente revestidos, como ciertos suelos arcillosos o los que se desea revestir para modificar su aspecto u otras propiedades, precisan, además, de una solera previa al pavimento definitivo.



Realización de una base de acera con hormigón.

Capas de uso

Amorfos

• Terreno natural, engravillados

Estas capas de acabado no deben confundirse con el terreno natural mejorado descrito anteriormente.

La tierra natural seleccionada o la grava se extiende sobre el soporte en capas de espesor variable según la utilización del pavimento (15-30 cm). Puede disponerse directamente sobre el terreno preparado como soporte o interponer uno de material granular de mayor diámetro que el del revestimiento, para facilitar el drenaje. La escasa estabilidad del revestimiento de tierra natural o granular al arrastre por parte del agua de lluvia y la necesidad de conducirla, obliga al pavimento a adoptar una pendiente nunca superior al 0,5 % o, si se supera ésta, dis-



poner traviesas a modo de peldaños, cuya contrahuella oscila entre 2 y 15 cm. Dichas traviesas pueden ser de madera, piedra, hormigón, etc.

Es un pavimento económico y apto para revestir grandes superficies continuas; exige un atento mantenimiento y obras de contención en su perímetro.

### • **Vegetales**

#### Pinaza o corteza de troncos

Revestimiento apto para senderos peatonales, dada su escasa resistencia, que, en contrapartida, proporciona una gran comodidad a la pisada. Su textura y color les confieren una gran calidez visual y táctil; su composición material los convierte en absorbentes acústicos y retenedores de humedad.

#### Césped

Precisa de un soporte drenante o con una geometría superficial apta para la conducción del agua y también bordillos perimetrales para confinarlo.

Una vez realizada la sustitución o corrección del subsuelo en una profundidad de 30 cm (aportando arcilla si es excesivamente arenoso) o el drenaje si fuera conveniente, se precisa extender una capa de unos 20 cm de espesor mínimo de tierra escogida compuesta de un 60 % de arena, un 10 % de cal, un 15 % de arcilla y un 15 % de humus. Antes de sembrar las semillas (3-5 kg/100 m<sup>2</sup>), cuya clase ha sido escogida según la zona climática, la exposición al sol, etc., es preciso remover y abonar la capa anteriormente preparada, dejándola reposar durante el tiempo conveniente según la estación del año. La siembra puede ser manual o mediante aspersión mecánica. Antes de la aparición de los primeros brotes es preciso un nuevo arado superficial y un aplanado, así como un regado constante.

También se puede plantar el césped en forma de losetas (*tepes*) procedente de vivero. En los terrenos con fuertes pendientes o en los taludes, la especie escogida deberá ser la idónea para conseguir la estabilización de las tierras.

Una solución que permite una presencia parcial de césped se consigue mediante la utili-



Adoquines de hormigón que incorporan separadores para dejar la junta abierta que permite la presencia vegetal.

zación de piezas de hormigón o cerámica con un diseño que deja espacios abiertos entre los que crece aquél.

### • **Hormigón en masa**

La técnica del hormigón, en general, permite la realización de capas o estratos de diferentes prestaciones, dotando a la más superficial de las características necesarias por su situación: resistencia a la abrasión y propiedades plásticas, color, textura y dibujo. El dibujo debe estar relacionado necesariamente con las líneas que definen las juntas superficiales de retracción y las de dilatación, si se requiriesen (ver foto final del tema). También es posible un tratamiento superficial antipolvo, que puede asimismo controlar el deslumbramiento por reflexión.

Puede someterse el hormigón a un coloreado superficial o en masa para obtener efectos cromáticos; así como aumentar la proximidad de las juntas indicadas, para obtener un despiece con la intención compositiva que se desee, en la que pueden integrarse las líneas de lima de las pendientes, para quitarles protagonismo. No es preciso someterlo a un diseño de superficies planas, puesto que su naturaleza de material amorfo hace posible la obtención de cualquier superficie reglada.

Desde hace pocos años existe un método de acabado superficial aplicable sobre el hormigón in situ: el estampado. El proceso se compone de una aplicación sobre el hormigón fresco de un endurecedor (colorante en su





En este caso el estampado imita un enlosado de piedra irregular.



El aglomerado asfáltico es la solución habitual para el tráfico rodado, aunque también puede serlo para el peatonal.

caso) y de un regulador del curado, a lo que sigue el estampado con molde y, una vez endurecido, la aplicación de una resina de acabado. Bien realizado, el proceso garantiza una buena resistencia a la abrasión. Las cualidades plásticas dependen del dibujo del molde, y es en este aspecto donde el procedimiento no ha superado la fase primitiva en que se utilizan iconos propios de otras técnicas como el adoquinado o el enlosado, lo cual puede ser muy interesante para construir parques temáticos.

En todos los casos, el tipo de hormigón, su dosificación, el cemento a emplear y la armadura en su caso, son parámetros que dependen de la durabilidad, la resistencia mecánica, a la abrasión, etc., que se quieran obtener y son aspectos que entran de lleno en las generalidades de la técnica del hormigón armado, sabiendo que dichas prestaciones tienen como denominador común la resistencia característica (valor dependiente de la fabricación del hormigón) y la compacidad (valor dependiente de la puesta en obra), puesto que cuanto mayores sean éstas, mayores serán todas las demás.

• **Aglomerados bituminosos**

En comparación con los de hormigón, ofrecen una mayor elasticidad y continuidad, con la consiguiente ausencia de juntas. Su peor enemigo es el agua, por lo que su diseño debe asegurar la estanquidad, sobre todo en las juntas con los elementos de borde, como las rigolas, siendo lo adecuado un solape del aglomerado sobre ellas. Pueden ser de cuatro tipos.

1) Riegos asfálticos superficiales.

Es un revestimiento apto para tráfico peatonal o rodado ligero, dada su baja capacidad resistente.

Sobre un terreno convenientemente preparado, se aplica un riego de ligante bituminoso (betún fluidificado o emulsiones asfálticas), sobre el cual se extiende y apisona una capa de árido de machaqueo, bien limpio. Puede ser simple o doble (monocapa o bicapa, respectivamente), según que la operación se efectúe en una o dos pasadas.

2) Tratamientos superficiales con lechadas asfálticas.

Se aplican sobre una solera de hormigón, para conferirle texturas y colores determinados, o para corregir un pavimento existente, con el mismo objetivo.

Se denominan *slurrys* y consisten en suspensiones en agua de un mortero bituminoso a base de áridos y emulsión asfáltica, con aditivos como caucho o componentes poliméricos.

3 y 4) Pavimentos aglomerados en frío y en caliente.

Son mezclas de áridos y una ligante bituminosa, con adiciones activadoras de caucho o polímeros, en su caso. La diferencia entre ambos tipos es la necesidad o no de calentar los áridos y el ligante previamente a su puesta en obra, así como el hecho de colocar los primeros a la temperatura ambiente y los segundos a una temperatura superior. El resultado es una mayor estabilidad y mejores prestaciones generales de los aglomerados en caliente.



Todos los pavimentos con aglomerante bituminoso se pueden aplicar manualmente en zonas de reducido tamaño, pero lo habitual es su fabricación en plantas especializadas y el transporte mediante camión a la máquina extendedora. La compactación se realiza con apisonadora de llanta metálica o de neumáticos, según el caso. Las condiciones de temperatura y humedad son definitivas en el proceso de puesta en obra.

Para determinar la dosificación se emplea el ensayo Marshall, que también sirve para controlar la compactación en la puesta en obra de aglomerados en caliente. El desgaste, tanto de la capa de rodadura como de las intermedias, se mide con el ensayo denominado Los Ángeles.

### Pequeños elementos

#### • Piedra natural

Cabe distinguir, según su formato y tamaño, los adoquines y las losas.

Para los adoquines suelen emplearse el basalto, el granito, la caliza y la arenisca, enumeradas en orden de mayor a menor en grado de prestaciones. De manera análoga, para las losas, las piedras más usuales son el granito, la caliza, la cuarcita, la pizarra y la arenisca.

La textura superficial puede ser desbastada, de corte de sierra, abujardada y flameada; este último tratamiento, a causa de las altas temperaturas a que se somete la superficie de la piedra, sólo lo admiten el granito y algunas calizas, mientras que no suele aplicarse al basalto.

Las propiedades más importantes exigibles a las piezas de piedra son las aparentes: regularidad dimensional, espesor mínimo, aspecto del acabado superficial o textura y color; y las siguientes características intrínsecas: la resistencia mecánica a compresión y flexión, resistencia a la abrasión o desgaste superficial, coeficiente de absorción de volumen de agua y resistencia al ciclo hielo-deshielo.

Los adoquines suelen colocarse sobre el terreno natural convenientemente compactado o mejorado, mediante un lecho de arena sobre el que se hincan con un vibrador o un pisón,

y son trabados finalmente con un sellado de arena vertida en las juntas: ésta es la colocación flexible. Exige una correcta ejecución de las obras de confinamiento, tales como bordillos, cunetas, zanjas areneras o de desagüe u otros pavimentos o las fachadas de los edificios. También es importante la selección de la granulometría de la arena, tanto la del lecho como la de sellado. En este caso, para que sea eficaz, los adoquines deben disponerse con una separación mínima, garantizada por el uso de espaciadores, generalmente de plástico. Si se usa mortero en el sellado de juntas, aquél debe ser muy pobre.



Adoquines de granito fijados con mortero.

Su colocación rígida sobre solera de hormigón sigue las mismas reglas que veremos para el resto de embaldosados, recomendándose un mortero mixto 1:1:6.

En cualquier caso, el pavimento de adoquines es más usado por su valor icónico que por sus prestaciones a largo plazo, ya que, pese a una esmerada ejecución, es imposible asegurar la inmovilidad de las piezas, lo que exige un mantenimiento casi constante.

Hay que señalar la existencia de adoquines de cerámica y de hormigón en masa, cuyas exigencias y puesta en obra son las mismas que las descritas para los adoquines de piedra.

Las losas se colocan sobre una solera previa como cualquiera de los embaldosados que se describen a continuación. Por tratarse de piedra natural, extraída de cantera, su formato puede ser cualquiera y su espesor estará en función de las cargas previstas y de su dimen-



sión mayor. Ahora bien, las caras horizontales deben ser paralelas al lecho de cantera; la cara inferior debe ser rugosa para asegurar una mejor adherencia con el mortero, que será mayor cuanto más porosa sea la piedra.

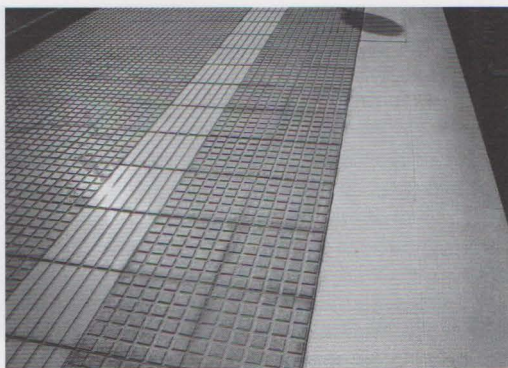
Con losas de piedra también se pueden realizar pavimentos sobrealzados sobre cubiertas planas (ver III-9.2).

### • *Piedra artificial o piezas de hormigón*

La técnica del hormigón en piezas manufacturadas, mediante la realización de capas o estratos de diferentes prestaciones, dota a la capa más superficial de las características que necesita: resistencia a la abrasión y sus propiedades plásticas, color, textura y dibujo.

El hormigón en piezas prefabricadas es el material con el que se puede hacer la mayor variedad de pavimentos exteriores, pues la técnica del moldeado permite una infinidad de formas, tamaños y superficies de contacto. Los controles exhaustivos de las dosificaciones y los procesos de vibrado, prensado y curado en taller dan piezas con una forma y un material con las máximas prestaciones frente a la intemperie. Las propuestas plásticas, especialmente texturas, dibujos y formas de las piezas, son innumerables.

Las piezas más usuales son las baldosas de panot, de terrazo impermeable y el adoquín. Otras responden a diseños particulares, como aquellas mencionadas en los revestimientos de



Baldosas de terrazo con dos tipos de relieve antideslizante.

taludes con césped, que ordenan y contienen los pavimentos vegetales.

La puesta en obra suele ser mediante morteros o, eventualmente, colas, que fijan las baldosas a la solera de hormigón, armado o no. El mortero, gracias al espesor que adquiere, es mucho más adecuado para el agarre de las losas o baldosas sobre el soporte, pues permite la fácil adaptación a los niveles proyectados y la formación de las pendientes previstas, mientras que las colas o cementos cola exigen una gran precisión dimensional en el soporte.

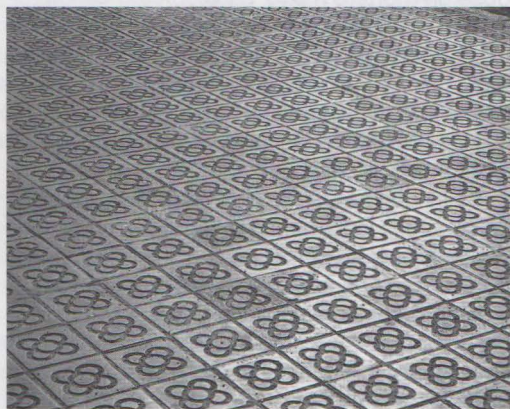
La puesta en obra precisa de un replanteo previo, que se hace mediante la confección de "maestras" con el propio mortero de agarre, con las cuales se define la geometría superficial y las juntas requeridas, coincidentes necesariamente con las de la subbase. Se extiende el mortero entre las maestras y se colocan las baldosas o losas, mojándolas en su reverso y golpeándolas para asegurar una óptima adherencia.

Se ha de decir que, tradicionalmente, el mortero se coloca extendiéndolo en seco y, antes de asentar las baldosas sobre él, se moja y se espolvorean unos puñados de cemento.

La colocación puede ser al "tendido", en el que se colocan de una vez todas las baldosas que puede abarcar la regla metálica o "a golpe de maceta", en el que éstas se colocan una a una, asentándolas a golpe de mango del martillo de albañil o maceta.

### • *Cerámica*

Al igual que con la piedra, la madera y el hormigón, con la cerámica se han desarrollado



Losetas de mortero, habitualmente denominadas panot, con el diseño típico de Barcelona.



productos específicos para pavimentos exteriores, que reúnen todas las conocidas ventajas del material, y entre ellos, el que tiene mayor aceptación como pavimento urbano es el adoquín cerámico. Su textura y color, junto con los variados dibujos de sus despieces, consiguen una plástica altamente durable que difícilmente puede aportar otro tipo de pieza. También permite juegos como los indicados en el inicio de este tema.



Las juntas y el color estructuran este pavimento de adoquines de cerámica.

Como todos los pavimentos exteriores, especialmente los de piezas, su comportamiento final es subsidiario de la buena realización de las capas o estratos previos de base. Ésta ha de incluir la preparación de la explanada, el extendido y compactación de la subbase y la base, a lo que han de seguir unos elementos fundamentales en los exteriores como son los bordes perimetrales, rigolas, bordillos, etc., que en el caso de los adoquines son además bordes de confinamiento. A continuación se extiende y nivela la arena, lo que permite colocar ya los adoquines que requieren un llenado de arena en sus juntas y un posterior vibrado con bandeja vibratoria. Como se ve, ésta difiere muy poco de la colocación descrita para los adoquines de piedra; como aquéllos, también éstos se pueden asentar a baño de mortero, con las ventajas e inconvenientes del caso.

Los ladrillos puestos de canto tienen prestaciones semejantes a las de los adoquines del mismo material, siempre que el ladrillo sea de la calidad requerida; su colocación es también análoga.



Colocación de baldosas cerámicas delgadas, denominadas rasillas, para un pavimento de azotea.

Las baldosas cerámicas se utilizan habitualmente para pavimentar las cubiertas planas transitables de edificios de vivienda. Su estudio se desarrolla en III-9.2.

#### • **Madera**

Debido a los nuevos tratamientos de protección podemos utilizar especies que hasta hace pocos años no podían quedar a la intemperie. Las maderas que generalmente se han utilizado en exteriores son las denominadas tropicales, entre las que se encuentran la teka de Birmania en primer lugar, sin duda la mejor madera existente (y también la más cara), la de bolondo, la de iroko, la de palohierro, etc., todas ellas con unos precios por m<sup>3</sup> de varios miles de euros. Si el presupuesto no alcanza (o si queremos proteger los bosques tropicales), la solución pasa por utilizar maderas más al alcance, como el pino (negral, oregón, etc.) abeto y otras, siempre que hayan sido tratadas para ser resistentes a la intemperie (y siempre que procedan de bosques de explotación controlada).

El método más aplicado en la actualidad es el tratamiento al autoclave, denominado también cuperizado, mediante el cual se extrae la savia y el aire de las cavidades de la madera y se rellena de líquido de impregnación, compuesto principalmente por sales de cobre. Hay que hacer notar que, pese a ser el tratamiento más eficaz para asegurar la durabilidad del material en un medio exterior, los movimientos naturales de la madera siguen su curso, con las consecuencias de fisuración, revirado, etc.,





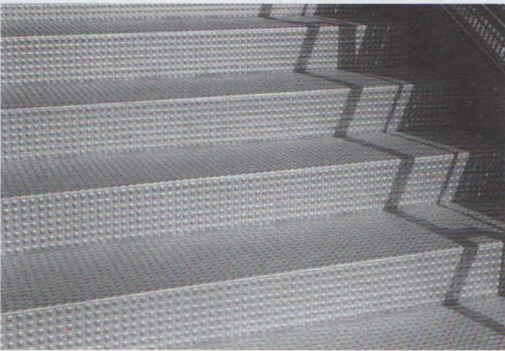
Lamas de madera.

aunque en mucha menor medida que en la madera sin tratar.

Las formas más habituales de las piezas son las tablas o tablones, que se clavan sobre rastreles fijados a la solera; las antiguas traviesas de las vías de ferrocarril, colocadas directamente sobre la tierra natural, afianzadas por medio de ganchos de acero galvanizado hincados en ella; y, finalmente, un pavimento de madera poco habitual, pero de ciertas prestaciones acústicas y de baja penetración térmica, es el de adoquines, cuya colocación es análoga a la de los adoquines de piedra o cerámica.

Componentes

• De acero



Peldaños de acceso a una pasarela metálica.

Si bien no es de un uso muy frecuente, también se ha de hacer referencia a las placas de acero que permiten hacer pavimentos ligeros,

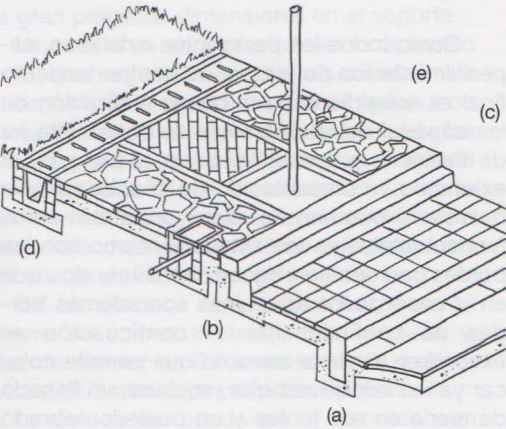
por ejemplo, para una pasarela. La lámina debe tener algún tipo de textura o relieve que impida el resbalamiento además de dotarla de rigidez.

• De hormigón armado

En el otro extremo, en relación con el tamaño y tipo de producción, podemos considerar las losas de hormigón armado realizadas con una textura de encofrado de madera u otro que, una vez colocadas sobre soportes, quedan flotantes y permiten el paso del agua sin perder la horizontalidad, con lo que constituyen un magnífico ejemplo de pavimento a la carta que es difícil conseguir fuera de la técnica del hormigón.

Elementos de borde

No se puede asegurar la duración en un razonable período de tiempo de ningún pavimento exterior si no se diseñan adecuadamente sus bordes o límites que, obviamente, pueden ser los mismos edificios. Los elementos de borde más habituales son:



- los bordillos (a), usualmente de piedra natural; aunque pueden ser también de hormigón en masa o de ladrillo a sardinel. Sirven para definir el desnivel entre la acera y la calzada.
- los peldaños (b), que son del mismo material que los bordillos y sirven, naturalmente, para producir las escaleras exteriores, asentadas siempre sobre una solera en rampa, de hormigón armado.



- los encintados (c), que están situados en el mismo plano que la calzada o el pavimento. Un caso particular son las rigolas, de losetas de hormigón o asfálticas, que se colocan adosadas paralelamente a los bordillos y tienen la función de permitir la rápida circulación del agua de lluvia, así como de separadores entre la apisonadora y el bordillo en el momento del asfaltado que, en su ausencia, quedaría mal compactado en dicho lugar y daría lugar a una junta por la que penetraría el agua, que arruinaría el pavimento.
- los interceptores de agua o de arena (d), que se colocan en lugares estratégicos de los pavimentos para asegurar su limpieza.
- los alcorques (e), que son los hoyos en los que se plantan los árboles para permitir su riego natural o artificial; sus formas son tan diversas como se puedan diseñar, y se pueden dejar abiertos o bien cubrirlos para facilitar la marcha del viandante con rejas de acero, fundición, adoquines, etc., asegurando su permeabilidad al agua de riego.



Detalle de los dos pavimentos de la foto II-p. 25. En primer término, adoquines de hormigón; en segundo, las losas de granito sobrealzadas (ver detalle en III-p. 202). La separación entre los dos tipos se destaca por el canal de recogida de aguas; los mojones impiden el posible tránsito pesado que no podrían resistir las losas.

En la superficie de los pavimentos aparecen siempre las tapas de los pozos de registro del alcantarillado o de las diversas instalaciones y servicios que discurren por el subsuelo; dichas tapas son, usualmente, de fundición o acero.

Otro tipo de elementos de borde usuales lo constituyen los discriminadores entre tráfico rodado y peatonal. Se hace referencia a ellos en II-2.2.

PRESTACIONES Y CRITERIOS BÁSICOS DE DISEÑO

Adecuación del espacio

De las variables consideradas desde el espacio (I-1), el cómodo desplazamiento de los usuarios es el factor que más incide en el diseño de los pavimentos, especialmente en sus aspectos formales generales. Pero, como obviamente, ese desplazamiento ha de ser seguro (I-9), las consideraciones sobre la integridad de las personas se suman a las de la simple comodidad. Todo ello depende de las siguientes variables:



Camino pavimentado con hormigón de textura lisa en la zona a nivel y rugosa en la pendiente.

- **pendiente del perfil del recorrido**, que, para poder ser practicable por personas discapacitadas, no ha de superar nunca el 8-10 %; una pendiente del 15-20 % resulta excesivamente fatigosa y requiere la introducción de escaleras con peldaños de huella más o menos ancha y contrahuella preferentemente inferior a los 15 cm.
  - **superficie de contacto**. Para facilitar la marcha sobre el pavimento, la superficie final deberá presentar una textura antideslizante, conseguida mediante el acabado rugoso o por medio de dibujos a base de hendiduras de profundidad y frecuencia suficientes.
- El CTE-SU establece el sistema de exigencias y prestaciones que regula la cuestión según una gradación de la capacidad de un pavimento de evitar el resbalamiento, cuantificada de 0 a 3. Uno calificado como 0 es muy resbaladizo, y otro con 3 no lo es incluso aunque



esté mojado (ver también II-9.2). Todos los pavimentos exteriores deben tener una prestación máxima de 3. La determinación de esa característica para un pavimento concreto se realiza siguiendo lo prescrito por la norma UNE-ENV 12633-2003.

La comodidad y seguridad de la marcha exige una correcta evacuación del agua superficial que impida a su vez la formación de hielo. Eso puede conseguirse por dos sistemas de naturaleza opuesta: a) la impermeabilidad del revestimiento superficial y una sección transversal cuya geometría aleje las aguas del centro de la calzada, por escorrentía; b) mediante el drenaje, lo cual exige un revestimiento poroso. También ha de poder retirarse la nieve con facilidad.

El diseño apropiado a la evacuación de las aguas también propiciará la facilidad de limpieza, manual o mecánica.

### Adecuación del ambiente

Algunos ejemplos darán idea de la importancia ambiental de los pavimentos exteriores:

El revestimiento vegetal a base de pinaza o corteza de troncos es muy apto para senderos peatonales, dada su escasa resistencia, lo que, en contrapartida, proporciona una gran comodidad a la pisada; la textura y el color de estos pavimentos les confieren una gran calidez visual y táctil; su composición material los convierte en eficaces absorbentes acústicos y retenedores de humedad. En contrapartida, exige un mantenimiento constante y no soporta una utilización intensiva.

Los pavimentos de tierras naturales presentan una gran comodidad a la marcha, si su compacidad superficial es la adecuada. La textura y el color naturales proporcionan una alta comodidad sensorial, y algunos tipos pueden actuar de absorbentes acústicos y regular la humedad ambiente. Las gravas y arenas de diámetro adecuado son drenantes, cómodas a la pisada y eficaces para amortiguar las caídas en áreas de juego.

### Integridad propia

#### De las capas de base

Las condiciones que debe cumplir un soporte de pavimento son la estabilidad y la resistencia. La primera depende del terreno sobre el que se asienta. La segunda depende de la propia cohesión interna, que se consigue, para un terreno natural o de aportación, mediante su compactación hasta obtener una densidad adecuada (entre el 85 y 95 % del ensayo Proctor Modificado). Para una solera sobrepuesta, la resistencia depende de su composición material: si es granular, debe compactarse como se ha dicho para el terreno natural, si es de un material amorfo aglomerado (por ejemplo, hormigón) debe compactarse hasta obtener la resistencia característica prevista en el proyecto (entre 175 y 250 kg/cm<sup>2</sup>) y comprobada en un plan de ensayos de rotura de probetas cilíndricas por compresión.

#### De las capas de uso

Presenta cuatro aspectos fundamentales:

1) Estabilidad del soporte y resistencia a cargas puntuales, estáticas y dinámicas, sobre todo de vehículos.

2) Resistencia a los agentes externos: abrasión superficial, acción del agua, nieve y hielo; resistencia a los productos de lavado y los procedentes de los vehículos, tales como aceites, carburantes, etc.; resistencia a los cambios higrotérmicos, como dilatación-contracción y adaptación a los efectos reológicos, para lo cual deberá diseñarse un entramado de juntas adecuado; baja heladicidad de los materiales y baja absorción que evite los efectos del entumecimiento; inalterabilidad del color y la textura.

3) La integridad está asegurada por un buen mantenimiento; así pues, el pavimento ha de presentar un diseño tal que facilite su reparabilidad.

4) Es indispensable un buen diseño y ejecución de los bordes, que deberán ser protegidos mediante los elementos secundarios: bordillos, peldaños, encintados, interceptores de tierras superficiales, etc.



He aquí algunos ejemplos:

El hormigón, en masa o armado, proporciona las cualidades mecánicas que se precisen para una amplia gama de prestaciones: resistencia a la rotura y resistencia a la abrasión o desgaste superficial, así como impermeabilidad y resistencia a las heladas. Su resistencia depende de la del material hormigón, que depende, a su vez, de la compactación obtenida en obra, junto con la cantidad y clase del cemento empleado. La resistencia mecánica del hormigón puede ser aumentada disponiendo una armadura convencional de barras o mallas de acero u otro material apto para ello, como limaduras de hierro, fibras naturales (de vidrio, de lana de roca) o de origen químico, como vinilo, nailon, etc.

La durabilidad de estos pavimentos depende directamente de su resistencia y compactación: precisan, excepto si se utilizan técnicas especiales, un riguroso despiece formado por una red de juntas de dilatación (cada 25-30 m. lineales) y de retracción (cada  $5 \times 5$  m aprox.). Cuando este tipo de material se utiliza como subbase, la exigencia del despiece indicado condiciona el del revestimiento que se le aplique. También es preciso diseñar una disposición geométrica superficial (basada en peraltes o en planos formando vertientes, con sus limas y limahoyas) apta para la evacuación y conducción de las aguas. La pendiente mínima ha de ser del 1 %.

El coste de mantenimiento de estos pavimentos es bajo y su construcción, económica, puesto que se trata de un material producido industrialmente en grandes cantidades y de fácil puesta en obra. Sin embargo, exige un riguroso control normalizado.

El pavimento asfáltico mejora, en ciertas situaciones, al hormigón en determinadas prestaciones, como la elasticidad superficial y la posibilidad de realizar grandes superficies sin juntas de dilatación ni de retracción, siendo las de obra inapreciables. Las resistencias a la abrasión o desgaste superficial también son muy altas; en cambio, son más vulnerables al efecto del agua y de las heladas.

La durabilidad de los pavimentos asfálticos depende directamente de su compactación y sellado superficial. También es preciso diseñar una disposición geométrica superficial (basada

en peraltes) apta para la evacuación y conducción de las aguas. La pendiente mínima ha de ser del 1 %.

Los pavimentos de piedras naturales o artificiales ofrecen características variables que dependen de las del material de la baldosa de base. La resistencia y estabilidad del conjunto dependerán de la naturaleza del soporte y de la ejecución. Lo mismo puede decirse de las laminas, baldosas o adoquines de madera o metal.

### Espacio y conveniencia estética

La expresión estética de un pavimento exterior depende, como la de uno interior, del color y textura del material constitutivo de su superficie o del resultante de la combinación de diversos materiales y formas de las piezas básicas.

Otro factor decisivo en el diseño es la presencia inevitable de juntas de dilatación y/o retracción, según el material de que se trate; en general, es imposible una superficie de pavimento exterior sin juntas, excepto el asfalto que, gracias a su elasticidad, no las precisa. Dichas juntas, convenientemente situadas pueden, no sólo no estorbar la apariencia estética de un pavimento, sino ser uno de los elementos compositivos de la forma del mismo. Pueden dejarse abiertas, sellarlas, materializarlas con encintados del mismo o distinto material, hacerlas coincidir con cambios de nivel, etc.





## TEMA 2. Elementos verticales

### 2.1 Elementos de contención de tierras

### 2.2 Cercas, vallados y pantallas

### 2.3 Arbolado

Se entiende por **elementos verticales exteriores** aquellos cuya función es la de delimitar y conformar físicamente el espacio exterior en su dimensión vertical y que asumen una importancia capital en su percepción.

Los **elementos de contención** de tierras son aquellos que se disponen en lugares en los que la forma final del terreno no resultaría estable por sí misma. Es evidente que los muros de sostenimiento no son pura y simplemente obras de contención, pues su presencia en el paisaje los convierte en elementos modificadores del mismo, para bien o para mal. En el proyecto de arquitectura, por poco accidentada que sea la topografía del terreno natural, su presencia resulta ineluctable, por lo que su diseño y ejecución han de trascender el papel mecánico inicial para asumir el de elementos de composición arquitectónica del paisaje.

Las **cercas, vallados y pantallas** son los elementos que subdividen verticalmente el espacio en zonas diferentes, según su uso o según el tipo de propiedad, en parcelas privadas, zonas públicas, etc. Más allá de su condición de cierre, constituyen elementos precisos en orden a la composición arquitectónica del espacio exterior, tanto en sus aspectos visuales como en la modificación del ambiente, adecuándolo al uso previsto.

En los pavimentos (II-1.2) se han estudiado los elementos de borde, como los *bordillos*, *encintados* y *peldaños* que también tienen un papel que puede ser interpretado como límite.

Además de la función de delimitación mencionada, también ejerce las funciones ambientales de barrera visual, barrera acústica o protección solar, hasta el punto de que pueden existir alguno de estos elementos en los que

cualquiera de ellas sea la función principal a la que las demás se subordinan.

Para el propósito de este libro, llamaremos **vegetación** al conjunto de especies vegetales que pueblan los espacios libres, sean los jardines privados, sea el arbolado de las calles y plazas, sean las denominadas zonas verdes, en las que la vegetación predomina, tanto si se halla en estado natural que se preserva e integra convenientemente, como si se trata de una vegetación implantada *ex novo*. En arquitectura resulta indispensable el estudio de la vegetación, tanto la de las zonas verdes como la del jardín privado o la de las calles o plazas urbanas; y su estudio abarca desde el arbolado al césped que sirve de pavimento o al diente de león que realiza las funciones de contención de tierras. En cualquier caso, la vegetación es un elemento más del proyecto arquitectónico y en los *proyectos de urbanización* de un sector constituye un capítulo del presupuesto de las obras.

La enorme extensión que requiere su estudio lleva a que en estas páginas se reduzca a los elementos de mayor porte y con mayor incidencia en las obras arquitectónicas, los árboles o **arbolado**.



## 2.1 Elementos de contención de tierras

### DESCRIPCIÓN

#### COMBINATORIA TIPOLÓGICA

Forma en planta

Sección vertical

#### PRESTACIONES Y CRITERIOS BÁSICOS DE ELECCIÓN Y DISEÑO

Estabilidad inicial

Integridad a largo plazo

Conveniencia estética

### DESCRIPCIÓN

Los muros o elementos de contención son elementos verticales que soportan el empuje de tierras para conseguir planos horizontales a distintos niveles en el terreno que no pueden obtenerse mediante la estabilidad de éste.

En II-1.1 hemos visto cómo se puede transformar el terreno natural para explanaciones destinadas a plazas públicas o aparcamientos, viales peatonales o rodados, plataformas para el asentamiento de edificios o volúmenes de tierra adoptando formas orográficas que remodelan el paisaje. Pocas veces es posible construirlos con las técnicas estrictas de movimiento de tierras basadas sólo en su estabilidad, sino que se precisan elementos de contención del terreno.

También se pueden construir muros para contener líquidos u otros materiales. La protección de los márgenes fluviales o de las costas se hace, además de con muros, mediante escolleras de grandes piedras o bloques de hormigón colocados sin amorterar. Si se requiere contener temporalmente aguas subálveas para poder cimentar en seco, los elementos de contención se denominan tablestacados o ataguías.

Por ser el más vinculado a las obras de arquitectura, nos referiremos, en adelante, al muro de contención. Se distingue entre los denominados muros de sótano que lo separan del terreno colindante (ver III-6) o los muros pantalla, que generalmente se utilizan bajo los edificios en situaciones urbanas cuando hay que hacer un vaciado muy profundo sin afectar lo más mínimo al terreno colindante, normalmente de otro propietario (ver II-3.4).

### COMBINATORIA TIPOLÓGICA

Las variables que permiten determinar los tipos básicos de muros de contención son dos:

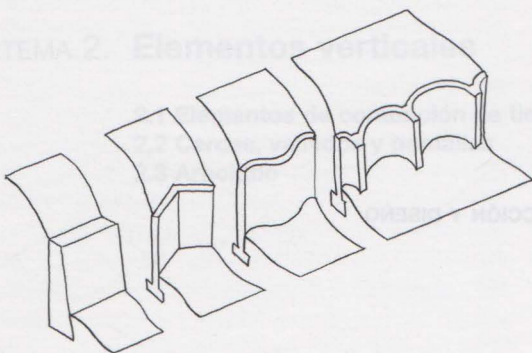
- su procedimiento de estabilidad,
- los materiales que intervienen.

Si la estabilidad requiere elementos que puedan resistir tracciones, necesariamente debe aparecer algún tipo de armado, principalmente combinado con hormigón. Si sólo se prevén compresiones, se pueden utilizar materiales más bien pesados. La estabilidad viene determinada principalmente por la sección vertical del muro y, en algunos casos, reforzada por la forma en planta.

#### Forma en planta

La manera más usual de diseñar un muro de contención consiste en dibujar la planta recta continua en que la estabilidad sólo depende del espesor y forma de su sección vertical. Lo cual no quiere decir que no puedan darse otras formas. La limitación del repertorio formal de los elementos de la arquitectura considerados erróneamente auxiliares es patente en el caso de los muros de contención. En general, los textos especializados proporcionan el diseño y dimensionamiento de su sección suponiendo siempre una planta recta. Sin embargo, la traza de la planta del muro es determinante para su expresión plástica y su inserción en el paisaje, pero también para su estabilidad general. Por ejemplo, una pantalla sinuosa es autoestable y





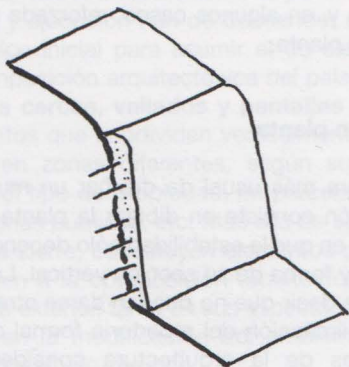
todavía lo es más un muro con planta en forma de bóveda.

También es posible suplantar el muro continuo y macizo por una subestructura de entramado bidireccional con una plementería más ligera, o bien disponer sólo montantes resistentes, entre los cuales se disponen pantallas planas o abovedadas.

### Sección vertical

Los diferentes tipos son los siguientes:

#### 1) muro de revestimiento

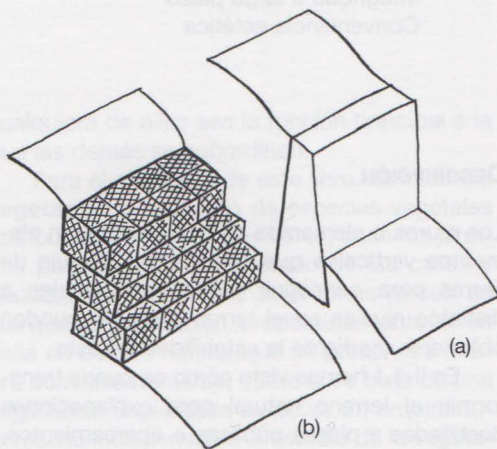


Se denomina así al muro que adopta la forma del talud natural, pues el terreno tiene una gran cohesión y sólo se precisa revestir su superficie para protegerla de la meteorización; se realiza con hormigón proyectado.

El hormigón proyectado es una técnica de puesta en obra del hormigón que se suele denominar con el neologismo anglosajón *gunitado* (li-

teralmente: disparado con pistola). El *gunitado* consiste en impulsar el hormigón mediante una bomba de aire comprimido a través de la manguera y proyectarlo directamente sobre el talud del terreno resultante del desmonte, disponiendo previamente una armadura sobre dicho talud.

#### 2) muro de gravedad

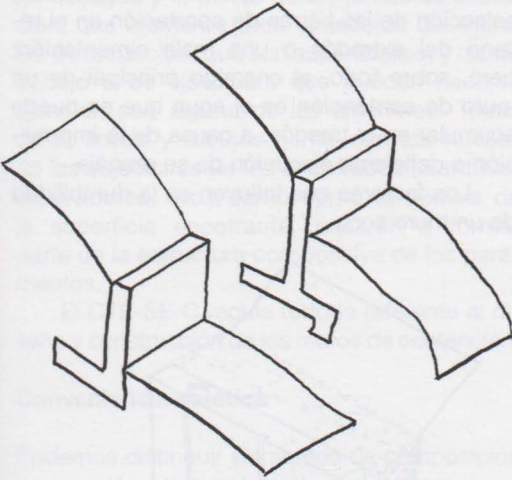


Se llama así a un muro de fábrica amortecida o en seco, generalmente sin armar, con cimentación diferenciada o contando simplemente el gran ensanchamiento de la base que resulta de su perfil trapezoidal (a). En efecto, la sección vertical presenta una forma trapezoidal con la mayor anchura en la base, por lo que la estabilidad al vuelco se basa en su gran espesor y su elevado peso, que contrarresta netamente el empuje de las tierras. Para que éstas colaboren en la componente vertical que estabiliza el vuelco, se suelen disponer retallos en el extradós sobre los que actúa el peso de la propia tierra, que se suma al del muro.

Si el muro consiste en unos paralelepípedos modulares de piedras de tamaño medio o grande envueltas en una tela metálica galvanizada que las mantiene solidarias, recibe el nombre de "muro de gaviones" (b). Dichos módulos suelen medir  $1 \times 1 \times 2$  m y se deben disponer apilados en seco sobre un macizo de cimentación o un lecho de grava compactado. El resultado es un muro de gravedad autodrenante que admite, además, pequeñas deformaciones sin que peligre su estabilidad.



3) muro en voladizo

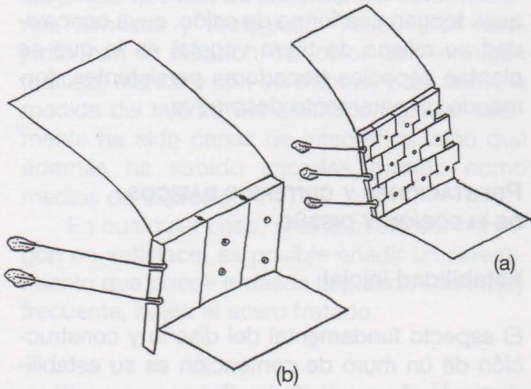


Se trata en general de un muro de poco espesor de hormigón armado empotrado en una cimentación, sin solución de continuidad material entre ambos, por lo que la forma total, derivada de la intersección del muro y el cimiento, determina su perfil en T o en L, siendo el brazo horizontal (con puntera y/o talón) el que se asienta en el terreno a modo de cimiento, sobre el que se eleva el brazo vertical o fuste que trabaja como ménsula a flexión empotrada en él. El vuelco está impedido por el efecto de empotramiento del cimiento en el terreno, ayudado por el peso de las tierras sobre el talón, que, para evitar el desplazamiento del muro hacia delante, debe ir provisto de zarpas.

Este tipo de muro se puede ejecutar, previa la construcción del cimiento, vertiendo hormigón en un molde o proyectándolo sobre un soporte rígido (por ejemplo, un tabicón) erigido previamente ante dicho talud. El resultado es siempre un elemento superficial, el fuste, de relativamente poco espesor que soporta el empuje de las tierras que presionan el trasdós.

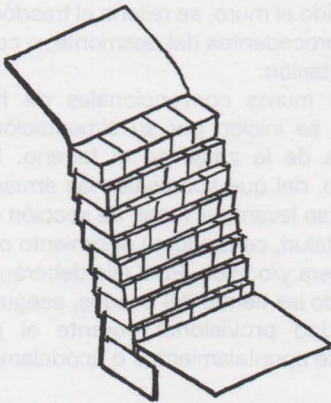
Si la longitud del muro es considerable, la estabilidad general puede asegurarse diseñando una forma sinuosa en planta o, si ello no es posible, introduciendo contrafuertes.

4) muro atirantado al terreno



Consiste en unas placas metálicas o de hormigón armado de dimensiones modulares, apiladas una sobre otra hasta alcanzar la altura del talud de las tierras a soportar (a). También es posible utilizar placas de anchura modular y cuya altura sea la del talud, hincadas en el terreno trabajando en voladizo en la parte emergente (b). En ambos casos, las placas deben ser atirantadas con cables anclados en el interior del terreno y fijadas a él por el rozamiento entre ambos.

5) por bloques prefabricados ensamblados



Consiste en la superposición, formando en conjunto un perfil ataluzado, de unos bloques de hormigón cuya sección presenta unos encajes que impiden el deslizamiento de uno sobre otro. Se disponen sobre un cimiento y precisan de un drenaje en su trasdós.



Una variante a la que se ha dado en llamar “muro vegetalizado” consiste en que los bloques tengan una forma de cajón, cuya concavidad se rellena de tierra vegetal en la que se plantan especies trepadoras persistentes, formando un paramento decorativo.

## PRESTACIONES Y CRITERIOS BÁSICOS DE ELECCIÓN Y DISEÑO

### Estabilidad inicial

El aspecto fundamental del diseño y construcción de un muro de contención es su estabilidad ante el empuje de las tierras que contiene, oponiéndose a la vez al vuelco y al desplazamiento que aquel empuje provoca, cuya magnitud es función de la naturaleza del terreno. Cada uno de los tipos antes descritos responde a tales solicitaciones de una forma particular explicada en cada caso: gravedad, empotramiento en el terreno, contrafuertes, planta sinuosa, zarpas, etc.

Se pueden construir muros para contener las tierras realizando un vaciado estricto de éstas, siempre y cuando sean muy coherentes. Si el ángulo de rozamiento interno es muy grande (lo que implica poca cohesión y estabilidad), se realiza un vaciado de seguridad y, una vez construido el muro, se rellena el trasdós con las tierras procedentes del desmonte, o con tierras de aportación.

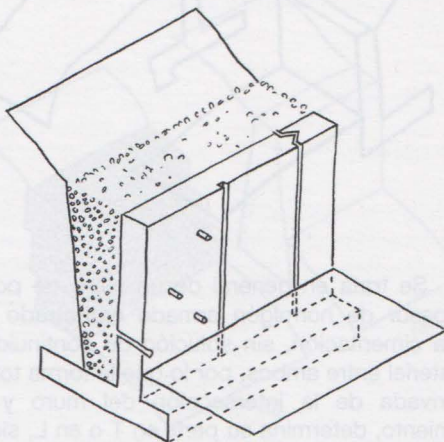
Los muros convencionales de hormigón armado se inician por su cimentación, previa apertura de la zanja en el terreno. Sobre el cimientto, del que sobresalen las armaduras de espera, se levanta el fuste, de sección constante o en talud, centrado en el cimientto o formando puntera y/o talón. Para ello deberán haberse excavado las tierras del trasdós, asegurando su estabilidad provisional durante el proceso, mediante apuntalamientos o acodalamientos.

### Integridad a largo plazo

Conseguida la estabilidad inicial a los empujes del terreno, seco o mojado, el muro inicia su vida útil y debe mantener su integridad ante las acciones exteriores que, son variables.

Los posibles fallos de una obra de contención suelen tener su origen en una incorrecta selección de las tierras de aportación en el relleno del extradós o una mala cimentación; pero, sobre todo, el enemigo principal de un muro de contención es el agua que se puede acumular en el trasdós, a causa de la imprevisión o deficiente ejecución de su drenaje.

Los factores que influyen en la durabilidad de un muro son:



- la correcta evacuación del agua del intradós, pues en el caso de no darles salida, se acumulan hasta producir empujes imprevistos. La salida de las aguas se asegura por medio de agujeros que atraviesan todo el grueso del muro; estos agujeros se llaman *mechinales* y es frecuente integrarlos a la composición expresiva del paramento; pueden sobresalir de dicho paramento y rematarse por medio de gárgolas.

- la resistencia superficial del paramento a las erosiones y agresiones a que pueda someterse. La durabilidad de las partes del muro más expuestas a la intemperie, los paramentos, depende de la del material de que estén realizados y de las protecciones de las partes salientes, sobre todo del coronamiento, si éste está expuesto a la acción del agua.

- los efectos reológicos sobre el material de la fábrica y los movimientos térmicos, lo que se traduce en juntas de retracción y dilatación, tanto en sentido longitudinal como transversal.

Todos estos factores deben ser tenidos en cuenta ya en la fase de diseño, en la que se determinará la posición y forma de los mechinales



de desagüe y el dibujo de las juntas de dilatación, que afectan a toda la sección del muro, las de retracción, que son superficiales, y las de trabajo o de ejecución, que pueden hacerse coincidir con alguna de las anteriores. Todas estas líneas y dibujos, junto con las huellas de las sujeciones de los encofrados (tirantillas, separadores, etc.), tanto como la textura de la superficie encofrante, pasarán a formar parte de la estructura compositiva de los paramentos.

El CTE-SE-C regula todo lo referente al diseño y construcción de los muros de contención.

### Conveniencia estética

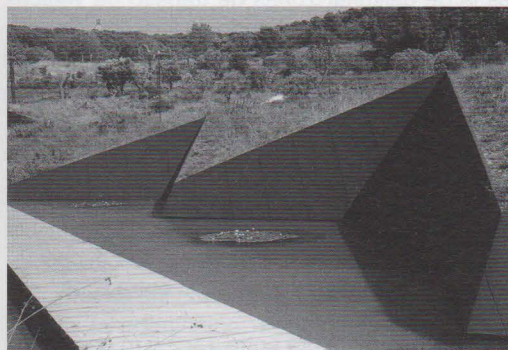
Podemos distinguir elementos de composición y expresión plástica basados en la forma y en el material.

En cuanto a la forma, se ha hablado de la traza en planta de los muros de contención como de un elemento de diseño que no solamente colabora a su estabilidad, sino que resulta determinante para su expresión plástica. También un correcto diseño en alzado, que atienda aspectos visuales como ataluzamientos, retallos u otros artificios que reduzcan visualmente la percepción de su altura, a veces excesiva, será de gran importancia para su correcta inserción en el paisaje.

Si el hormigón queda visto, cabe considerar los aspectos superficiales derivados de los episodios del proceso de ejecución (huellas del encofrado, latiguillos, juntas de trabajo, etc.) o, los que exige el desagüe del muro (mechinales) o el dibujo que proporciona la presencia de

las juntas que han de absorber las deformaciones térmicas y reológicas. Todos ellos dan, junto con la elección del color del hormigón (natural, blanco o con colorantes) y del árido, la medida del talento del diseñador que no solamente ha sido capaz de integrarlos, sino que además ha sabido sacarles partido como medios de expresión.

En cualquier caso, si el aspecto del hormigón no satisface, es posible añadir un revestimiento que puede ir desde la piedra, caso muy frecuente, hasta el acero tratado.



Muro de contención resuelto mediante gaviones anclados al terreno, ocultos por un revestimiento de acero.





## 2.2 Cercas, vallados y pantallas

### DESCRIPCIÓN

#### COMBINATORIA TIPOLÓGICA

#### PRESTACIONES Y CRITERIOS BÁSICOS DE DISEÑO

Estabilidad inicial  
Espacio y ambiente  
*Barreras acústicas*  
Integridad  
Conveniencia estética

### DESCRIPCIÓN

Tal como ya se ha indicado, un solar, edificado o no, debe cercarse por motivos de seguridad pública y así lo establecen las ordenanzas de la mayoría de municipios. También, en defensa de su derecho de propiedad ante la posible acción de intrusos, los dueños de los terrenos urbanos o suburbanos cercan sus fincas. Pero no sólo hay razones legales y de seguridad para hacerlo, sino que la arquitectura ha utilizado desde siempre estos elementos de cierre para conseguir el efecto de **delimitación**, con todas las implicaciones espaciales, expresivas y estéticas que comporta y, en particular, la finalidad funcional de separar áreas de diferente actividad sobre el terreno, y también como posibles barreras visuales, acústicas o protección solar.

### COMBINATORIA TIPOLÓGICA

Siguiendo el criterio general podemos establecer las dos variables habituales:

1) Su forma general, que incluye su planta y su alzado, y que será consecuencia directa de su función.

2) Su configuración material, que comporta su sistema de estabilidad y su transparencia a las vistas, consecuencia de la función y la forma.

Según la segunda variable pueden ser:

- ligeros, generalmente con una estructura de entramado sustentante y una plementería ligera,

- pesados, de obra de fábrica o prefabricados, que pueden ser autoestables o basados en el esquema de entramado y plementería.



Piezas prefabricadas de hormigón, empotradas en la base en el terreno, sobre acera de losas de piedra. A la derecha, bordillo, rigola y pavimento bituminoso.

Los tipos generales resultantes más comunes pueden ser:

**Segregadores de tráfico**, de una altura comprendida entre los 25 y 50 cm. Su función es la de delimitar zonas de tránsito de vehículos y peatones permitiendo el paso de éstos e impidiendo el de aquéllos. Pueden ser desde bordillos hasta mojones, pero es bien sabido que un simple bordillo no es suficiente para impedir el paso.

**Setos** o barreras vegetales de altura comprendida entre los 50 cm y 1 m. Delimitan la propiedad o el cambio de uso de dos espacios, sin impedir físicamente el paso entre ellos.

**Cercas** de altura entre 1 y 2,5 m con diversas funciones, especialmente delimitar la propiedad o el dominio, impidiendo el paso.



**Vallas** de altura entre 2,5 y 4 m, con muy diversas funciones posibles, como impedir la salida de un recinto al aire libre de objetos empleados en juegos o evitar la transmisión del ruido.



Cerca compuesta de estructura de hormigón armado empotrada en el terreno, con plementería de redondos de acero, diseñada para adaptarse con facilidad al desnivel.

**PRESTACIONES Y CRITERIOS BÁSICOS DE DISEÑO**

**Estabilidad inicial**

Suele tratarse de elementos verticales superficiales, es decir, pantallas de longitud indefinida y altura constante, pero de poco espesor. En este aspecto, su estabilidad debe asimilarse a la de un muro o cerramiento esbelto, laminar o con entramado diferenciado, sometido siempre a su propio peso, pero, sobre todo, al empuje del viento. Si es laminar, debe ser autoestable; si es de entramado, deberán dimensionarse los soportes y su distancia relativa. Como todo muro, sea del material que fuere, precisa de una cimentación que lo fije al terreno.

Una de las cuestiones que se han de resolver es la adaptación morfológica al perfil del terreno, que casi siempre presenta algún desnivel en el sentido lineal de la valla o cerca.

**Espacio y ambiente**

Según su orientación y posición relativa a los ámbitos que encierran, edificados o no, la función de protección solar puede ser primordial. Lo mismo cabe decir de la protección de vistas, que puede ser total o parcial, según los requerimientos del espacio cercado.

Frente a focos de ruido importante, por ejemplo, una autopista, las vallas pueden diseñarse para que reduzcan el impacto de dicho ruido.

**Barreras acústicas**

Los dispositivos reductores del ruido de tráfico, como también se denominan, son elementos generalmente planos, o de formas más complejas en ciertos casos, que se sitúan entre el tráfico y las fachadas afectadas.



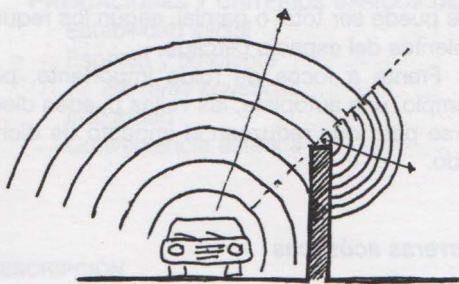
Barrera no absorbente formada por paneles prefabricados de hormigón, arriostrados por perfiles de acero ocultos detrás.

Su configuración constructiva puede ser muy variada, hormigón, paneles metálicos, paneles transparentes, etc., que en cualquier caso han de cumplir unas exigencias de las que la primera es su eficacia sonora, que depende de:

- primero, su continuidad sin interrupciones a lo largo del tramo molesto, ya que una abertura o un tramo sin barrera, en alzado o planta, es un paso libre para el ruido.
- segundo, su aislamiento al ruido aéreo (medido según la UNE-EN 1793-2) que debe ser del orden de los 20-30 dBA y no más.



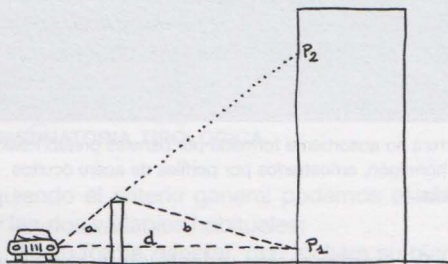
El ruido no se detiene por la valla más que parcialmente, pues el que incide en el borde superior o lateral de la pantalla se difracta y alcanza la fachada, eso sí, con menor intensidad.



La expresión empírica de esa reducción del nivel de intensidad para cálculos sencillos es:

$$D \text{ (reducción en dB)} = 10 \log N + 13$$

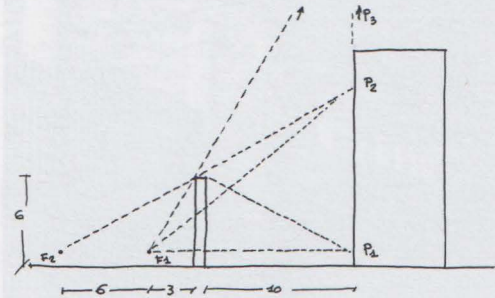
siendo  $N = 2(a + b - d) / \lambda$ , donde  $a + b - d$  es la diferencia del recorrido con o sin barrera (en metros) y  $\lambda$  es la longitud de onda del sonido considerado. En el caso representado en la figura, entre el punto P1 y el P2 la fachada está protegida cuanto más cerca está del P1, pero no lo está por encima del P2.



La expresión también nos indica que la reducción es mayor cuanto menor es la longitud de onda (I-7), es decir, se reducen más los ruidos de frecuencia alta que los graves.

En la segunda figura, la barrera es lo suficientemente alta para proteger a P2 si el vehículo está cerca de ella, en F1, pero no lo protege de los que circulan por el carril del sentido contrario, en F2. El posible punto más elevado P3 no queda nunca protegido.

Si aplicamos la anterior fórmula al caso de la segunda figura, tendremos, por ejemplo, que, para una frecuencia de 100 Hz las reducciones son 15 dB en el punto P1 y 8 dB en el P2; si la frecuencia es de 500 Hz, son 22 y 14, y si es de 4.000 Hz son 31 y 23. Lógicamente, el punto P1 es el más protegido, siempre que la barrera aisle por sí misma más de unos 20 dBA.



Si los valores para las diferentes frecuencias que inciden en la fachada están alrededor de 70 dB antes de protegerla (ver I-7), los valores de ruido percibido serán, en el punto P2 de 60 dB para las graves y de 47 dB para las agudas, aunque en cualquier caso una reducción global de 10 dBA no está mal, ya que reduce la sonoridad a la mitad. En todo caso, las frecuencias graves son las más abundantes en el tráfico, y el ruido seguirá siendo alto. Si el vehículo pasa por el carril contrario, en el punto P2 prácticamente no hay reducción. Por poco altos que sean los edificios, las barreras no resultan muy efectivas. En este caso, puede ser útil una forma en L invertida que, si se sitúa a cada lado, consigue un efecto que se acerca a un túnel.

Si se sitúan barreras a ambos lados de la autopista, para evitar el ruido reflejado, es preciso dotar a las superficies de las barreras de dispositivos absorbentes (medidos según la UNE-EN 1793-1), que no aumentarán por ello su capacidad de reducción o aislamiento, sino que evitarán que el ruido aumente por reverberación. La influencia de la vegetación o el arbolado, por otra parte mínima, se considera en II-2.3.

La toma de decisiones sobre la necesidad de barreras acústicas, según la Ley del Ruido de 2003 (ver I-7), corresponde al promotor en el



caso de vías de tráfico nuevas, y a la autoridad municipal si se trata de resolver problemas ya existentes.

## Integridad

La integridad del usuario depende, en el caso de los cierres de parcela, de su altura. Jurídicamente, la sola existencia del límite ya es suficiente para delimitar la propiedad, pero para evitar la intrusión efectiva es preciso que el cierre cuente con las características de inaccesibilidad y resistencia suficientes, así como de algún elemento disuasorio, como pinchos, puntas afiladas, etc.

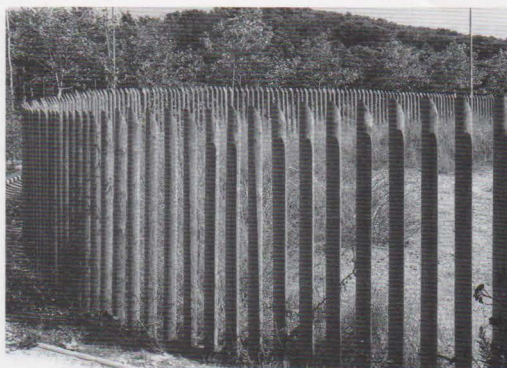
En caso de accidente, las barreras acústicas pueden ser negativas para los automovilistas pues pueden impedir la evacuación o la llegada de ayuda. Es necesario tener en cuenta todo lo prescrito por la UNE-NE 1794-2.

En cuanto a la integridad propia de estos elementos, es preciso considerar los agentes atmosféricos y las posibles acciones horizontales.

Su ubicación en el ambiente exterior los hace vulnerables sobre todo al agua de lluvia y a la del propio terreno. Debe presentar un diseño que anule la acción del agua, alejándola; además, el material constituyente ha de ser resistente a su efecto.

La acción horizontal más potente es el viento; el análisis de sus efectos requiere, por un lado, la determinación de la posible acción más desfavorable, según lo indicado por el CTE-SE-AE y, por otro, la resistencia a esa acción, que depende del diseño más o menos calado del elemento, lo cual requiere un estudio específico. Con todo, no se debe obviar la posible acción antrópica, es decir, la de las personas que pueden accionar sobre él. No existe una exigencia precisa al respecto, aunque se puede tomar como una referencia mínima la que establece el CTE-SE-AE para petos y barandillas (III-7.1.3), es decir, una fuerza horizontal uniformemente distribuida de 0,8 kN/m, aplicada a 1,2 m de altura (o en el borde superior si su altura es menor).

Las barreras acústicas cuentan con reglamentaciones muy precisas que quedan recogidas en la UNE-NE 1794-1, en lo referente al



Cerca formada por rollizos de madera tratada contra la intemperie y empotrados en el terreno.

comportamiento mecánico y de estabilidad, y las UNE-EN 14389 1 y 2, en lo que atañe a su durabilidad.

## Conveniencia estética

La función estética suele ser fundamental pues, excepto los bordillos, se trata de verdaderos elementos de “fachada”, con la particularidad que esta función es doble, puesto que, generalmente, presentan dos paramentos, uno al exterior y otro al interior del recinto que delimitan. De este modo, cabe diseñarlos atendiendo no solamente a su mera función de delimitación o cierre, sino como auténticos elementos arquitectónicos, con su expresión basada en la de su forma en planta y alzado y en la cualidad plástica del material de que están realizados. A veces, en terrenos de relieve complicado, su presencia es tanto o más importante que los edificios a los que sirve; otras, en áreas desprovistas de edificación, son los auténticos protagonistas en la configuración visual y plástica del paisaje.

La clave que diferencia una valla de otros elementos constructivos similares es su libertad formal en la línea que marca su límite superior. Es bastante usual que a la hora de proyectar un edificio no se dé la suficiente importancia a las vallas, que se dejan al albedrío de cualquier fabricante. La falta de costumbre lleva a no considerar la posibilidad de perfiles superiores curvos u ondulantes, u otros elementos prefabricados diseñados especialmente a tal fin.



## 2.3 Arbolado

### CLASIFICACIÓN

#### CRITERIOS BÁSICOS DE ELECCIÓN

- Forma propia e influencia en el espacio
- Conveniencia estética
- Influencia en el ambiente
- Características de su ciclo vital
- Integridad a largo plazo
  - De sí mismos*
  - De elementos circundantes*

#### ALGUNOS CASOS EJEMPLARES

### CLASIFICACIÓN

Es obvio que este tema no pretende desarrollar el estudio de los árboles ni siquiera en una extensión mínima. Su objetivo se limita a mostrar cómo este ámbito de la vegetación, habitualmente estudiado sólo desde una óptica específica, también puede ser tratado como parte del construir arquitectónico, aplicándole el esquema general del libro. No obstante, la posibilidad de obtener árboles híbridos e incluso nuevas especies, obviamente, queda fuera del ámbito de trabajo del arquitecto; es un elemento arquitectónico en que los tipos ya están dados. Por eso, no tiene sentido utilizar el criterio aplicado a lo largo de estas páginas, basado en su combinatoria tipológica; pero, lógicamente, sí es necesaria una clasificación que ordene según nuestros intereses el conjunto casi innumerable de especies.

Su clasificación como seres vivos, desarrollada por los biólogos, no es muy útil dado que interesa más, por ejemplo, la división de las especies en perennifolias y caducifolias, ya que el aspecto visual de ambas, muy estable en las primeras y variable estacionalmente en las segundas, es determinante para su elección como objeto formal. Debe ser, pues, la forma y su influencia en el espacio uno de los primeros aspectos a considerar.

En estas páginas que siguen y a modo de ejemplo, se consideran sólo las especies más usuales en el entorno urbano, cuya incidencia, por su valor ornamental u otras características formales o funcionales, es determinante en proyectos y obras de arquitectura y urbanismo.

En función de todo ello, se ha adoptado una clasificación del Instituto Municipal de Parques y Jardines de Barcelona, que consta de cuatro grupos:

#### 1) Especies corrientes en nuestras calles

Son los más familiares para el público profano y, de hecho, suponen más de las dos terceras partes del total de árboles urbanos de nuestras latitudes, aunque la tendencia de los servicios municipales sea aumentar su elenco en aras de la biodiversidad; entre ellos, plátano, olmo de Siberia, almez, falsa acacia, acacia del Japón, palo rosa, braquichito o árbol botella, álamo negro o chopo lombardo, naranjo amargo, tilo (de hoja grande o común), etc.



El almez como árbol urbano.

#### 2) Especies mediterráneas

Son los árboles de nuestro paisaje rural, aunque algunos señorean muchas calles y parques urbanos. Su carácter mediterráneo se traduce en su naturaleza sufrida y resistente al



clima cíclico y extremo de nuestro mar, y en su oferta gratuita de frutos comestibles y flores de aromas penetrantes y familiares; entre ellos, pino piñonero, encina, ciprés, olivo, tamarindo, higuera, etc.



Conjunto de cipreses.

### 3) Especies bien integradas en nuestras ciudades

Especies lejanas del Mare Nostrum, que una vez introducidas han acabado por ser tan familiares como las del grupo anterior, a causa de poseer características muy parecidas; entre ellos, castaño de indias, ciruelo rojo, magnolio, eucalipto, pimentero falso, sauce llorón, palmera canaria, etc.



Pimentero falso.

### 4) Especies exóticas, pero no infrecuentes

Algunas incluso numerosas en nuestras latitudes; su introducción forzada exige grandes recursos para su mantenimiento, lo que aconseja mucha prudencia en su utilización; entre ellos, pino australiano, árbol de los escudos, ombú o bellaombra, etc.



Ejemplar casi único de ombú o bellaombra.

Es una clasificación de valor universal, pero cuyos resultados son bien diferentes según sea el lugar en el que se aplica: una “especie bien integrada” bastante frecuente en Valencia o Cádiz, como el *drago*, apenas cuenta con algún ejemplar en Madrid, pero el *plátano de sombra*, el *tilo* o la *acacia* son tan familiares a un parisino como a un barcelonés. Cada lector la ha de aplicar a su lugar de interés. Al final del tema, cuando ya se han expuesto los criterios para seleccionarlos, añadimos un caso de cada tipo.

## CRITERIOS BÁSICOS DE ELECCIÓN

Conocidas las especies más usuales, los siguientes criterios, aplicables en cualquier lugar, permiten valorarlas para emplearlas en obras de arquitectura. Para ello, primero se consideran los aspectos visuales y luego otras posibles influencias en nuestra percepción sensible a través de los demás sentidos, como el oído, el olfato, etc., a los que siguen consideraciones sobre su ciclo vital.

Estos criterios se ordenan como sigue:

- forma propia e influencia en el espacio,
- conveniencia estética,
- influencia en el ambiente,
- características de su ciclo vital o modo de producción,
- integridad a largo plazo.

Hemos aplicado, pues, los cinco principios básicos, aunque sea en un orden de exposición diferente al habitual por ser más adecuado al caso. Los tres primeros se refieren a los objetivos o fines a cumplir, y los dos últimos a los medios para alcanzarlos.



## Forma propia e influencia en el espacio

En términos formales, una de las finalidades de un área verde de cualquier extensión es crear *ex novo* o remodelar un paisaje para el deleite del ser humano. Así, se trata de diseñar composiciones espaciales, cromáticas y ambientales, autónomas o complementarias de la arquitectura. Mediante la corrección del paisaje natural o la generación de un paisaje artificial adecuado, se pueden diseñar disposiciones espaciales basadas en paredes, suelos, techos, recorridos, etc., de valor compositivo o semántico, o finalidades más utilitarias como limitar o diferenciar espacios de usos diferentes (II-2.2).

Todo lo anterior requiere el conocimiento de las características que permitan al diseñador la elección de la especie más adecuada al propósito espacial fijado, y que, en la clasificación anterior, dependen de la forma.



Arbol botella o braquiquito con la copa estrecha, bien escogido para el lugar.

La forma y características dimensionales del árbol se fijarán en función de la escala del proyecto: la altura total suele ser proporcional a la de los edificios, así como el tamaño de la copa —y también el de las hojas—. El diámetro máximo previsto para la copa del ejemplar adulto definirá los intervalos de plantación, tanto para conseguir una sombra continua como para evitar la interferencia de cada ejemplar en el crecimiento de su vecino. En este sentido, plantar *fresnos*, que pueden alcanzar los 30 m, en una calle de menos de 10 m de anchura, con una altura reguladora de los edificios de 10 m es un error de escala. La misma desproporción tendría lugar si el árbol escogido fuera la *morera*, cuyas hojas pueden medir hasta 20 cm de diámetro.

Las características morfológicas individuales, tanto la forma general como las del tronco y ramas (piénsese en el árbol desnudo) serán determinantes para la composición general y para el diseño de conjunto, en agrupaciones con efectos espaciales determinados: perspectivas a partir de alineaciones de árboles de forma cónica o esférica (*abetos* o *tilos*, respectivamente); agrupaciones libres con disposiciones y formas contrastadas (grupos de *mimosas* sobre un fondo de *tejos*); filtros y barreras, que dependen de la frecuencia de los ejemplares y de su frondosidad (pantallas de *cipreses*, *alamedas* o paseos con alineaciones de cualquier especie de árbol frondoso), etc.

## Conveniencia estética

El propio árbol, arbusto, seto, campo de hierba o manto de planta trepadora tiene, por sus valores cromáticos, cinéticos, etc., antes descritos, una presencia tal que les hace acreedores del calificativo de “objeto artístico”, apreciable según los criterios propios del juicio estético.



Pino de extraordinario porte.

El color general del ejemplar, que depende fundamentalmente del de las hojas, así como el hecho de que éstas sean caducas o perennes, pues un *álamo*, con sus hojas caducas que, antes de caer, viran del verde primaveral al dorado otoñal, proporciona variaciones cromáticas que serán mejor valoradas por un fondo de vegetación permanentemente verde basado en *encinas*; quizá por el suntuoso color dorado de sus hojas en otoño y por su forma de abanico, tan peculiar, y a pesar de que sus frutos al madurar, despiden un olor nauseabundo, el



*ginkgo*, árbol exótico, se ha aclimatado en nuestras latitudes como árbol ornamental.

También hay que pensar en las cualidades sensoriales que, en general, se concentran en las hojas, flores y frutos; la movilidad de las hojas del *álamo temblón* es el paradigma de las cualidades cinéticas del árbol, así como el contraste de los colores del haz y del envés de las hojas del *populus alba* o *álamo blanco* lo son de las variaciones cromáticas.

Por otro lado, muchas especies poseen un simbolismo aceptado y consolidado tradicionalmente; un ejemplo sería el *árbol de Judea*, llamado paradójicamente en catalán *arbre de l'amor* (como en inglés); o el *cercis siliquastrum*, en uno de cuyos ejemplares se dice que se ahorcó Judas Iscariote después de traicionar a Jesús; o el *acanto* (*acanthus mollis* y *acanthus spinosus*), arbusto afortunado cuyas hojas han merecido ser esculpidas en piedra al formar parte de la ornamentación del estilo clásico arquitectónico corintio. Fuera de estos extremos, en muchos casos el simbolismo reconocido de un árbol decidirá su elección: el *cedro* es mencionado en la Biblia como símbolo de fuerza y abundancia; el *ciprés*, con sus connotaciones funerarias y de bienvenida, o la *palmera*, de hospitalidad. También en la mitología griega aparece el *ciprés* en el que Apolo transformó a Kyparissos; el *laurel* es bendecido en el Domingo de Ramos católico y sus hojas coronan a las personas insignes; un bosquecillo de *chopos* es una buena metáfora del ahorro; etc.

## Influencia en el ambiente

La vegetación puede proporcionar un ambiente relajante o estimulante, provocando un auténtico deleite visual, que abarca desde el color al nivel de iluminación, un agradable ambiente olfativo, un medio acústicamente placentero y unas óptimas condiciones térmicas, especialmente en verano. Aunque también estos factores pueden concurrir de forma negativa; en todo caso, el color, olor y rumor de la vegetación nunca dejarán indiferentes.

El factor en el que la vegetación influye de una manera más intensa en la calidad del ambiente es en la restitución del oxígeno y agua a la atmósfera terrestre, gracias a los fenómenos

de la fotosíntesis y la transpiración. Pero también, incluso a escala microclimática, una masa de vegetación regula las condiciones higrotérmicas y fija grandes cantidades de polvo y polución ambientales.

Los procesos fotosintéticos de la vegetación actúan de dos maneras:

- absorbiendo energía radiante y transfiriéndola a los centros de reacción, donde se sintetiza materia orgánica a partir de sustancias inorgánicas al transformarse la energía luminosa en energía química,

- provocando el desprendimiento del oxígeno a partir del anhídrido carbónico y el agua, en un proceso inverso al de la respiración. El resultado es el equilibrio entre el  $O_2$  y el  $CO_2$ , lo que asegura la continuidad de la vida en la Tierra.

Estos procesos ocurren sobre todo en las hojas; por lo tanto, serán tanto más intensos cuanto mayores sean. Por eso, las *angiospermas*, con una gran superficie foliar, tienen mucho mayor predicamento que las *gimnospermas*, de angostas hojas aciculares.

Es usual escoger especies frondosas de hoja grande, *plátanos* o *moreras*, para las zonas de reposo de plazas y jardines, ya que, convenientemente orientadas, proporcionan sombra y fijan la polución en verano, mientras que dejan pasar ampliamente los rayos solares



La arboleda de plátanos asegura unas condiciones estivales insuperables sin molestar en invierno.

para combatir el frío del invierno. El rumor y movimiento de las pequeñas hojas de ciertas especies, como el *álamo temblón*, son relajantes. Una barrera de *cipreses*, con su hoja perenne, es un remedio eficaz contra la acción directa del viento. Una pequeña plaza rodeada de edificios, con el suelo recubierto de *césped*



y *arbustos*, es algo más silenciosa que una pavimentada con losas de piedra. La caída de las hojas del *castaño* va tapizando los suelos a la caída del otoño. Cuando florece el *almendro*, a veces en enero, anuncia anticipadamente la primavera, y cuando en el *naranja* estalla el *azahar* (la flor nupcial) y expande su penetrante olor, ya no queda duda de la llegada de la nueva estación. Parece claro que, con respecto a la vegetación, el ambiente y la conveniencia estética están estrechamente relacionados.

Pero, al contrario de lo que muchas veces se afirma, la influencia de la vegetación en la reducción de los ruidos procedentes del tráfico es prácticamente nula. Para conseguir una reducción de unos 20 dB para las frecuencias de 1.000 Hz se necesitan 100 m de bosque denso no deshojado, que sólo alcanza a 3 dB si ha llegado el otoño. La reducción del ruido se debe, más que a la posible absorción, a la dispersión por reflexión hacia el cielo que producen las hojas y, al igual que lo que ocurre con las barreras (II-2.2), su incidencia también depende de la frecuencia del sonido considerado.

Se puede decir que la atenuación acústica por vegetación es un efecto difícilmente controlable y mensurable y que, en consecuencia, si existe un problema de ruido, las soluciones se deben encontrar mediante otros procedimientos como las ya citadas barreras, o desniveles o terraplenes que pueden tener el mismo efecto que aquéllas.

### Características de su ciclo vital

La diferencia esencial que presentan con el resto de elementos de la edificación es consecuencia de su condición de seres vivos: son los únicos que con el paso del tiempo aumentan de tamaño y, en general, mejoran desde todos los puntos de vista, siempre que se respeten las condiciones vitales que requieren.

Al escoger las especies en un proyecto arquitectónico o urbano, se han de considerar la velocidad de crecimiento, la longevidad y el envejecimiento. El modo de crecimiento, puede ser rápido, como el del *chopo*, o lento como el de la *encina*. Un *aliso* tiene un rápido crecimiento, pero sólo vive 100 años, mientras que el *plátano de sombra* crece rápido, vive varios

siglos, aunque soporta mal las acciones antrópicas que le envejecen prematuramente; un *roble* crece muy lentamente, pero puede alcanzar 1.000 años dignamente; en cambio el *olmo* y el *pino* presentan ambos un desarrollo rápido y viven 600 y 150 años respectivamente.

En cualquier caso, se debe tener claro que dar cuerpo a un jardín o un parque, privado o público, es una actividad de la que se beneficiaran prioritariamente los hijos o nietos.

Los árboles se deben adquirir en viveros en los que se han desarrollado desde el esqueje o semilla hasta tener una cierta entidad, que, para permitir su transporte y nuevo enraizamiento ha de ser bastante liviana. Una plantación reciente no tiene nada que ver con lo que con el tiempo llegará a ser.



Una acacia bien joven.

Una vez en su lugar definitivo, las etapas del ciclo vital las definen la foliación y la floración, que serán en primavera, otoño, etc., las características del fruto (los árboles frutales tienen casi siempre un valor ornamental), su caducidad, tamaño o los residuos que produce (piénsese en la mala fama del *almez* por los frutos que esparce en las calles, o la de la *pinaza* que obtura los canalones de los tejados).

No hay que olvidar los aspectos económicos en un proyecto de un área arbolada. Por ello, deben escogerse especies con un crecimiento y prestaciones proporcionados al uso requerido: rápido, pero algo efímero, y con una necesidad de riego continuado, pero de gran efecto ornamental, como los *chopos*; lento pero persistente, aunque de discreta presencia y modestas exigencias, como las *encinas*.



## Integridad a largo plazo

Hay que considerar la integridad de los elementos vegetales en sí mismos y la de otros elementos circundantes a los que puedan afectar, positiva o negativamente.

### De sí mismos

#### • Condiciones vitales

Como organismos vivos, las plantas requieren unas condiciones adecuadas para su supervivencia, tales como un tipo determinado de suelo (calcáreo, granítico; más o menos permeable o drenante, etc.), un soleamiento adecuado y un grado determinado de humedad según la especie (piénsese en los *árboles de ribera*). Por su vulnerabilidad han de ser protegidas de los efectos del clima: sol excesivo, sequía estacional (ante los que las *hayas* sucumben), heladas, etc., y también de la acción antrópica, que depende de dos factores: la disposición espacial, que ha de minimizar la acción humana directa sobre la vegetación y facilitar su mantenimiento, el cual depende del buen diseño y funcionamiento de una red de riego. Otros factores serían la compatibilidad con otras especies (el *pino piñonero* tolera mal la competencia de otros árboles y arbustos); la relación con la fauna circundante (el *saúco* alimenta al tordo y al mirlo y la *bellota* a varias especies animales); la acción sobre el terreno inmediato, erosiva, estabilizadora (el *pino marítimo*, con sus raíces fasciculadas, fija eficientemente las dunas) o la creación de sotobosque (los *encinares*, con sus copas impenetrables, crean un microclima protector de toda clase de especies, tanto animales como vegetales). A veces, y pese a su indudable atractivo, habrá que renunciar a ciertas especies que, a causa de su estructura radicular superficial (el *pino* en alguna de sus variedades), dañan y hasta destruyen las edificaciones a su alrededor.

#### • Condiciones para el mantenimiento

Un espacio verde precisa de cuidados constantes, como el abono, riego y poda en los períodos convenientes para cada especie, así

como la limpieza de la hojarasca superficial y la que puede obstruir el sistema de evacuación de las aguas superficiales, que son factores decisivos, en su dimensión económica, para la elección de las especies adecuadas a los medios y recursos disponibles: personal, maquinaria e instalaciones.

Si la economía lo aconseja deben escogerse especies duraderas y resistentes (como el *pino*), fáciles de mantener (la *palmera*), idóneos para repoblar zonas áridas, como el *pino carrasco*, etc.

### De elementos circundantes

#### • Cooperación con otros elementos

Como ya se ha indicado, la orientación de las plantaciones puede diseñarse también para una eficaz protección del viento, tanto de las personas, de las construcciones, como de otras plantaciones menos resistentes. El caso de las alineaciones de *cipreses*, auténticas barreras que protegen otros cultivos en el Ampurdán, es paradigmático.

Respecto a la conservación del entorno natural, la vegetación supone una indispensable protección contra la erosión del suelo y su estabilización, como el *pino atlántico* que, como se ha dicho anteriormente, fija las dunas (también lo hace el *ciprés*) o el *eucaliptus*, que se planta para sanear las marismas.

#### • Desórdenes causados por los árboles

No obstante todo lo anterior, no se debe olvidar que los árboles, como seres vivos, también están dotados del imperativo de supervivencia, que puede llegar a ser mayor que la resistencia de las edificaciones. Es bien sabido que la selva puede llegar a “tragarse” edificaciones de gran porte abandonadas.

Sin llegar a ese extremo, un árbol es capaz de levantar o desplomar una cerca o un edificio pequeño; o una de sus raíces, que buscan implacablemente humedad, obturar totalmente la red de desagüe.

La elección de la especie y su lugar de plantación no ha de pasar por alto estas consideraciones.



## ALGUNOS CASOS EJEMPLARES

A continuación se presentan cuatro ejemplos de especies, uno por cada uno de los cuatro grupos establecidos más arriba, en los que se describen las características más sobresalientes ordenadas según los criterios anteriores. Obviamente, sólo se trata de ejemplificar en unos pocos casos todo lo dicho sobre las especies y los criterios de elección. El lector interesado puede ampliar esta relación con la ayuda de textos más especializados.

### • *Especies más corrientes: Plátano*

Platanáceas; *Platanus hispánica*.

Este árbol corpulento de hoja caduca es de origen eurasiático y fue introducido en España en el s. xvii. Desde entonces es, en todas las ciudades mediterráneas ibéricas o no, el árbol urbano por excelencia, tanto en alineaciones de calles y avenidas, como en plazas y jardines.



El plátano es el árbol urbano por excelencia.

La forma general es oval o redondeada. Puede alcanzar una altura total de 50 m y su copa es amplia. El tronco es recto, de color marrón rojizo, cuya corteza se exfolia periódicamente en placas irregulares que dejan ver la corteza joven a modo de mapa con manchas de color verde claro o amarillento. Las ramas son abiertas, gruesas y rectas, con los extremos péndulos las más delgadas.

La hoja es caduca, y el color del haz es verde claro brillante y mate el del envés; adquiere tonalidades amarillas y rojas en el otoño, antes de secarse.

Aunque existen bellos ejemplares aislados, de gran porte, sobre todo en las riberas, es mucho más frecuente encontrarlo en alineaciones de calles y avenidas, o en agrupaciones en plazas y espacios abiertos.

La sombra es ligera, amable, tornasolada y suavemente rumorosa. No sólo tolera bien la polución, sino que sus hojas grandes fijan el polvo y la polución ambientales. El polvillo que desprende el transporte de sus semillas irrita la garganta y los ojos, pero su capacidad alergénica es nula. La caída diferida de las hojas obliga a un trabajo prolongado de recogida.

Su crecimiento es rápido y puede vivir varios siglos. Florece en abril-mayo y fructifica en infrutescencias esféricas con aspecto de borlas, al final del verano o en otoño.

Malvive en terrenos excesivamente calcáreos o arcillosos; pues prefiere suelos profundos, frescos y bien drenados, y un ambiente a pleno sol, aunque con el suelo húmedo. Es muy adaptable a diversas condiciones climáticas y edáficas. En los países mediterráneos se le suele someter a podas caprichosas, que soporta estoicamente, pero en los parques, donde crece con más libertad adquiere su verdadero porte. Aunque las tolera, las podas excesivas dan paso a enfermedades capaces de exfoliarlo extemporáneamente e, incluso, producirle la muerte prematura.

Desde hace algunos años sufre enfermedades y plagas que afectan gravemente la supervivencia de la especie en nuestras latitudes.

### • *Especies mediterráneas: Encina*

Fagáceas; *Quercus ilex ilex*. Angiosperma, frondosa, perennifolia.

Originario del Litoral de la Región Mediterránea, es el "roble común" de dicha región, y forma uno de sus bosques típicos más característicos: el encinar.

No suele superar los 20 m, aunque su talla normal oscila entre los 10-12 m; su copa es amplia, muy abierta y espesa.

La forma general es redondeada. El tronco es recto y grueso, de color gris ceniza o marrón oscuro y corteza finamente agrietada. Las ramas, erguidas o ligeramente horizontales, robustas y un poco péndulas las viejas, recubiertas de una pelusilla blanquecina las más jóvenes.





Encinas muy añejas.

La hoja es persistente, el color del haz es verde intenso y luciente, y claro grisáceo y algodónoso el del envés. Su forma general es ovalada, lanceolada, de terminación roma; el borde es dentado y punzante, aunque a veces la hoja es entera. En calles y avenidas, también es más pertinente agruparlas que presentarlas en alineación.

El porte reposado, noble e introvertido, pero sobre todo invariable por la permanencia de sus hojas, facilita su identificación; ya se ha comentado que su verde intenso y permanente es el verde mediterráneo por antonomasia.

Su copa generosa y espesa crea, bajo su manto protector, un microclima tan abrigado que permite la formación de un sotobosque subtropical de lianas y arbustos. Cabe aconsejar su plantación en zonas verdes de nueva creación, sobre todo en agrupaciones lo más densas posibles para preservar el sotobosque.

Su crecimiento es muy lento, pero suele vivir unos 800 años aunque, protegido de la acción antrópica puede alcanzar los 1.400.

Florece en abril-mayo y fructifica en bellotas que pueden alcanzar los 4 cm de longitud; su maduración es lenta y hasta el principio del invierno no se ha completado.

Se contenta con terrenos mediocres y vive muy bien en la caliza. Originaria de las tierras mediterráneas con una pluviometría irregular, resiste estoica la sequía.

• **Especies bien integradas: Palmera canaria**

Palmáceas; *Phoenix canariensis*. Angiosperma, caducifolia.

Es un árbol originario de las Islas Canarias, aunque la especie procede de las zonas tropi-

cales de Asia y América. En Europa, se ha aclimatado bien a la costa mediterránea; el famoso palmar de Elche es de origen árabe.



En el centro de la imagen, conjunto de palmeras canarias. A la izquierda una palmera de la especie washingtonia.

No suele pasar de los 10 m; no dispone propiamente de copa, pues las hojas crecen directamente del extremo superior del tronco.

La forma general es la de un tronco columnar coronado por un penacho, formado por 60-100 frondas en los ejemplares no podados; cada fronda posee hasta 150 pares de pinnas o segmentos foliares. El tronco es recto y grueso, con la corteza recubierta y oculta por las bases de las hojas caídas.

Las hojas son caducas, de 5-7 m de longitud, pinnadas, de limbo lanceolado y ápice en forma de espada, fuertes y rígidas.

Hay algunos ejemplares aislados, pero en jardinería se aprovecha su gran regularidad para formar alineaciones, sobre todo en las ciudades levantinas.

Las hojas de la palmera canaria son de una tonalidad intensa del verde.

Su crecimiento es relativamente rápido y suele vivir hasta los 200 años; el tronco no presenta anillos de crecimiento, sino que su estructura es fibrosa.

Florece en primavera en inflorescencias cortas, densas, de flores blanquecinas y fragantes. Fructifica en dátiles ovoides, elongados, carnosos y anaranjados.

Vive bien en terrenos húmedos, aunque sean algo salinos; pero precisa de un clima cálido y lugares soleados; soporta la pluviometría irregular, esta es la razón de su adaptación al Mediterráneo.



• **Especies exóticas, pero no infrecuentes.**  
**Ombú, o bellaombra**

Fitoláceas, *Phytolacca dioica*s. Angiosperma, persistente, estructura fibrosa y endurecida.

Oriundo de las pampas suramericanas, se ha aclimatado bien en el litoral mediterráneo y es frecuente verle desde Cádiz (hay allí ejemplares impresionantes), pasando por Valencia hasta Barcelona, en la plaza Francesc Macià y en la falda de Montjuïc, donde fueron implantados por el arquitecto jardinero Rubió i Tudurí.



Ombú recién trasplantado a su lugar definitivo.

Su talla normal oscila entre los 10-15 m; mientras que su amplia copa puede alcanzar los 6-12 m. La forma general es semiesférica, gracias a la portentosa amplitud de su copa. El tronco es corto y muy corpulento, de color gris pálido o amarillento en la base, con la corteza paquidérmica que se abre ampliamente y se arruga en donde nacen las ramas; éstas son elásticas y tan largas que en sus extremos cuelgan hasta casi tocar el suelo. El resultado es una copa generosísima, gracias a su relativa densidad y a la estructura coriácea de las hojas.

La hoja es persistente o caduca durante un corto plazo; es simple, grande, ovalada y de textura brillante; el color del haz es verde intenso y luciente, y más claro el del envés.

No es un árbol apto para agrupaciones debido a la gran superficie que ocupa; tampoco es aconsejable su proximidad a calzadas y edificios: sus poderosas raíces los destruirían.

En la península Ibérica sólo se le conoce como árbol ornamental, aunque la enorme superficie cubierta por su copa, con forma de

casquete semiesférico, produce una sombra fresquísima.

Su crecimiento es, inicialmente, bastante rápido, aunque las condiciones urbanas, la exposición al viento principalmente, retardan su crecimiento y acortan su vida.

Pese a su rotunda apariencia debe decirse que, más que un árbol, su estructura es la de un arbusto, leñosa y no fibrosa como la de los árboles; carece, pues, de los anillos de crecimiento.

Florece en junio en agrupaciones de flores blancas en racimos colgantes; el fruto es también un racimo de baya de unos 12 cm de longitud y color marrón.

Soporta todo tipo de suelos, sequías y cierta salinidad; en cambio, las heladas y el clima continental lo alejan del interior peninsular. También ha de ser protegido de los vientos fuertes. En nuestras latitudes –milagros del trasplanteamiento– puede despojarse ocasionalmente de sus hojas para defenderse del frío; un ombú desnudo es un exotismo propio del traslado territorial. Pese a su robusta apariencia, su madera es sumamente frágil.

Es una especie apropiada para parques extensos, y debe ser alejado de edificios y obras de fábrica en general, pues, como se ha dicho, sus raíces son devastadoras.

En la ciudad prefiere la soledad de un espacio medianamente amplio, donde desarrolla todo su porte en libertad.

A causa de su enorme consumo de agua y de su estructura arbustiva, es de una gran fragilidad, lo que exige ciertos cuidados y la selección rigurosa de su emplazamiento.

• • •

Planteados los problemas con los que nos enfrentamos en el espacio exterior del edificio y sus soluciones habituales, pasamos al análisis de los problemas y soluciones inherentes a la construcción de éste. Se inicia por el estudio de la **estructura portante** como base fundamental para crear un espacio arquitectónico estable a las acciones gravitatorias desde el primer día y a los embates horizontales en algún momento indeterminado de su existencia.



## CAPÍTULO II. La estructura portante

### 3. Cimentaciones

- 3.1 El terreno de cimentación
- 3.2 Cimentaciones superficiales o directas
- 3.3 Cimentaciones profundas
- 3.4 Contención de tierras en sótanos

### 4. Elementos verticales

- 4.1 Muros o paredes
- 4.2 Pies derechos

### 5. Elementos horizontales

- 5.1 Vigas y jácenas de forjados
- 5.2 Forjados
- 5.3 Elementos portantes de cubiertas ligeras

### 6. La estructura como unidad

- 6.1 Estructuras de muros
- 6.2 Estructuras porticadas

En este capítulo se estudia el conjunto de elementos que, interrelacionados entre sí, han de asegurar la estabilidad de todo el edificio y al mismo tiempo no mermar su durabilidad. Son elementos que han de resistir sin romperse los embates gravitatorios y horizontales que actúan sobre el conjunto, y que, además, lo han de hacer sin que las deformaciones que inevitablemente les ocasionan esos embates generen roturas en los cerramientos que pongan en peligro el uso o la integridad a largo plazo del edificio.

El método de exposición y análisis es el mismo que se utiliza en todo el libro. Inicialmente, los elementos se estudian por separado, empezando por el análisis del terreno (II-3.1), luego el elemento que hace compatibles las cargas sobre éste, la cimentación (II-3.2, 3 y 4), siguiendo por los que las transmiten, los elementos verticales (II-4), y por los que las producen en mayor proporción, los elementos horizontales (II-5). Finalizado este recorrido por elementos, se exponen los conjuntos coherentes que se pueden organizar con todos ellos para formar la unidad de orden superior que denominamos estructura portante (II-6), o, en la mayoría de los casos, estructura, sin más.

Algunos de estos elementos se estudian en otros capítulos como, por ejemplo, los elementos de soporte de las cubiertas (III-9) o los mu-

ros portantes en los temas de fachadas (III-7.2) y particiones interiores (II-8.1) o los forjados de los entresijos (II-7). En este capítulo se aborda su estudio desde las exigencias que les afectan como elementos que forman parte de la estructura. Y estas exigencias no son otras que las que se deducen de aplicar una vez más los cinco principios, esta vez a la estructura.

El modo mediante el cual la estructura o alguno de sus elementos participan en la **adecuación del ambiente** es limitado, y ya se han expuesto anteriormente los casos en los que es más influyente: los muros de carga que al mismo tiempo son cerramientos o los forjados como elementos que aportan parte del aislamiento del ruido que se exige a los entresijos.

Lógicamente, el factor básico que influye de manera determinante en la concepción, diseño y dimensionado final de los elementos portantes es el cumplimiento simultáneo de los principios de **adecuación del espacio** y de **integridad**. En los casos en que los elementos estructurales quedan vistos, también actúan sobre ellos las exigencias de la **conveniencia estética**.

Como ya se indicó en el primer capítulo de los Principios, la estructura es la que nos permite crear espacios que, gracias a sus dimensiones en planta y en alzado, facilitan el desarrollo de la función del edificio. Ante las cargas



gravitatorias, implacables desde el primer momento, los elementos horizontales quedan condicionados por la luz del espacio que cubren y la carga directa que soportan. Su canto vendrá definido además por el material utilizado y la forma del conjunto. Para los elementos verticales son la altura libre del espacio entre dos uniones con otros elementos horizontales y la carga que proviene de los elementos superiores los valores que condicionan su sección.

La integridad a largo plazo, la de los usuarios o la de la propia estructura o edificio, añade nuevas exigencias. Si la estructura falla, falla todo. A los embates gravitatorios se han de añadir los esporádicos, pero potentes, embates horizontales (I-10), los posibles efectos destructores de un gran incendio (I-9) y del paso del tiempo (I-11).

En cualquier caso, la integridad de las personas es el requisito fundamental a cumplir. Evitar el colapso catastrófico de la estructura, sea por acciones gravitatorias, de viento, sismo, o fuego, es un objetivo esencial.

La integridad ante el paso del tiempo de la propia estructura viene limitada por posibles causas de alteración genéricas del material. Todas ellas son la consecuencia de materiales estructurales no especialmente resistentes a los agentes de deterioro más habituales, tales como el agua o el aire; asimismo, todos ellos son relativamente débiles frente a acciones más agresivas, como el fuego. El acero, el hormigón armado y la madera son especialmente sensibles a todos estos agentes.

La integridad del resto de los elementos del edificio está condicionada por el exceso de sus deformaciones, que puede afectar a los elementos de la envolvente y la compartimentación.

El dimensionado y el diseño preciso de los elementos de la estructura requieren métodos de cálculo que valoren tanto esas acciones que generan exigencias concretas como las prestaciones de las diferentes soluciones posibles, que quedan fuera del alcance de este libro.

El CTE aborda todas estas cuestiones en su sección Seguridad Estructural (SE): las acciones en SE-AE, las estructuras de acero en SE-A, de madera en SE-M y de fábrica en SE-F. Las estructuras de hormigón armado quedan recogidas en la instrucción EHE. Las acciones sísmicas y sus efectos en la NCSE-02.

La previsión del comportamiento de la estructura ante un incendio de manera que por encima de todo permita la evacuación rápida de los ocupantes se establece en la sección Seguridad en caso de Incendio (SI).

Sobre cómo el principio de **conveniencia estética** plantea exigencias a la estructura, es necesario añadir algo más a lo dicho anteriormente. En general, cualquier elemento estructural que queda a la vista está sometido a dicho principio, pero, en realidad, son pocas las ocasiones en las que ocurre. En el exterior, la estructura se ha de proteger de la intemperie y, si se quiere exhibir y proteger de verdad, se habrá de forrar con láminas de acero, por ejemplo, con lo que dará una forma bastante parecida, pero no será realmente la estructura. En los últimos años sólo se da esa exhibición exterior descarnada en pocos casos, por ejemplo, que se muestra la discutida belleza formal de las cruces de San Andrés (I-p. 199).

En el interior de los edificios compartimentados la estructura no es visible porque el uso requiere unos acabados propios de la compartimentación (capítulo III de este tomo). En los edificios que contienen espacios de grandes dimensiones, como polideportivos, pabellones (I-p. 47), piscinas, etc., la indisoluble relación entre espacio y estructura, requiere que un juicio estético simultáneo sobre ambas partes. En estos casos, el juicio debe hacerse sobre los elementos que soportan la habitual cubierta ligera (II-5.3) casi siempre a la vista y, en consecuencia, en su relación con las características que definen el espacio. Aunque, como siempre, hay excepciones (I-p. 216).

Pero es importante destacar que, más que cualquiera de los elementos del edificio, los elementos de la estructura, para ser apreciados incluso sólo bajo un juicio estético, han de ser comprendidos desde su papel mecánico. No se puede valorar en toda su justeza, por ejemplo, una viga compleja de 40 m, o unas cruces de San Andrés visibles en fachada, sin tener un mínimo de idea de las claves del comportamiento de los elementos resistentes frente a la flexión, o del problema de la estabilidad a las acciones horizontales. Como ocurre casi siempre, la percepción de la belleza está condicionada por el conocimiento.



## TEMA 3. Cimentaciones

### 3.1. El terreno de cimentación

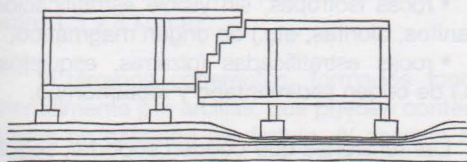
### 3.2. Cimentaciones superficiales o directas

### 3.3. Cimentaciones profundas

### 3.4. Contención de tierras en sótanos

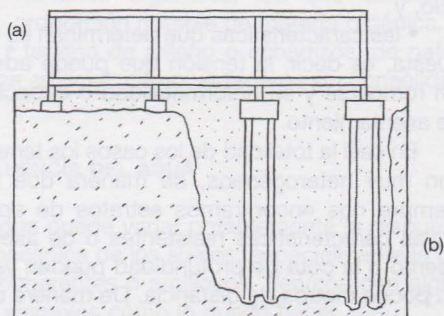
Se entiende por cimentación el conjunto de elementos en contacto con el terreno sobre los que se apoyan los elementos verticales de la estructura portante. Su función es distribuir las cargas provenientes del edificio en una superficie suficientemente grande como para que la tensión de compresión resultante sea inferior a la que es capaz de soportar el terreno, siempre mucho menor que la de cualquier material de construcción. La diferencia de secciones entre un pilar de hormigón que puede resistir  $200 \text{ kg/cm}^2$  y un terreno que sólo alcanza  $2 \text{ kg/cm}^2$  nos da idea de que la superficie necesaria se debe multiplicar más o menos por 100.

Pero, a pesar de ser bajas las tensiones, todo terreno sometido a una carga se deforma. Un correcto diseño de la cimentación no solamente busca que no se rompa, sino que esas deformaciones o asentamientos sean las mismas en todos los elementos de la cimentación. Si eso no ocurre así, es decir, si existen asentamientos diferentes, normalmente llamados diferenciales, la estructura del edificio va a estar sometida a unas tensiones para las cuales no está preparada y acabará por fisurarse o agrietarse.



Los diferentes tipos de cimentación no surgen, como ocurre en el resto de los elementos constructivos, de consideraciones sobre los materiales utilizados o de los procedimientos de puesta en obra, ya que, en este caso, prácticamente el material es único, el hormigón, casi siempre armado, y su realización, casi siempre in situ.

En realidad, los diferentes tipos de cimentaciones surgen de la combinación de los dos tipos básicos de estructuras, de muros o de pórticos, con las diferentes estrategias que es preciso desarrollar para adaptarse a la gran diversidad de terrenos sobre los que se puede edificar.



En el caso de terrenos buenos situados a poca profundidad y edificios que ejercen poca presión relativa, el tipo más usual es la cimentación superficial, que consigue, con una excavación reducida, distribuir las cargas mediante un ensanchamiento de la superficie de apoyo (a).

Si el terreno no es tan bueno con relación a la carga a soportar, la dimensión del cimiento se puede agrandar hasta llegar al extremo de ocupar toda la planta del edificio con unas losas armadas. Pero también es posible utilizar las denominadas cimentaciones profundas, basadas en pilotes que buscan en capas más profundas un terreno resistente o reparten la carga en el terreno deficiente mediante el rozamiento que producen sus superficies de contacto (b).

En los dos temas específicos que se desarrollan a continuación se consideran ambos tipos de cimentación. En todos los casos, sus prestaciones han de dar respuesta a las exigencias planteadas por el CTE-SE-C.



### 3.1 El terreno de cimentación

#### CARACTERÍSTICAS BÁSICAS CLASIFICACIÓN GENERAL INFLUENCIA DEL AGUA ESTUDIOS GEOTÉCNICOS

##### CARACTERÍSTICAS BÁSICAS

Del terreno nos interesa conocer dos variables fundamentales:

- la profundidad a la que se encuentra el estrato que puede proporcionar una respuesta adecuada a las cargas transmitidas por el edificio, y
- las características que determinan su respuesta, es decir, la tensión que puede admitir sin romperse y su deformabilidad o capacidad de asentamiento.

En casi la totalidad de los casos los terrenos son muy heterogéneos, de manera que casi siempre nos encontramos estratos de apoyo cuyas características resistentes o de asentamiento o la cota de profundidad pueden variar en pocos metros de distancia. De manera que, además de lo anterior, es necesario conocer:

- las heterogeneidades que pueden provocar asentamientos diferenciales y deformaciones en estructura o cerramientos del edificio.

La complejidad del comportamiento mecánico del terreno se acrecienta por el hecho de que su contenido de agua o humedad puede influir decisivamente, con lo cual a las anteriores se ha de añadir esta nueva variable, que puede afectar a los estratos resistentes o sólo a los superficiales.

##### CLASIFICACIÓN GENERAL

Desde el punto de vista de la geotecnia, o ciencia que nos proporciona el conocimiento del terreno como elemento resistente, los terrenos se clasifican en rocas y suelos. La definición de roca es equivalente a la del lenguaje corriente: un material compacto y resistente, para cambiar la forma del cual son necesarios medios y herramientas contundentes (explosivos, marti-

llos neumáticos, etc.). En cambio, un suelo es un agregado de granos y partículas que se pueden separar por acciones mecánicas más o menos sencillas, como máquinas excavadoras.

Como las rocas en pocas ocasiones afloran en la superficie, la mayoría de los edificios están contruidos sobre suelos.

Considerando su comportamiento mecánico, las diferencias son algo más precisas: las rocas son materiales a los que se les puede aplicar la teoría de la elasticidad, al igual que a casi todos los materiales de construcción; por el contrario, los suelos tienen una respuesta mecánica que dista mucho de poderse considerar elástica. El estudio de ambos tipos de terrenos da lugar a dos ramas de la ciencia diferenciadas: la Mecánica de Rocas y la Mecánica del Suelo. Sigamos con la clasificación.

Las rocas se dividen en:

- 1) según su origen en:
  - magmáticas,
  - sedimentarias,
  - metamórficas.
- 2) según su estructura material en:
  - rocas isótropas, sin visible estratificación (granitos, dioritas, etc.) de origen magmático,
  - rocas estratificadas (pizarras, esquistos, etc.) de origen sedimentario y metamórfico.

Las tensiones que pueden soportar, según el tipo de roca, y la dirección de la carga en relación con la de los estratos, oscila entre 10 kg/cm<sup>2</sup> y 80 kg/cm<sup>2</sup>.

La clasificación de los suelos requiere considerar el tipo de materiales de que pueden estar compuestos en relación con el tamaño de sus granos. Por un lado los tenemos de grano grueso o áridos, gravas y arena, y, por otro, los



de grano fino, los limos y las arcillas. La frontera entre unos y otros queda definida por la normativa y, sin entrar en demasiados detalles, es suficiente decir que el diámetro de gravas y gravillas es mayor de 2 mm, el de arenas gruesas y medias entre 2 mm y 0,2 mm, arenas finas entre 0,2 y 0,06 mm, limos inorgánicos menor de 0,06 mm y las arcillas, inferior a 0,002 mm.

El comportamiento mecánico ante la acción de la carga de un edificio de cada uno de los tipos es diferente. Los suelos de grano grueso reaccionan por efecto del rozamiento interno entre granos y son muy poco compresibles. Los de grano fino reaccionan por la cohesión y pueden ser muy compresibles. Los primeros se denominan suelos sin cohesión o granulares y los segundos suelos coherentes.

En realidad, nunca encontramos un suelo que sólo contenga un único tipo de grano, sino que siempre son mezcla de varios y con proporciones totalmente variables, lo cual requiere utilizar expresiones como arcilla arenosa o arena arcillosa. Según todo lo anterior, complementado con su capacidad portante, los suelos se pueden clasificar en:

1) terrenos sin cohesión, formados fundamentalmente por áridos, grava, arena y limo inorgánico, pudiendo contener arcillas en cantidad moderada, y que a su vez pueden ser:

- terrenos de graveras, si predominan las gravas y gravillas,
- terrenos arenosos gruesos, si predominan las arenas gruesas y medias,
- arenosos finos.

Las tensiones que pueden admitir están entre 1,5 y 8 kg/cm<sup>2</sup>.

2) terrenos coherentes, formados fundamentalmente por arcillas, que pueden contener áridos en cantidad moderada. Al secarse forman terrones que no pueden pulverizarse con los dedos. Según su consistencia y su resistencia a compresión en estado natural no alterado, se clasifican en:

- duros, cuando los terrones con su humedad natural se rompen difícilmente con la mano; resistencia a compresión superior a 4 kg/cm<sup>2</sup>.
- semiduros, cuando los terrones con su humedad natural se amasan difícilmente con la mano; resistencia entre 2 y 4 kg/cm<sup>2</sup>.

- blandos, cuando los terrones con su humedad natural se amasan fácilmente y permiten obtener entre las manos cilindros de 3 mm de diámetro; resistencia entre 1 y 2 kg/cm<sup>2</sup>.

- fluidos, cuando los terrones con su humedad natural, presionados en la mano cerrada fluyen entre los dedos; resistencia inferior a 1 kg/cm<sup>2</sup>.

3) terrenos deficientes cuando en general no son aptos para la cimentación. Entre ellos se encuentran los siguientes:

- fangos inorgánicos, limos inorgánicos y arcillas con gran cantidad de agua, que no permite la formación de cilindros que resistan su propio peso.
- terrenos orgánicos, los que contienen una proporción notable de materia orgánica.
- terreno de relleno o echadizos, de naturaleza artificial, como vertederos sin consolidar.

## INFLUENCIA DEL AGUA

El agua puede variar notablemente la respuesta mecánica de los suelos, especialmente la de los coherentes o arcillosos. Veamos con algunos ejemplos cómo lo puede hacer.

Si cargamos un terreno coherente saturado puede ocurrir que, aunque la tensión esté muy alejada de la de rotura, se deforme excesivamente por expulsión parcial del agua que contiene y la consiguiente disminución de volumen. Si esta disminución es exactamente igual bajo todo el plano de la cimentación, no se produce ninguna rotura en el edificio. Pero esa igualdad es difícil ya que el propio terreno no es homogéneo y los edificios, en general, también presentan cargas diferentes según las zonas.

La complejidad de la influencia del agua se incrementa por el hecho de su variabilidad según la época del año y la frecuencia de las lluvias. A pesar de que la superficie de los terrenos llanos no montañosos esté seca, en las capas inferiores existen mantos de agua en las capas permeables. El nivel de profundidad en el que se empieza a encontrar agua se denomina nivel freático. En campo abierto, este nivel varía según la época del año más que en las ciudades, donde influyen otras variables



como la rotura de conducciones de agua, construcciones de muros enterrados que cambian las corrientes subterráneas, etc.

Estos cambios de humedad provocan modificaciones en las características del suelo. Por ejemplo, en suelos arenosos puede disminuir la resistencia al corte, o en los arcillosos un aumento de humedad disminuye la cohesión.

En este caso, es necesario buscar zonas en que el nivel freático sea constante, y cimentar por encima o bien por debajo de los niveles de fluctuación.

No hay que olvidar, a pesar de no ser tan decisivas, otras dos variables relacionadas con el agua: la cota de socavaciones y la cota de heladicidad.

En terrenos poco edificados puede ocurrir que una corriente subterránea produzca un desplazamiento de parte del terreno. Si es así, ha de buscarse una cota para cimentar por debajo de la zona previsiblemente afectada.

Por último, la posibilidad de que el agua del terreno se hiele y provoque alteraciones en su capacidad portante, se evita cimentando en una cota inferior a la que pueden alcanzar las temperaturas de congelación, lo cual en nuestro país se consigue profundizando como mínimo un metro.

## ESTUDIOS GEOTÉCNICOS

La importancia del conocimiento de un elemento tan complejo y fundamental en un edificio como es el terreno, obliga a establecer unos procedimientos de análisis sistemáticos denominados Estudios Geotécnicos, que deben estar realizados por personal especializado. En nuestro país están regulados por el CTE-SE-C, capítulo 3.

Su realización consta de tres fases:

- la programación, basada en el análisis de la información previa,
- la campaña de reconocimiento del terreno in situ,
- ensayos de laboratorio sobre muestras tomadas in situ.

En la primera se han de conseguir los próximos datos del proyecto del edificio a realizar,

parcela, plano acotado, usos, obras anteriores, posibles modificaciones del perfil original, etc., terrenos colindantes, estudios geotécnicos ya realizados, etc.

Una vez recabado todo ello se determina los trabajos a realizar en la segunda parte, que pueden consistir en prospecciones, ensayos de campo y toma de muestras.

Las prospecciones sirven para describir al detalle las diferentes capas del terreno en profundidad; pueden hacerse mediante calicatas o pozos, sondeos mecánicos o métodos geofísicos.

La realización de pozos, si bien permite la observación directa del terreno y la extracción de muestras, es lenta y cara. Mucho más usual es el sondeo que se realiza con diferentes herramientas que consiguen realizar una perforación profunda de la que se van extrayendo informaciones, entre ellas una muy importante, el nivel freático.

Los ensayos de campo aportan datos que pueden informar sobre resistencia, deformabilidad y permeabilidad; habitualmente se realizan al mismo tiempo que los sondeos. El ensayo más común es el de penetración estándar, SPT (Standard Penetration Test). Se basa en introducir en el suelo una cuchara hueca (que también puede tomar muestras) mediante el impulso producido por una maza de caída libre. La resistencia del terreno se cuantifica por el número de golpes necesario para producir una penetración de 30 cm.

Mediante todo este conjunto de datos puede determinarse la naturaleza de las diferentes capas del terreno. Relacionando entre sí los distintos puntos donde se han realizado los sondeos, podemos deducir unos cortes estratigráficos de toda la parcela a estudiar.

Los ensayos de laboratorio se realizan con muestras tomadas en la campaña anterior y sirven para acabar de conocer con la máxima precisión las propiedades físicas y mecánicas de las diferentes capas.

El estudio geotécnico ordena todos los datos y establece conclusiones clave que debemos conocer antes de realizar el proyecto de la cimentación o de los muros de contención (II-2.1). La permeabilidad y el nivel freático son datos necesarios para la realización de las partes enterradas de los edificios (III-6).



3.2 Cimentaciones superficiales o directas

CIMENTACIONES PARA MUROS

CIMENTACIONES PARA PILARES

- Terreno firme asequible
- Cimentaciones en medianería
- Terreno firme no asequible

INTEGRIDAD DE LAS CIMENTACIONES SUPERFICIALES

Los diferentes tipos surgen de combinar los dos tipos básicos de elementos estructurales verticales, muros (II-4.1) o pilares (II-4.2), con la profundidad a la que se encuentra el terreno firme.

CIMENTACIONES PARA MUROS

Podemos distinguir los siguientes casos:

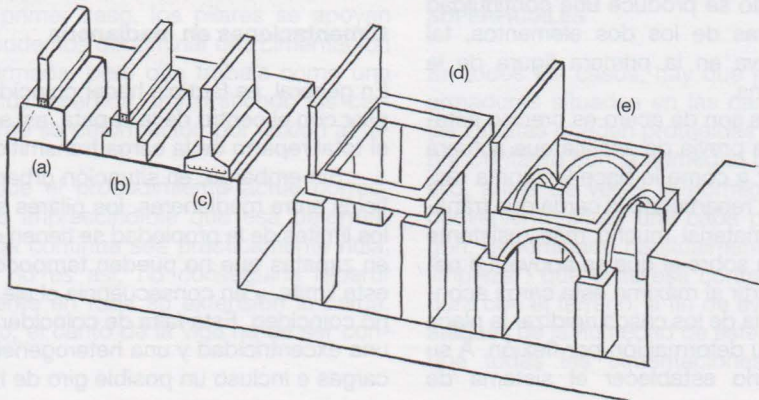
1) Si el terreno firme está a profundidad asequible (< 4 m), se resuelve con zapatas continuas o corridas de mampostería u hormigón en masa (a) y (b), o de hormigón armado (c). Las primeras consiguen transmitir las cargas mediante la distribución de la compresión según unos planos inclinados unos sesenta grados. Esto requiere que la altura de la cimentación sea de una dimensión equivalente a la de su anchura. Si la cantidad de material es excesiva, es posible reducirla mediante secciones verticales escalonadas.

La cimentación armada comporta menor cantidad de hormigón y, en consecuencia, también una reducción del peso propio. Por el con-

trario, implica un mayor coste por el trabajo de colocación de la armadura metálica.

2) Si el terreno firme está a una profundidad entre 4 y 6 m, no es posible realizar las cimentaciones anteriores pero tampoco se justifica una cimentación profunda. Es adecuada la realización de pozos de cimentación con una sección circular o cuadrada suficiente para repartir las cargas en el terreno. Sobre ellos se apoyan vigas de hormigón armado (d) –anti-guamente arcos (e)– sobre las que a su vez se apoyan los muros.

Tal como se explica en II-6.1, la estabilidad de las estructuras de muros de obra de fábrica requiere que se formen conjuntos de muros en retícula, para que unos aguanten las cargas de los forjados y los que no reciben cargas arriostren a los cargados, formando cajas. Todos ellos, incluidos los no cargados, requieren estar apoyados sobre una cimentación continua, por lo que también ésta adopta la forma de retícula o emparillado, igual que los muros pero de mayor espesor.





## CIMENTACIONES PARA PILARES

### Terreno firme asequible

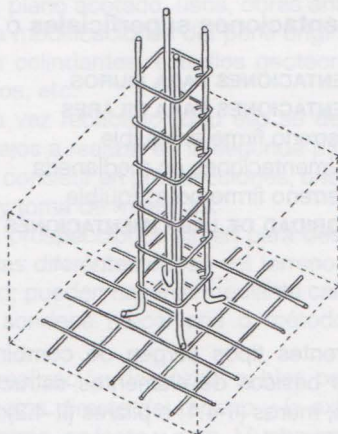
La solución más habitual es la zapata aislada, directamente situada sobre el terreno firme. Si éste se encuentra a cierta profundidad, entre él y la zapata puede situarse un pozo de cimentación de hormigón en masa de las mismas dimensiones en planta que la zapata.



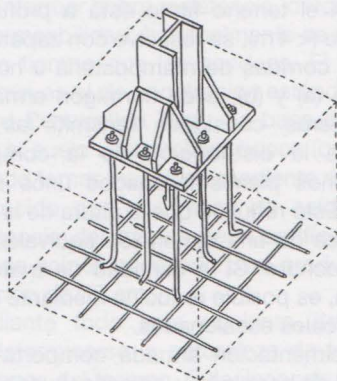
Hormigón recién vertido en un zapata superficial.

La unión entre las zapatas y los pilares se realiza según sea el material de éstos. Si es hormigón armado se produce una continuidad de las armaduras de los dos elementos, tal como se observa en la primera figura de la siguiente columna.

Si los pilares son de acero es preciso establecer una placa previa de anclaje que actuará de modo similar a como lo hace la zapata respecto al terreno: repartiendo la carga que transmite el acero, material mucho más resistente que el hormigón sobre el que se apoya. La necesidad de repartir al máximo esta carga aconseja en la mayoría de los casos rigidizar la placa a fin de evitar su deformación por flexión. A su vez es necesario establecer el sistema de



anclaje entre la placa y el hormigón mediante los pernos roscados. La mayor dificultad que presenta la realización de esta placa es tener la seguridad de que se ha producido el contacto total entre ella y el hormigón.

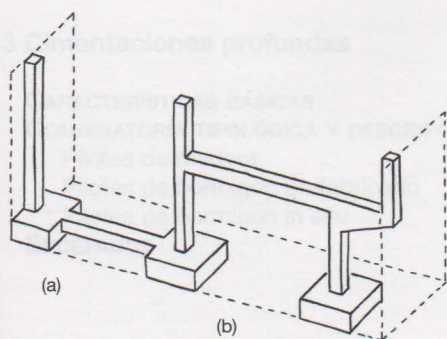


### Cimentaciones en medianería

En general, es factible hacer coincidir el eje del pilar con el centro de la zapata, así se consigue el total reparto de la carga transmitida.

Sin embargo, en situación urbana con edificios entre medianeras, los pilares situados en los límites de la propiedad se tienen que apoyar en zapatas que no pueden tampoco traspasar este límite, y en consecuencia el eje y el centro no coinciden. Esta falta de coincidencia genera una excentricidad y una heterogeneidad de las cargas e incluso un posible giro de la zapata.





Para evitarlo, la solución más habitual es unir las zapatas de medianería con las más cercanas del interior del edificio, mediante vigas de hormigón armado, denominadas vigas centradoras para evitar aquel giro (a).

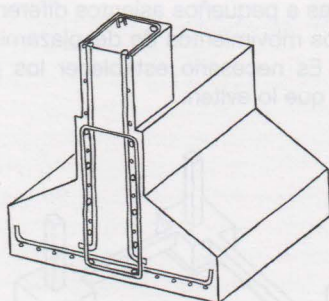
Es posible también, aunque de más difícil realización, situar el pilar de planta baja coincidiendo con el centro de la zapata y desplazar en el primer nivel que sea posible el pilar hacia la medianera, lo cual obliga a un elemento robusto de transición que trabajará en ménsula (b).

### Terreno firme no asequible

Si el terreno firme está a gran profundidad, pero se presenta la posibilidad de repartir las cargas en una cimentación superficial que ejerza tensiones de poca intensidad sobre un terreno no muy bueno pero accesible, puede realizarse una cimentación con zapatas corridas de hormigón armado que, si se combinan con otras en perpendicular a ellas forman un emparrillado; si esta solución no fuera suficiente, es posible utilizar una cimentación con losa de hormigón armado.

En el primer caso, los pilares se apoyan en lo que podemos denominar una cimentación continua armada, pero que trabaja como una viga continua invertida, transmitiendo las cargas mediante su deformación por flexión al terreno.

Para que el procedimiento actúe correctamente es imprescindible que esa deformación de viga continua sea prácticamente nula, ya que si no es así, no conseguiría repartir correctamente en toda su extensión la carga. Por lo tanto, el canto de la viga ha de ser considerable.



Si la superficie de apoyo sigue siendo insuficiente es preciso recurrir a la extensión del elemento resistente a toda la superficie posible mediante las losas de cimentación, que no dejan de ser algo similar a una zapata del tamaño de todo el edificio. La dimensión clave de estas losas es el canto que va a permitir que la losa sea lo suficientemente rígida como para repartir de una forma efectiva la carga entre el máximo de superficie.

En estos casos es conveniente que la distribución de pilares sea lo más isotrópica y homogénea posible, aconsejándose en consecuencia una distribución en planta en retícula cuadrada o rectangular de lados lo más similares al cuadrado.

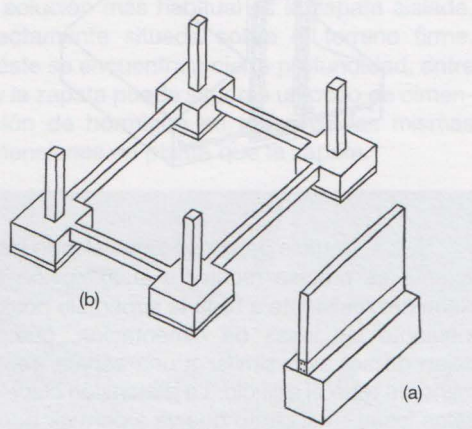
En los casos en los que por deficiencias del terreno son necesarias las dos soluciones anteriores también es posible la alternativa de las cimentaciones profundas.

### INTEGRIDAD DE LAS CIMENTACIONES SUPERFICIALES

En todos los casos, hay que procurar que las armaduras situadas en las caras inferiores de las zapatas queden protegidas de su oxidación por contacto con la humedad del terreno. Para ello, antes de verter el hormigón definitivo es conveniente situar una capa previa de hormigón, denominado habitualmente "hormigón de limpieza", que evite ese contacto de la armadura con el terreno, a fin de evitar los posibles ataques de la humedad de éste. Hay que prever que todas las cimentaciones pueden estar

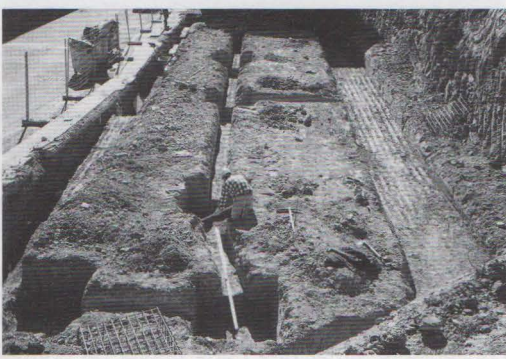


sometidas a pequeños asientos diferenciales o pequeños movimientos de desplazamiento del terreno. Es necesario establecer los procedimientos que lo eviten.



En las cimentaciones corridas que no están armadas, es conveniente coronarlas con un zuncho perimetral de hormigón armado, que actúe a modo de cinturón, a todo lo largo de la cimentación (a).

Si son zapatas aisladas armadas es conveniente unirlas entre ellas, especialmente las que están situadas en el perímetro del edificio, mediante barras horizontales de hormigón armado, denominadas vigas de atado o rios-tras (b).



Terreno sobre el que ya se han hecho las excavaciones para zapatas aisladas, rios-tras que las unen y cimentación del muro de contención de las tierras de la derecha.



### 3.3 Cimentaciones profundas

#### CARACTERÍSTICAS BÁSICAS

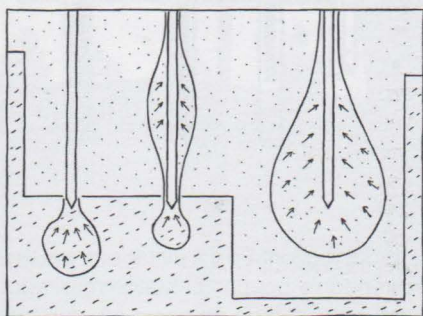
#### COMBINATORIA TIPOLÓGICA Y DESCRIPCIÓN DE TIPOS

- Pilotes de madera
- Pilotes de hormigón prefabricado
- Pilotes de hormigón in situ

#### ENCEPADOS

#### CARACTERÍSTICAS BÁSICAS

El pilote es como un pilar de considerable longitud, hincado en el terreno. Su eficacia depende de los posibles métodos de transmisión de las cargas:



- rozamiento y adherencia entre el terreno y el fuste del pilote, que, si es necesario, puede absorber tracciones (a),
- transmisión por punta, cuando ésta última está apoyada en una capa profunda de terreno resistente (c),
- la combinación de las dos (b).

La acción del terreno no se limita al rozamiento, sino que al envolver al pilote también impide que se deforme por pandeo. Si no se puede confiar en esta capacidad, el pilote deberá tener más sección.

Además de resolver la cimentación en terrenos deficientes pueden ser útiles cuando los cimientos estén sometidos a tracción, por ejemplo, en edificios altos sometidos a acciones de viento, o estructuras tensadas con cables.

#### COMBINATORIA TIPOLÓGICA Y DESCRIPCIÓN DE TIPOS

En una primera aproximación, los tipos existentes vuelven a ser consecuencia de combinar los materiales con los procedimientos de ejecución. Los materiales pueden ser madera, acero y hormigón armado. Los procedimientos, la hincia y el vaciado y relleno posterior.

La hincia se puede hacer con pilotes de madera, acero y hormigón prefabricado. El relleno del vaciado sólo con hormigón in situ.

Sin embargo, en la actualidad los pilotes de madera y de acero son muy poco frecuentes y el hormigón casi siempre se utiliza in situ. De manera que los tipos surgen más bien de las diferentes estratagemas que permiten la realización de éstos. Veámoslos, pero no antes de revisar someramente los tipos menos usuales.

#### Pilotes de madera

Ha sido el procedimiento histórico que ha permitido construir en terrenos fangosos o lacustres, como en Venecia. En general, los rollos de madera duran mucho tiempo si se mantienen permanentemente mojados o secos.

La hincia se realiza mediante golpeteo suave de una maza movida por el martinete.

El proceso de hincado produce también una compactación del terreno que puede hacerlo más resistente. De hecho, éste era un método histórico para mejorar terrenos flojos.

En la actualidad no es un procedimiento muy utilizado y sólo es rentable en construcciones sencillas, en lugares donde la madera es abundante.



### Pilotes de hormigón prefabricado

Se pueden considerar como una evolución lógica de los métodos históricos con madera en los que el material se sustituye por otro mucho más resistente, fiable y fácil de empalmar para alcanzar mayor profundidad. El procedimiento de hincas es el mismo, aunque puede ser mucho más potente, ya que el hormigón se refuerza con una punta de acero denominada azuche.

Los pilotes acostumburan a tener una longitud de 6 m, y a medida que se van hincando se empalman entre sí con uniones tipo caja y espiga o bayoneta.

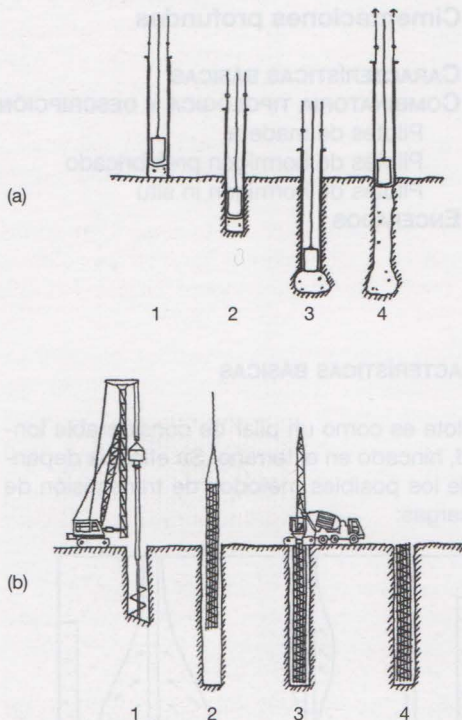
Al igual que los de madera, el proceso de hincado mejora la calidad del terreno.

Las ventajas de este tipo de pilotes sobre los de madera son evidentes; sobre los de hormigón in situ, son las habituales de cualquier elemento prefabricado –calidad del material garantizada, precisión dimensional, etc.– que en el caso de los pilotes se acrecienta ya que las incertidumbres de los procesos in situ de pilotaje son notables por las razones que se exponen en el siguiente apartado.

Los inconvenientes son consecuencia del proceso de puesta en obra, el hincado, que puede producir vibraciones y desarreglos importantes en edificaciones vecinas si el terreno es urbano. Si es así, el tipo de pilotaje debe ser alguno de los siguientes.

### Pilotes de hormigón in situ

El procedimiento genérico para realizar un pilote in situ consiste en la excavación en el terreno de un hueco en forma de pozo profundo que actúa como encofrado del pilote y en el que se introduce la armadura y el hormigón. Es obvio que esta operación puede presentar multitud de dificultades, como, por ejemplo, desprendimientos en terrenos flojos o entradas de corrientes de agua. Los diferentes procedimientos existentes para la realización de pilotes intentan evitar estas dificultades mediante estrategias adaptadas a cada tipo de terreno que se combinan con el proceso de colocación en el hueco de la armadura y el hormigón. Los más utilizados son los siguientes:



1) procedimiento para evitar que las tierras se desprendan y ocupen el hueco realizado:

- entubado o tubo de acero (a), que puede ser provisional, si una vez realizado el hueco se recupera, o permanente, en caso de que no se retire debido a la inestabilidad del terreno,
- lodos bentoníticos, que en determinados tipos de terreno actúan como sólidos e impiden el desprendimiento de tierras (b).

2) procedimiento de realización del vaciado o hueco que debe ocupar el hormigón:

- por desplazamiento a causa de la presión ejercida por un mazo que cae sobre el entubado, sea provisional o permanente, de base ciega o cerrada (a),
- por perforación mediante una hélice continua del diámetro del pilote (b).

En (a) se observan cuatro fases de un proceso genérico de entubado provisional: 1) posicionamiento y formación de la base que cierra el tubo, en este caso un tapón de gravas adhe-



rido, 2) hincado del tubo, 3) desprendimiento del tapón, 4) recuperación del tubo y hormigonado.

En (b) se observan: 1) perforación y al mismo tiempo un relleno de lodos bentoníticos que no se muestran en la figura, 2) colocación de la armadura, 3) hormigonado con extracción simultánea de los lodos, 4) pilote acabado.

Otros procedimientos se describen en las normas UNE que regulan tanto los pilotes in situ como los prefabricados: UNE-EN 1536, UNE-EN 12699 y UNE-EN 12794



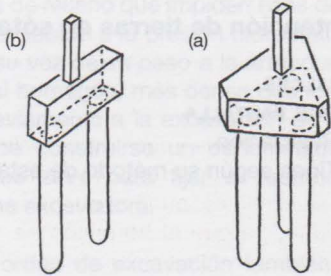
Perforación de un pilote.

ENCEPADOS

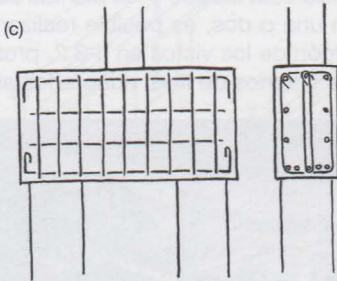
Debido a que los pilotes son elementos de poca sección y que precisamente trabajan sobre terrenos de resistencia deficiente, lo habitual es necesitar más de un pilote para poder transmitir la carga proveniente de cada uno de los pilares del edificio.

La disposición habitual es de dos (b), tres (a) o cuatro pilotes por cada pilar.

Es necesario, por lo tanto, disponer de un elemento que actúe de distribuidor de las cargas del pilar sobre los pilotes. Son los denominados encepados, que no son sino unas vigas de gran canto apoyadas en los pilotes que reciben una carga puntual en su centro.



Las cargas a que están sometidos requieren un canto muy grande y unas armaduras dispuestas convenientemente para absorber los esfuerzos de tracción y, especialmente, cortantes (c).



Las armaduras de espera de los pilares sobresalen de los encepados: los de la derecha sobre tres pilotes, los centrales sobre dos y los de la izquierda sobre uno.

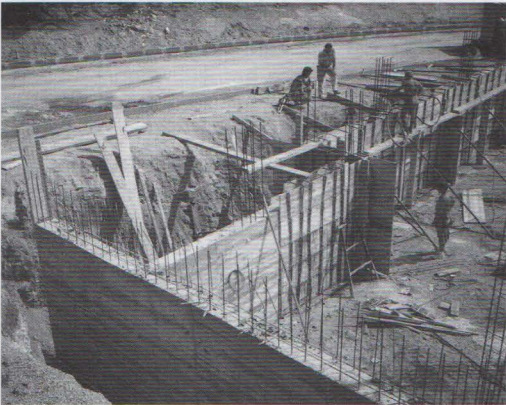


3.4 Contención de tierras en sótanos

RECALCES  
MUROS PANTALLA

Realización  
Tipos según su método de estabilidad

Es frecuente que los edificios dispongan de plantas subterráneas que requieran en su perímetro elementos de contención del terreno que los rodea. Las dificultades son mayores o menores dependiendo de dos factores clave: el número de plantas subterráneas y la situación urbana del edificio, aislado o entre medianeras. Si el edificio está aislado y las plantas subterráneas son una o dos, es posible realizar muros de hormigón de los vistos en II-3.2, protegidos según los criterios de III-6, adaptados al caso.

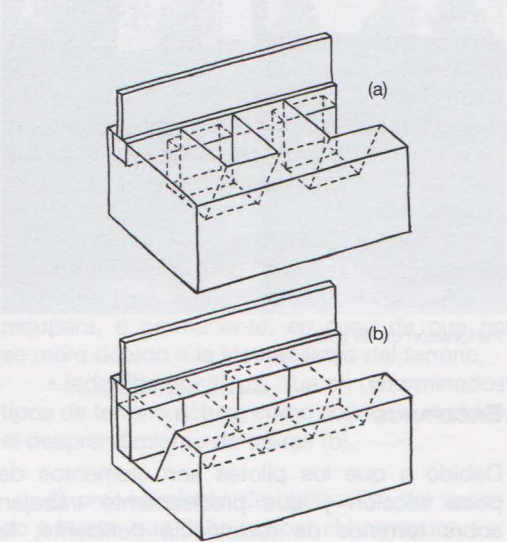


Muros de hormigón armado de una planta de aparcamiento semienterrado.

En la situación entre medianeras, las dificultades provienen de la imposibilidad de ocupar el terreno del vecino y la obligación de no producirle ningún tipo de daño a su edificio, en el caso de que esté construido, especialmente si lo está a la manera tradicional y sin plantas subterráneas. En este caso, es necesario realizar lo que se denomina un recalce, consistente en la realización de una nueva cimentación por debajo de la existente que alcance la profundidad necesaria.

RECALCES

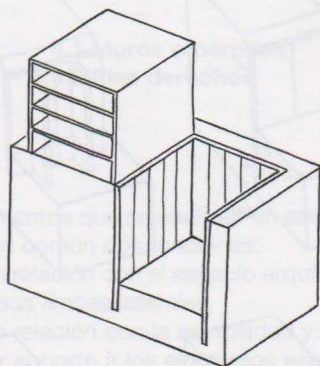
La excavación por debajo de los cimientos no debe hacerse de una vez –ya que éstos quedarían sin su elemento de sustentación– sino por tramos de alrededor de un metro de anchura. Es posible una realización simultánea en varios tramos de la cimentación, siempre que estén suficientemente separados. Cada uno de estos tramos se denomina batache.



En una primera fase (a) se excavan dos o más bataches separados entre sí una distancia suficiente para que el terreno que queda entre ellos dé soporte al cimiento no excavado. A continuación se realiza el recalce que prolonga el cimiento hacia abajo. Una vez se han endurecido los morteros u hormigones utilizados, se realiza la misma operación en los tramos no excavados antes (b). Posteriormente se excava todo el terreno sobrante.



## MUROS PANTALLA



Si la profundidad es mucho mayor, por ejemplo, cuatro o cinco plantas subterráneas en vez de una planta como en el caso anterior, es preciso ir a los denominados muros pantalla. Su espesor es de 60 a 80 cm y se diferencian de los muros de contención vistos en II-2.1 en que, al igual que los pilotes, es el propio terreno excavado el que actúa como encofrado del muro. Pero, a diferencia de los pilotes, en los que el terreno queda como encofrado perdido, en el caso del muro pantalla ese terreno es preciso eliminarlo porque tal es la finalidad del muro.

Estas cuestiones nos anuncian cuáles son las dificultades de su concepción y realización.

Generalmente, los muros pantalla sirven también como cimentación de la parte de la estructura perimetral del edificio que se sitúa sobre ellos. Por esta razón, pueden considerarse como un caso particular de cimentaciones profundas.

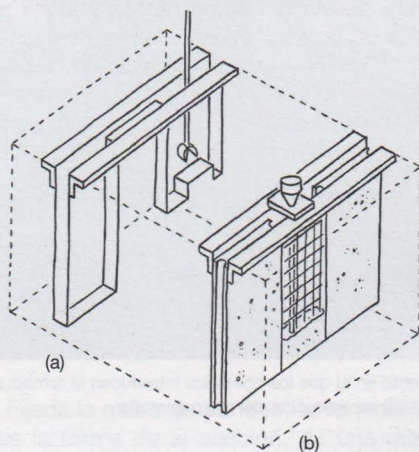
### Realización

Las dificultades de excavación ya citadas para los pilotes se hacen todavía más importantes en este caso. La excavación es muy profunda y estrecha y, si el terreno no es excesivamente coherente, es fácil que se produzcan desprendimientos que impidan la colocación de la armadura y el correcto hormigonado posterior. Uno de los procedimientos es la utilización de lodos bentoníticos que, si bien son líquidos, tienen la particularidad de que actúan como ele-

mentos de relleno que impiden esos desprendimientos debido a la presión hidrostática; lodos que a su vez dejan paso a la armadura y, después, al hormigón, más denso que los lodos.

Previamente a la excavación de los paneles debe construirse un denominado murete guía que sirve para fijar el recorrido de la máquina excavadora.

El orden de excavación también se tiene que hacer por el procedimiento denominado anteriormente por damas o bataches, a fin de evitar que la excavación total del muro provoque el desprendimiento generalizado del terreno vecino. El proceso de ejecución queda expresado en las figuras adjuntas.



En una primera fase (a), se procede a la excavación de las damas impares -1, 3, 5, etc.- la colocación en ellas de las armaduras y el hormigón. Una vez endurecido éste, se realiza la operación en las damas pares (b).

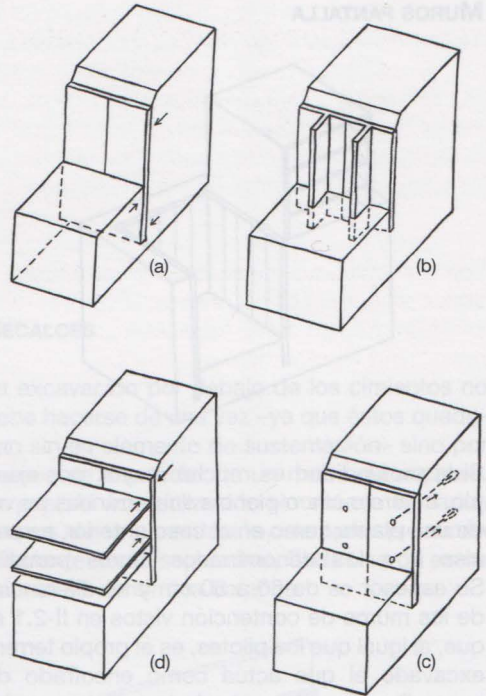
Para formar las juntas entre los diferentes tramos se utilizan tubos, tubos con aletas o planchas metálicas, para conseguir la continuidad mecánica del muro una vez hechas todas las damas.

Finalmente se procede a descabezar los últimos 50 cm de las pantallas, para dejar al descubierto las armaduras y eliminar el hormigón de mala calidad que queda en la parte superior. A continuación se arma una viga cadena longitudinal, en general de un gran canto (1 m), en la cual se dejan los anclajes de los soportes verticales de la estructura del edificio superior.





Momento en el que los operarios introducen la armadura del tramo en ejecución del muro pantalla.



Una vez acabado el muro y realizado un primer rebaje de tierras, la perforadora está preparando el anclaje del muro al terreno.

**Tipos según su método de estabilidad**

El muro pantalla ha de aportar la necesaria indeformabilidad a la flexión originada por los empujes que recibe del terreno vecino.

Si se acepta una cierta deformación porque no existen edificaciones colindantes, cabe la posibilidad de utilizar el denominado sistema autoportante, en el que la pantalla actúa como una ménsula empotrada en el terreno (a).

Si no es así, será necesario disponer de algún procedimiento complementario que impida esa deformación, como, por ejemplo, contrafuertes (b) o anclaje en el terreno vecino (c). Normalmente, una vez contruidos, los forjados de las plantas subterráneas son los encargados de arriostrar definitivamente los muros pantalla (d).



TEMA 4. Elementos verticales

- 4.1 Muros o paredes
- 4.2 Pies derechos

Los elementos que se analizan en este capítulo tienen en común dos funciones:

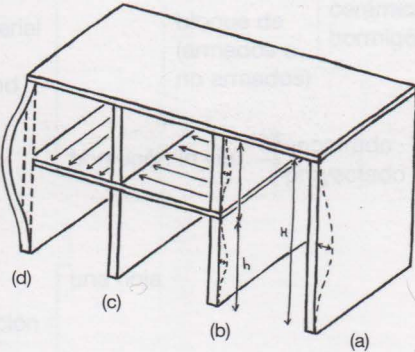
- en relación con el espacio arquitectónico, marcar sus límites laterales,
- en relación con la estabilidad y la integridad, dar soporte a los elementos estructurales horizontales y transmitir sus cargas hasta el terreno.

Tal como se expone en I-2 (p. 34 y ss.) la excesiva esbeltez de un elemento vertical es uno de sus principales puntos débiles. Sólo hay dos procedimientos para evitarla:

- disminuir la altura,
- aumentar el grueso o la inercia respecto de su eje.

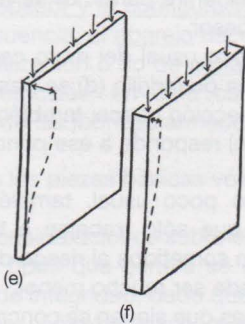
En consecuencia, las dos variables morfológicas fundamentales de un elemento vertical son:

- su altura de pandeo o separación en vertical entre elementos horizontales que le impiden pandear, y
- su sección horizontal.



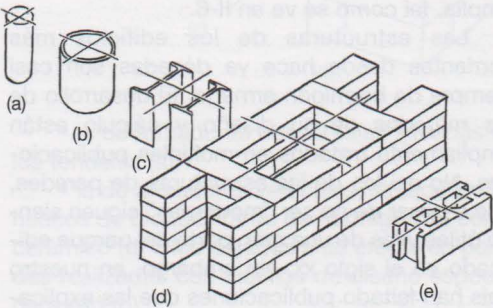
A mayor separación entre elementos horizontales, mayor es la deformación lateral; la de (a) es mayor que la de (b). Se ha de estar seguro de que los elementos horizontales aportan un punto de unión que impide la deformación por pandeo. Habitualmente es así (a), (b) y (c), pero pueden existir delimitadores horizontales

intermedios no unidos al elemento vertical y que la altura de pandeo sea suma de dos o más alturas de espacios (d).



En el caso poco usual en el que no exista ningún tipo de unión en la parte superior (e), la deformación por pandeo es todavía mayor, y sólo el aumento del espesor o la inercia disminuye esa deformación (f).

Fijada la altura de pandeo, la variable básica es la forma de la sección, de una manera parecida al caso de la flexión. Tal como se expone en II-5, en este caso la clave reside en que la superficie de la sección se aleje en vertical lo máximo posible del eje de la pieza. En el caso de pilares, columnas o pies derechos, para evitar el pandeo o flexión lateral, la clave es la misma pero aplicada a todas las direcciones.





De manera que, a igualdad de masa o superficie de sección, la forma más favorable es la de la corona circular, que se consigue con un pilar cilíndrico hueco (b), y la que menos, la circular llena (a).

La confrontación de esta ley de la Mecánica con las posibilidades formales y técnicas de los materiales resistentes nos lleva a que sólo en el caso del acero podamos hacer secciones huecas (c), aunque casi nunca cilíndricas. Si la sección es llena –es decir, de hormigón armado, madera, ladrillo– la clave es el diámetro o la distancia menor entre caras. Si se trata de un muro es el espesor.

El caso poco usual del muro capuchino o muro diafragma de ladrillo (d) se basa también en la idea de sección hueca; también el bloque de hormigón (e) responde a ese principio.

Si bien es poco usual, también pueden darse pilares que sólo trabajen a tracción y, como no están sometidos al riesgo de pandeo, la sección puede ser mucho menor.

En las líneas que siguen se concretan estas ideas para cada uno de los tipos.

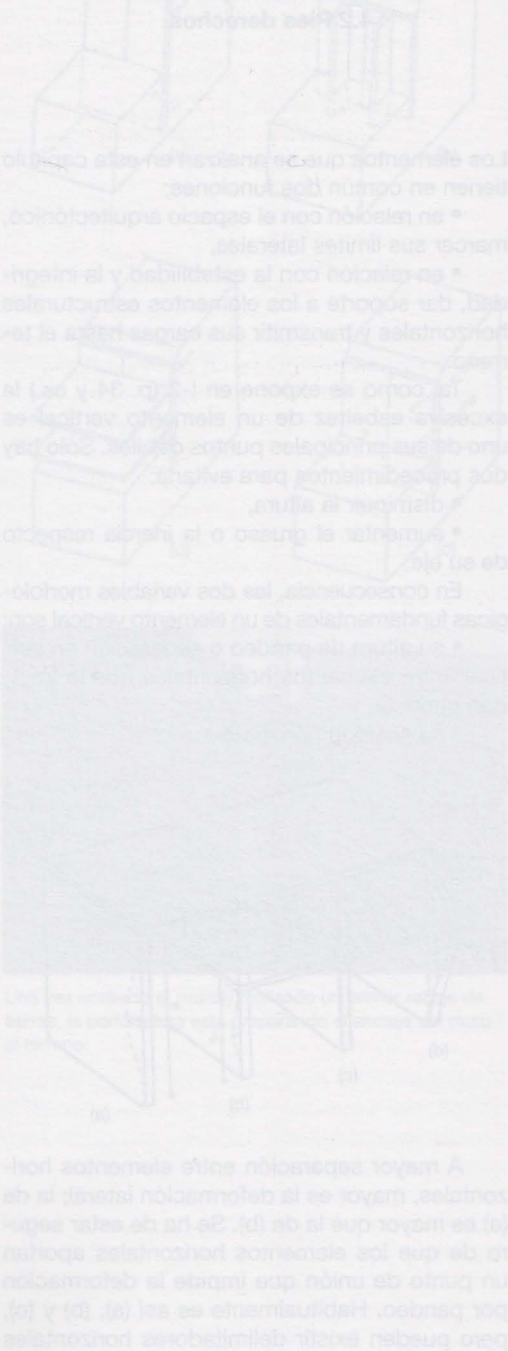
El primer tema analiza las paredes o muros como elementos aislados, pero que casi siempre forman, combinándose entre sí, una estructura de muros, tal como se expone en II-6.

El segundo, los elementos verticales con una dimensión dominante vertical, en forma de pilar, pie derecho o columna, que también podemos denominar soportes. Casi siempre forman parte de una estructura en la que se integran con jácnas para formar pórticos o bien, si el forjado es reticular o losa maciza, directamente sobre éste a través del ábaco.

La combinatoria posible entre jácnas, soportes, forjados y muros es notablemente amplia, tal como se ve en II-6.

Las estructuras de los edificios más corrientes desde hace ya décadas son casi siempre de hormigón armado. El desarrollo de los métodos de su diseño y cálculo están ampliamente tratados en múltiples publicaciones. No así los de las estructuras de paredes, que a pesar de no ser “modernas” siguen siendo útiles y las de una gran parte del parque edificado en el siglo xx; sin embargo, en nuestro país han faltado publicaciones que las explica-

ran bien. Por ello se ha creído conveniente dar algo más de extensión a su desarrollo, que, no obstante, dista muchísimo del que requiere un estudio completo.





4.1 Muros o paredes

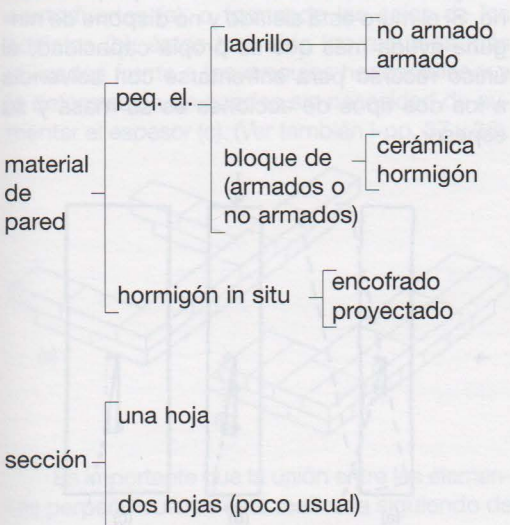
COMBINATORIA TIPOLÓGICA Y DESCRIPCIÓN DE TIPOS  
PRESTACIONES Y CRITERIOS DE DISEÑO DE PAREDES DE LADRILLO

- Adecuación al espacio y capacidad portante
- Influencia de la forma
- Influencia de la fábrica
- Capacidad portante resultante
- Fábrica armada

COMBINATORIA TIPOLÓGICA Y DESCRIPCIÓN DE TIPOS

Se puede considerar la tipología de muros o paredes portantes como un caso particular de la expuesta en III-7.2, limitada a los casos portantes. Por un lado tenemos los muros de obra de fábrica y, por otro, los prefabricados.

En los primeros, desde el punto de vista de esta tema estructural, los tipos surgen de considerar prácticamente sólo el material, ya que la sección, si exceptuamos el muro capuchino, es siempre de una hoja, lo cual da lugar al siguiente cuadro:



Para los **pequeños elementos**, los tipos surgen de combinar a su vez:

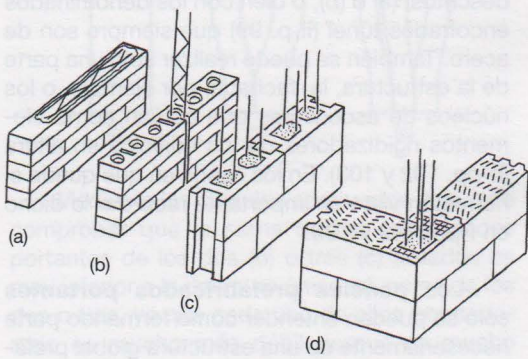
- la pieza básica, ladrillo en sus diversas variantes, bloques de hormigón o bloques de cerámica,

- el espesor y la configuración del muro y, en consecuencia, el aparejo necesario, y
- la utilización o no de armaduras horizontales o verticales; en este caso estaríamos hablando de las fábricas armadas.

Sobre las piezas básicas véase III-7.2.

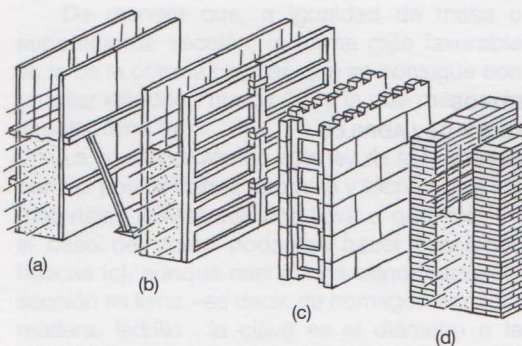
Las consideraciones sobre el espesor y los diferentes tipos que genera se exponen en el apartado de integridad, dado que el espesor es una de las variables clave que determina la capacidad portante de la pared.

Si bien en la actualidad, en nuestro país, no es frecuente armar las fábricas, es conveniente destacar que existen dos tipos básicos de fábrica armada:



- la de armaduras horizontales situadas en los tendeles (a),
- la de armaduras verticales, situada en los huecos de bloques tanto de hormigón (c) como cerámico (d) o los dejados a tal efecto en paredes realizadas con ladrillos de diseño especial para ello (b).





Si el material es el **hormigón armado in situ** hecho con **encofrado**, las variantes surgen de los diversos tipos de encofrados de madera (a) o metálicos (b), que normalmente se retiran después de fraguar, o de otros materiales que pueden quedar formando parte del muro como encofrados de poliestireno expandido (c) que actuarán como aislante térmico. Un caso particular poco usual es el muro cuyos dos encofrados son paredes de ladrillo (d), que obviamente no se desmontan, y se suele denominar muro romano, aunque en realidad tenga poquísimo que ver con el que se hacía en la Roma imperial.

Es posible realizar estructuras completas con los encofrados usuales de los tipos antes descritos, (a) o (b), o bien con los denominados encofrados túnel (II-p. 99) que siempre son de acero. También se puede realizar sólo una parte de la estructura, la fachada, por ejemplo, o los núcleos de ascensores que actúan como elementos rigidizadores de los edificios en altura (II-pp. 102 y 103). En los casos en que quede el hormigón visto es importante recordar lo dicho en I-pp. 142 y 196.

Los **paneles prefabricados portantes** sólo se pueden entender como formando parte necesariamente de una estructura global prefabricada sobre la que se aporta alguna indicación en II-6.1.

El material que más se utiliza en la actualidad, y en nuestro pasado más cercano, para construir estructuras de paredes es el ladrillo. Por esta razón, limitaremos a este caso el estudio de estas estructuras.

## PRESTACIONES Y CRITERIOS DE DISEÑO DE PAREDES DE LADRILLO

### Adecuación al espacio y capacidad portante

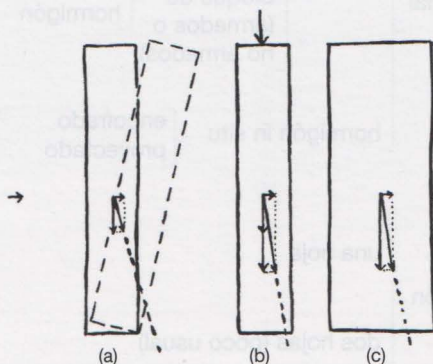
#### Influencia de la forma

A diferencia de los pilares, que necesitan de cerramientos adicionales, las paredes portantes tienen a su cargo crear los límites horizontales del espacio mismo. Las variables que, dependiendo del espacio, influyen en el comportamiento mecánico de las paredes son dos:

- la que es común a los pilares, es decir, su altura libre de pandeo, y
- su configuración general en planta, pared aislada, dos paredes formando ángulo, cajas, etc.

Las dos son consecuencia directa del espacio que conforman, su altura y forma en planta.

Consideremos inicialmente la pared aislada. Puede estar sometida a dos tipos de acciones, la vertical, proveniente de elementos superiores a la que se añade su propio peso, y la horizontal, debida a cualquiera de las causas ya citadas, viento, sismo o el propio usuario. Si el muro está aislado y no dispone de ninguna ayuda más que su propia capacidad, el único recurso para enfrentarse con solvencia a los dos tipos de acciones es su masa y su espesor.

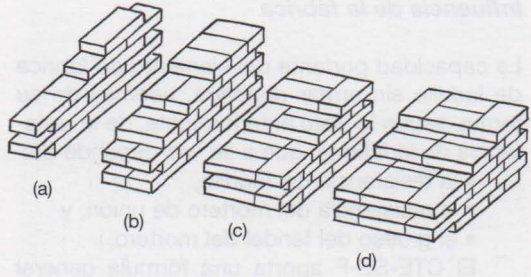


Frente a la acción horizontal perpendicular a su plano es imprescindible que la resultante de aquella y su propio peso caiga dentro del tercio central o quizá un poco fuera de él si podemos disponer de una cierta reserva de resistencia a tracción. Si no es así, volcará (a). Es decir,



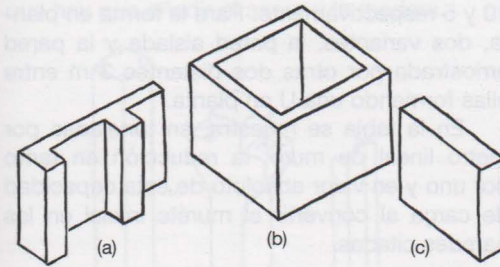
el aumento de la fuerza horizontal requiere el aumento del espesor (c). Si el muro forma parte de un edificio y está cargado, la resultante se acercará más al eje de la pieza (b).

Una precaución previa para las cargas verticales consiste en repartirlas sobre el muro que las tensiones no alcancen las de rotura en ningún punto. Si la acción dominante es vertical, supuesta bien repartida, un mecanismo de rotura es la deformación por pandeo y, frente a esta posibilidad, el espesor vuelve a ser su procedimiento más seguro. Sin embargo, al ser el método más caro, no es el más utilizado.

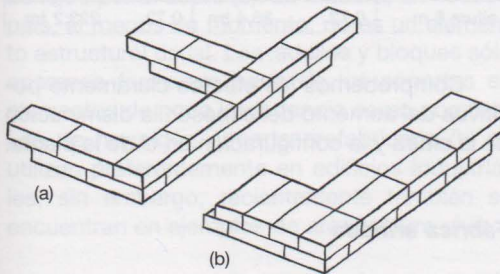
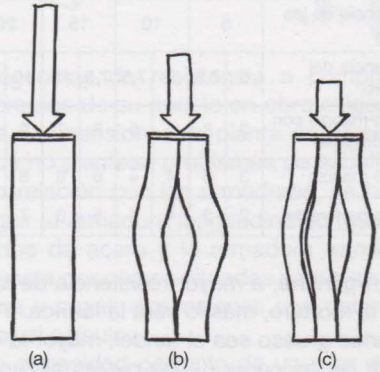


Por las razones expuestas en I-2, p. 36, si el espesor necesario es el ancho de la pieza, la pared deberá realizarse según el aparejo de sogas (a); si es de un pie, el aparejo necesario será el flamenco (b) u otro del mismo tipo; y si es todavía mayor, los de las figuras (c) o (d).

La razón clave de todos estos aparejos es conseguir que el grosor sea efectivamente la suma total y no que actúe como si no fuera un muro, sino dos o tres.



Las paredes en pocas ocasiones se realizan aisladas, sino que se completan mediante contrafuertes (a), o formando las cajas de los edificios (b); éstos han sido los recursos más utilizados frente a los empujes horizontales y a la deformación de pandeo sin necesidad de aumentar el espesor (c). (Ver también I-pp. 37 y 38).



Es importante que la unión entre los elementos perpendiculares esté realizada siguiendo de una manera rigurosa las leyes de traba, para que puedan considerarse como dos elementos solidarios entre sí. Si es de medio pie, según (a) y si es de un pie según (b). Y es conveniente que las dos tengan cargas parecidas, ya que si las tensiones son muy diferentes se puede producir una rotura por esfuerzo cortante.

Mediante los cálculos adecuados se puede comprobar que la suma de las capacidades portantes de los dos (b) o tres (c) aislados es muy inferior a la del muro único (a), suma de los dos o tres, ya que cada uno de ellos por separado es mucho más débil porque es mucho más esbelto.

Si el espesor ha de ser todavía mayor, el camino es recurrir al ya citado muro capuchino, cuya configuración constructiva ha de asegurar fehacientemente que las dos hojas estén unidas entre sí mediante los elementos transversales.



**Influencia de la fábrica**

La capacidad portante del elemento de fábrica de ladrillo sin armar depende, además de su forma, según lo visto anteriormente, de la resistencia de la fábrica, que a su vez depende de:

- la resistencia del ladrillo,
- la resistencia del mortero de unión, y
- el grueso del tendel del mortero.

El CTE-SE-F aporta una fórmula general que relaciona esas variables con algunas condiciones:

- la resistencia del mortero debe ser inferior a 0,75 la de la pieza,
- para las juntas normales entre piezas se puede optar por un valor entre 8 y 15 mm,
- para las juntas delgadas, entre 1 y 3 mm,
- sólo se pueden considerar juntas delgadas si las piezas son macizas y sus tolerancias dimensionales muy estrictas.

Simplificadamente se expresa en la tabla (todos los valores están en N/mm²).

| resistencia de las piezas         | 5 |     | 10 |     | 15  |    | 20 |    | 25 |
|-----------------------------------|---|-----|----|-----|-----|----|----|----|----|
| resistencia del mortero           | 5 | 7,5 | 5  | 7,5 | 7,5 | 10 | 10 | 15 | 15 |
| ladrillo macizo con junta delgada | 3 | 3   | 5  | 5   | 7   | 7  | 9  | 10 | 11 |
| ladrillo macizo                   | 3 | 3   | 4  | 4   | 6   | 6  | 8  | 8  | 10 |
| ladrillo perforado                | 2 | 3   | 4  | 4   | 5   | 6  | 7  | 8  | 9  |

En general, a mayor resistencia de las piezas y el mortero, más lo será la fábrica. Y cuanto menos grueso sea el tendel, mayor la contribución de las caras de las piezas al zunchado del mortero y menor la posibilidad de rotura.

**Capacidad portante resultante**

Finalmente, en este apartado veremos cómo se relacionan forma y material cuantitativamente. Supongamos un murete de 15 cm de espesor, tan bajo que no le afecta la esbeltez (por ejemplo, de 1 m de altura), y construido con una fábrica de 8 N/mm² de resistencia. La capacidad portante de un tramo de un metro de largo es de 1.000 mm × 150 mm × 8 N/mm² = 120 t. Si el espesor pasa a ser el doble, la capacidad también será el doble, 240 t.

Si se construye de 3 m de altura, no puede aplicársele tanta carga porque se rompería por pandeo, su capacidad portante es menor. Si alcanza los 6 m de altura, todavía es menor o nula. Pero si se arriostra con otros dos muros separados entre sí sólo 3 m, se reduce el riesgo de pandeo y su capacidad aumenta.

Veámoslo con números, combinando la resistencia de la fábrica, la esbeltez y la forma en planta, aplicando los criterios del CTE-SE-F.

Para la esbeltez consideramos cuatro variantes: los dos espesores habituales, 15 cm y 30 cm, y dos alturas: 3 m y la no usual pero posible de 6 m, con unas esbelteces de 40, 20, 10 y 5 respectivamente. Para la forma en planta, dos variantes, la pared aislada y la pared arriostrada por otras dos distantes 3 m entre ellas formando una U en planta.

En la tabla se muestra, en toneladas por metro lineal de muro, la reducción en tanto por uno y en valor absoluto de esta capacidad de carga al convertir el murete inicial en las paredes citadas.

| pared aislada | de 15 cm |          | de 30 cm |           |
|---------------|----------|----------|----------|-----------|
| altura 1 m    | 1        | 120 t/m  | 1        | 240 t/m   |
| altura 3 m    | 0,72     | 86,4 t/m | 0,93     | 223,2 t/m |
| altura 6 m    | 0        | 0,0 t/m  | 0,72     | 172,8 t/m |

| planta en U | de 15 cm |           | de 30 cm |           |
|-------------|----------|-----------|----------|-----------|
| altura 3 m  | 0,93     | 111,6 t/m | 0,99     | 237,6 t/m |
| altura 6 m  | 0,72     | 86,4 t/m  | 0,72     | 223,2 t/m |

Comprobemos los efectos claramente positivos del aumento del espesor, la disminución de la altura y la configuración en U de la planta.

**Fábrica armada**

Todas estas consideraciones cambian notablemente si la fábrica dispone de armaduras. El anclaje en la cimentación y la continuidad de las mismas en vertical confieren una capacidad mucho mayor a los esfuerzos horizontales. Si se trata de armaduras situadas en los tendeles, además es posible realizar grandes paramentos sin riesgo de fisuras de retracción, o muros con grandes vanos, o en general formas imposibles de realizar sin armar la fábrica (II-6.1).



## 4.2 Pies derechos

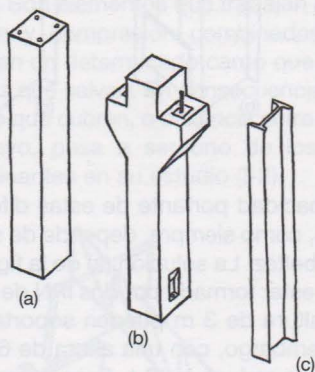
### DESCRIPCIÓN DE TIPOS

Hormigón armado in situ

Acero

### DESCRIPCIÓN DE TIPOS

Los materiales para realizar los soportes son los mismos que ya vimos en los muros, a los que hay que añadir el acero y la madera.

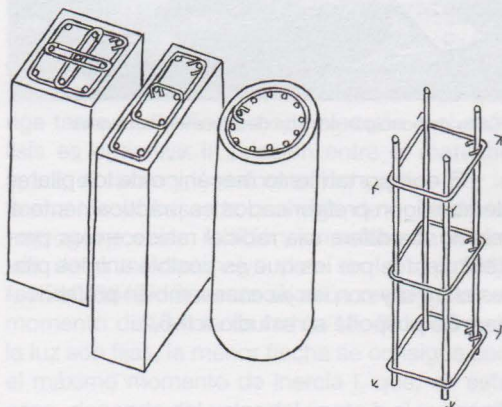


Sin duda, el que más se utiliza es el hormigón armado in situ con encofrados (a), seguido de lejos por el acero (c). La madera, en nuestro país, al menos de momento, no es un elemento estructural usual. Los ladrillos y bloques sólo aparecen formando parte de los soportes en elementos de poca importancia como porches. Los de hormigón armado prefabricado (b) se utilizan preferentemente en edificios industriales, sin embargo, recientemente también se encuentran en ejemplos de arquitectura civil.

Nuestra atención se centra ahora en los de hormigón y acero. Los diferentes tipos de cada uno de éstos surgen de las diferentes estrategias para reducir el riesgo de pandeo.

### Hormigón armado in situ

En el caso del hormigón, para las alturas habituales entre tres y cinco metros, normalmente



las exigencias de resistencia a compresión, y las propias de su puesta en obra exigen diámetros o dimensiones en planta de las secciones que no plantean problemas de esbeltez.

En relación con las armaduras, se han de distinguir la armadura longitudinal formada por redondos de acero y la armadura transversal compuesta por cercos situados según se ve en la figura y cuyas dimensiones son determinadas por el cálculo.

La capacidad portante de un pilar de una altura moderada es proporcional a la sección y la resistencia del hormigón. La resistencia del hormigón depende en un porcentaje muy alto del tipo y cantidad de cemento que contiene; en la actualidad se están trabajando con hormigones que deben resistir unos  $200 \text{ kg/cm}^2$ , y con una preparación cuidadosa se puede llegar a los  $500 \text{ kg/cm}^2$  o más.

Las dimensiones mínimas de un pilar son  $30 \times 30 \text{ cm}$ , pero pueden tener cualquier valor,  $30 \times 50$ ,  $30 \times 100$ ,  $40 \times 60$ , etc., o circular de cualquier diámetro. Sólo depende de si disponemos del encofrado adecuado. Una de las características dominantes de los pilares de hormigón armado in situ es esa libertad formal.





Pilares de hormigón armado de diferentes secciones.

El comportamiento mecánico de los pilares de hormigón prefabricados es prácticamente el mismo. La diferencia radical reside en los procedimientos por los que es posible unir los pilares entre sí y con las jácenas también prefabricadas. Se pospone su estudio a II-6.2.

## Acero

Los pies derechos realizados con acero plantean problemas bien diferentes. Por su alta resistencia, si sólo se considera la tensión de compresión, con muy poco material es capaz de soportar grandes cargas, y esa falta de sección puede producir fácilmente la flexión lateral.

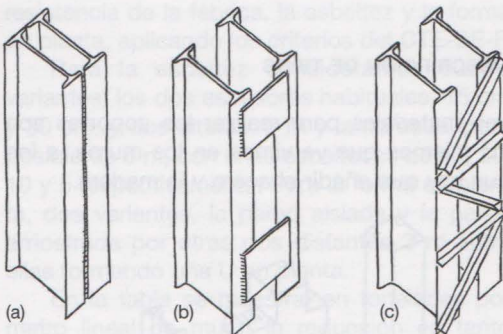
La solución pasa por la disposición lo más alejada posible del centro de gravedad de la superficie necesaria para la carga gravitatoria.

Dejando de lado los pilares circulares por poco usuales, las secciones de pilares son casi siempre o bien los propios perfiles, o bien secciones de forma más o menos rectangular. En este caso el pandeo se producirá según el eje del lado menor.

De este modo, la forma más rentable es la cuadrada ya que los dos momentos de inercia menores son iguales. Cuanto más se acerque nuestra sección a un cuadrado, más económica será. Los únicos perfiles simples que reúnen esta condición son los perfiles en H. Si éstos son insuficientes, se debe recurrir a perfiles compuestos a partir de los simples, buscando que los dos momentos de inercia sean lo más parecidos posible y que su ejecución sea sencilla.

Un primer grupo lo forman los que se pueden hacer sin elementos de enlace (a), sólo con soldadura entre los perfiles.

Un segundo grupo, formado por los que se consiguen mediante perfiles enlazados con elementos transversales denominados presillas (b) o por perfiles formando triangulaciones (c).



La capacidad portante de estas diferentes soluciones, como siempre, depende de su inercia y su esbeltez. La solución (a) de la figura, en el caso de estar formada por dos IPN de 26 cm, para una altura de 3 m pueden soportar unas 150 t; sin embargo, con una altura de 6 m esa capacidad se reduce a 90 t. Esas mismas IPN adoptando la figura (b), separados sus ejes 20 cm, con lo cual tiene mucha más inercia, y en un pilar con una altura de 3 m, pueden soportar 320 t y con 6 m de alto, 240 t.

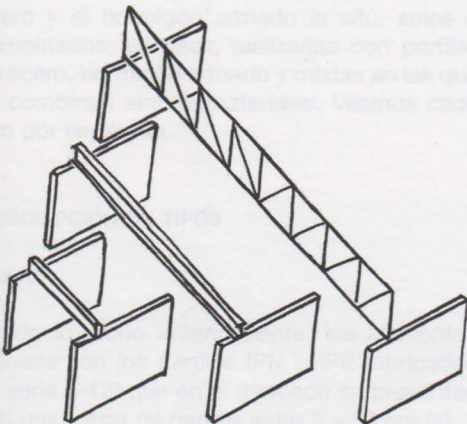
En relación con la durabilidad, como ya se ha indicado (I-11 y I-9), el límite que afecta al acero es la corrosión y su falta de resistencia al fuego. Sólo en aquellos casos en que queda fuera de su alcance y es previsible un mantenimiento riguroso, cabe exhibir los elementos lineales de acero en la composición arquitectónica. En II-6.2 se exponen los procedimientos habituales de protección contra el fuego.



TEMA 5. Elementos horizontales

- 5.1 Vigas o jácenas de forjados
- 5.2 Forjados
- 5.3 Elementos portantes de cubiertas ligeras

Los elementos que se analizan en este tema, más que la horizontalidad, tienen en común el hecho de resolver el problema de cubrir o franquear el espacio que han delimitado los elementos verticales sobre los cuales se han de apoyar. Son elementos que trabajan a flexión, o tracción y compresión combinadas, y todos requieren un determinado canto que es función de la luz que salvan. En consecuencia, la luz del espacio que cubren, o distancia entre los puntos de apoyo, pasa a ser uno de los aspectos determinantes en su estudio (I-2).

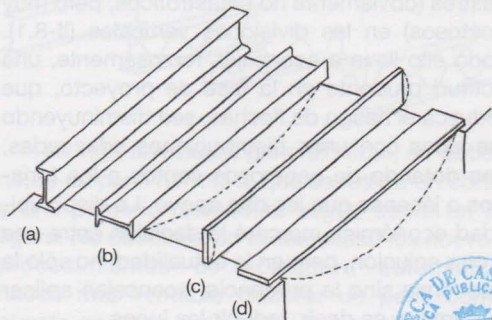


El primero y el segundo subtemas analizan los elementos con luces moderadas entre 4 y 15 metros, sobre los que pueden actuar las sobrecargas de los usos habituales. Pueden ser lineales, como jácenas o vigas, o superficiales, los forjados, que constituyen el elemento portante de los delimitadores horizontales que hemos denominado entresijos (II-7). Entre los forjados se han de considerar los elementos resistentes de las escaleras que sin ser horizontales responden al mismo tipo de requerimientos que todos los anteriores. Lógicamente,

los forjados pueden ser a su vez soporte de cubiertas inclinadas o planas, pesadas o con grandes sobrecargas, pero luces moderadas.

En todos los casos, el criterio básico que rige tanto el diseño como la elección o el análisis es optimizar la relación entre el material, la luz, el canto y la deformación medida por la flecha. En el caso de una viga de un material homogéneo esta relación se establece a través de la expresión (ya vista en I-11, p.136),  $f = 5ql^4/384IE$ . Si es de sección rectangular, el momento de inercia es  $I = h^3b/12$ . Si la carga y la luz son fijas, la menor flecha se consigue con el máximo momento de inercia  $I$ , que, en este caso, depende del valor del canto  $h$  al cubo; de ahí la importancia de dicho canto.

Si el material es el acero, la sección de la viga más adecuada es la del perfil denominado en I (sea IPN o IPE), que consigue, para un material dado, el máximo momento de inercia (véase I-2, p.41). Así, por ejemplo, una viga de IPN de canto 20 cm (con una sección de 33,4 cm<sup>2</sup>) colocada en vertical tiene un momento de inercia de 2.140 cm<sup>4</sup> (a), tumbada 117 cm<sup>4</sup> (b), y un perfil rectangular de 20 × 1,67 cm de misma sección tiene 1.113 cm<sup>4</sup> (c), si se coloca vertical y sólo 7,76 cm<sup>4</sup>, si se coloca tumbado (d).





El tercer subtema estudia los elementos que sostienen las cubiertas de espacios con luces comprendidas entre 10 y 80 m, que, inclinadas o planas, se resuelven con soluciones preferentemente ligeras para conseguir cargas por peso propio reducidas. Por esta misma razón dichas cubiertas no son accesibles más que para mantenimiento, y las únicas sobrecargas son las de viento o nieve, siempre pequeñas si se comparan con las que afectan a los forjados intermedios de los edificios.

La relación entre la deformación y el canto en las cerchas, en las vigas en celosía, en las vigas llenas de hormigón armado o en los forjados no se rige por una fórmula tan sencilla como la de la sección rectangular anterior, aunque conceptualmente es similar; de una manera u otra, el factor clave es el canto de estos elementos, que es la variable, que aporta el momento de inercia máximo y, en consecuencia, la deformación mínima. Sin entrar en las fórmulas o cálculos que permiten valorar en cada caso esa relación, en los siguientes temas esta idea está siempre presente.

Para acabar esta introducción, no está de más hacer una sencilla referencia, que completa el complejo panorama del comportamiento de los elementos horizontales, a un hecho que afecta especialmente a los construidos en hormigón armado.

Se debe distinguir entre la flecha instantánea y la diferida. La primera se produce en el momento de la entrada en carga inicial y la segunda es la que se puede producir de manera lenta, pero continua, durante 10, 15 o 20 años después de la construcción. Los métodos de cálculo actuales no permiten evaluar con suficiente aproximación los valores de esta segunda deformación, que produce auténticos desastres (obviamente no catastróficos, pero muy costosos) en las divisiones verticales (II-8.1). Todo ello lleva a aconsejar, forzosamente, una actitud prudente en la fase de proyecto, que reduzca el riesgo de flechas, sea disminuyendo las luces con unas distribuciones adecuadas, sea dotando de generosos cantos a los forjados o jácenas que les dan apoyo. La disponibilidad económica marcará la decisión entre una u otra solución, pero en la actualidad, no sólo la economía sino la prudencia, aconsejan aplicar la primera, es decir, reducir las luces.



5.1 Vigas o jácenas de forjados

COMBINATORIA TIPOLÓGICA

DESCRIPCIÓN DE TIPOS

- Acero
- Hormigón armado in situ
- Vigas mixtas

PRESTACIONES Y CRITERIOS DE ELECCIÓN

- Adecuación al espacio

COMBINATORIA TIPOLÓGICA

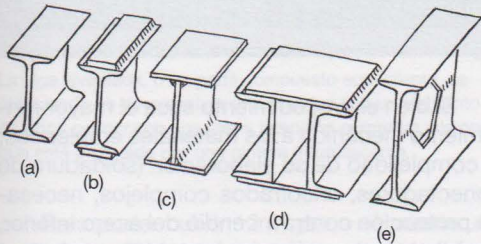
Se incluyen en este apartado las jácenas o vigas que sirven de apoyo a forjados. Generalmente, tienen luces moderadas (hasta 10-15 m) y están sometidos a cargas mayores que las de los elementos de cubierta. Los diferentes modos de entregarse o unirse los forjados a sus jácenas de apoyo se exponen en II-5.2.

Los tipos de jácenas existentes en los edificios habituales surgen de la utilización del acero y el hormigón armado in situ, solos o combinados, es decir, realizadas con perfiles de acero, hormigón armado y mixtas en las que se combinan ambos materiales. Veamos cada uno por separado.

DESCRIPCIÓN DE TIPOS

Acero

Según lo dicho anteriormente, los elementos idóneos son los perfiles IPN o IPE fabricados en serie (I-13) que en el mercado se presentan con una oferta de cantos entre 8 y 50 cm (a).



Si ocurre que estos perfiles en serie no se adaptan a nuestras necesidades, podemos elaborar perfiles compuestos, cuyos elementos

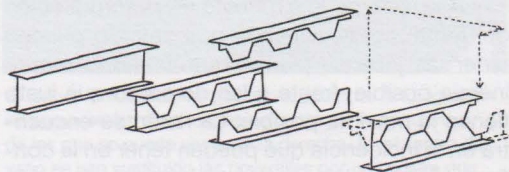


Vigas de acero de una pasarela.

básicos se unen entre sí mediante soldadura (b, c, d, e). La gama posible es ilimitada.

Para disminuir el peso propio al máximo o para facilitar el paso de las instalaciones en un falso techo, podemos obtener una inercia adaptada a nuestras necesidades con vigas de alma calada por dos procedimientos:

- vigas alveoladas, denominadas también Boyd (e);
- vigas en celosía, iguales a las de cubiertas pero más pequeñas.



La viga alveolada, generalmente, se obtiene de un perfil normal al que se realiza un corte y una posterior soldadura según se ve en la figura. No obstante, en la actualidad los nuevos procedimientos de soldadura automática hacen más rentable elaborar un perfil compuesto por tres pletinas soldadas (c); los hue-

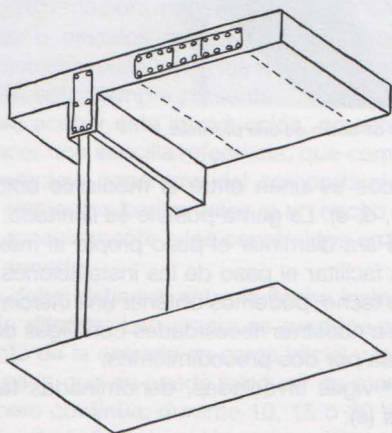


cos, si se necesitan, pueden tener cualquier forma, circular, etc. (también hexagonal, claro), mientras no disminuyan las características mecánicas del perfil.

### Hormigón armado in situ

En general, podemos encontrar dos tipos de jácenas de hormigón armado: de canto o planas.

Las denominadas de canto o descolgadas tienen la mayor dimensión en vertical, de ahí el nombre. Las planas han de quedar embebidas en el forjado, sin sobresalir por debajo. Como el canto es forzosamente pequeño, ha de aumentar la dimensión lateral para poder ubicar el máximo número de redondos de armadura para conseguir la inercia necesaria y de ahí esa sobreanchura que lleva a calificarla de "plana".

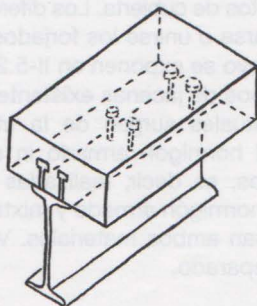


A la vista de lo expuesto en la introducción del tema, no se entiende qué sentido pueden tener las jácenas planas que tienen la menor inercia posible, frente a las de canto que justo tienen la máxima posible. La razón se encuentra en la incidencia que pueden tener en la configuración de los espacios inferiores cuando son el soporte de un forjado, tal como se expone líneas adelante.

Es conveniente avanzar ahora que también existe la solución de prefabricar jácenas de hormigón, que junto con pilares del mismo tipo organizan las estructuras prefabricadas de hormigón armado que se exponen en II-6.2.

### Vigas mixtas

Las denominadas vigas mixtas (hormigón armado-perfil IPE de acero) sacan el máximo rendimiento mecánico de los dos materiales. Están formadas por una cabeza de compresión de hormigón armado y un tirante inferior de IPN de acero que han de trabajar conjuntamente. Para conseguirlo es preciso que las deformaciones de los dos elementos sean iguales por un procedimiento que una efectivamente los dos elementos. Generalmente, se consigue mediante los denominados conectores, formados por perfiles cortos de acero con su eje situado en vertical soldados en el ala superior del perfil inferior y que, una vez realizada la cabeza de hormigón, quedan embebidos en ella.



Vigas mixtas a la espera de realizar la cabeza de hormigón.

Si bien el procedimiento saca el mayor rendimiento mecánico a los materiales empleados, la complejidad de su elaboración (soldadura de conectores, encofrados complejos, necesaria protección contra incendio del acero inferior, etc.) lleva a que sólo sea rentable económicamente para la gama alta de las luces habituales. Por ello, su utilización se limita, en general, a edificios singulares.



PRESTACIONES Y CRITERIOS DE ELECCIÓN

Adecuación al espacio

La elección de un tipo u otro de viga no se suele hacer sin tener en cuenta la estructura general del edificio; de manera que es la elección del tipo de ésta, según los criterios expuestos en II-6, lo que determina el tipo de viga.

Dado el tipo, su dimensión fundamental es su canto y éste es, como siempre, función de la luz, de la carga y de la flecha admisible. Los valores que se incluyen a continuación dan cierta orientación sobre ellos.

Con perfiles normales de acero [(a) en la primera figura] se pueden hacer vigas de hasta 12 m. Supongamos una viga que soporta a cada lado 3 m de forjado y que la carga que transmite éste es de 700 kg/m<sup>2</sup>. En cada metro de viga se apoyan 2 × 3 × 700 = 4.200 kg.

Limitando la flecha a 1/500 de la luz, en la tabla aparecen los cantos en mm de los perfiles IPN para diferentes luces, que se obtiene aplicando la fórmula de la flecha expuesta en el inicio del tema.

|            |    |    |    |    |    |
|------------|----|----|----|----|----|
| Luz (m)    | 3  | 4  | 6  | 8  | 10 |
| Canto (cm) | 24 | 30 | 40 | 50 | 60 |



La viga alveolada, o un perfil compuesto equivalente, es útil cuando se desea salvar una gran luz con un elemento de poco peso y con una cierta intención expresiva, siempre que esté protegida por una pintura intumescente.

Para poder cubrir 12 m ya no se puede utilizar un perfil normal, sino una viga alveolada [la (e) de la primera figura] con un canto de 82,5 cm que se obtiene a partir de la transformación de un perfil de 55 cm.

Si la elección se ha hecho sobre el hormigón armado, los métodos de dimensionado han de incluir el efecto de la cantidad de armadura de acero de su interior y, en consecuencia, es más complejo. Sólo a nivel indicativo y con el fin de comparar las vigas planas con las de canto, en la tabla se incluyen unos valores habituales. Los cantos de las vigas son los que se admiten como adecuados para evitar flechas excesivas de las vigas para las luces indicadas. Las vigas se suponen simplemente apoyadas, sin empotramientos.

|                           |    |    |    |    |
|---------------------------|----|----|----|----|
| Luz (m)                   | 3  | 4  | 6  | 8  |
| Viga de canto. Canto (cm) | 25 | 35 | 50 | 80 |
| Viga plana. Canto (cm)    | 20 | 30 | -  | -  |

Si la tabla se aplica con rigor, las vigas o jácenas planas sólo se pueden utilizar para luces muy reducidas (como máximo 5 m), ya que, normalmente, no pueden tener cantos mayores de 30 cm, que es el canto máximo habitual del forjado con el que deben estar enrasadas. Obviamente, si se quieren luces más grandes es preciso ir a jácenas de canto. En este caso, y de manera muy general, se puede decir que el canto está alrededor de 1/10 de la luz.



El forjado unidireccional paralelo al plano de la fotografía se apoya en las dos jácenas de canto perpendiculares, de las que se puede ver la de la derecha. En el centro del vano se han sustituido las bovedillas por una riostra que unifica la deformación del forjado. Entre los dos pilares se sitúa otro elemento con aspecto de jácena plana que es una riostra que une los dos pórticos.

La elección entre jácenas de hormigón planas o de canto, en realidad, se decide según sean los criterios que se aplican sobre el espacio que cubren. Una jácena de canto tiene siempre



un canto superior al del forjado y, en consecuencia, sobresale o descuelga del plano inferior y, se quiera o no, subdivide visualmente el espacio sobre el que se sitúa. Una solución, no siempre fácil, consiste en situar debajo de ella las divisiones verticales, lo cual si bien lleva a coincidir las dos ideas de espacio, no impide la aparición del resalte lateral, ya que siempre las divisiones verticales tienen un espesor menor que el ancho de la jácena (véase la figura anterior). Otra solución cara y no siempre posible es colgar un falso techo.

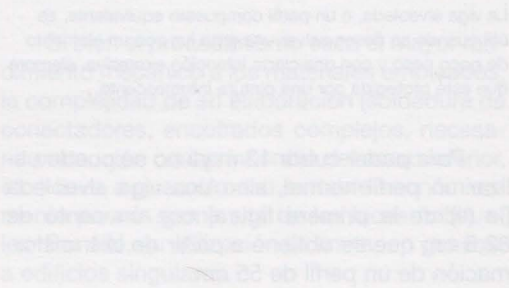
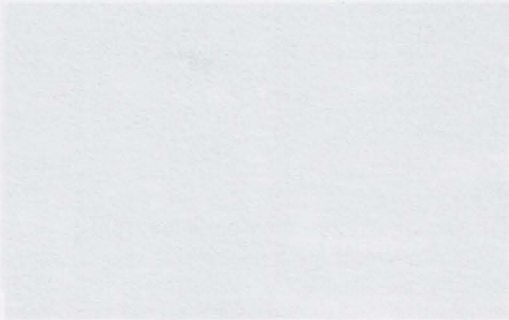
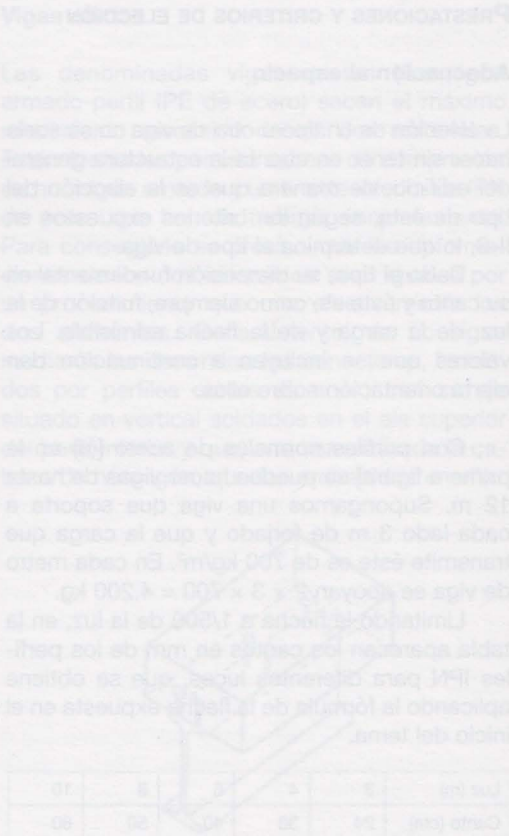
Todos estos inconvenientes, muy importantes en edificios de vivienda con distribuciones a las que cada vez se les exige mayor flexibilidad al cambio de uso, han propiciado dos soluciones con superficies inferiores de los forjados totalmente planas. Una de ellas es la de los forjados reticulares (II-5.2), y la otra, la jácena plana con un canto no superior al del forjado, que en cualquier caso, tal como ya se ha dicho, no debe tener una luz mucho más grande de 4,5 m.

Las diferencias de comportamiento mecánico entre los dos procedimientos son inmediatas. Como consecuencia del reducido canto de la jácena plana, su deformabilidad, especialmente a largo plazo, es bastante mayor que las de las jácenas de canto.

La decisión final sobre una u otra solución requiere una visión general de todos los factores en juego: tipo de edificio, luces necesarias, uso, etc. Así, por ejemplo, si bien en una vivienda es difícil encajar una jácena de canto, no lo es en absoluto en una edificio escolar con unas luces de más de 6 m, si se hace coincidir el ritmo de la estructura con la distribución de las aulas.

La cuestión se acaba de perfilar en II-6.2.

Las vigas mixtas dan rendimientos mayores y para luces grandes –8 o más metros– permiten cantos menores que los expresados anteriormente. Para unos 8 m es suficiente una viga formada por una cabeza de hormigón armado de 40 cm de ancho por 20 cm de alto combinada con un perfil IPN de 24 cm de canto, en total un canto de 44 cm, frente a los 50 cm de acero o los 80 cm de hormigón armado.





## 5.2 Forjados

### UNA CUESTIÓN TERMINOLÓGICA

#### COMBINATORIA TIPOLÓGICA

#### DESCRIPCIÓN DE TIPOS

Forjados de viguetas

Forjados reticulares

Otros tipos

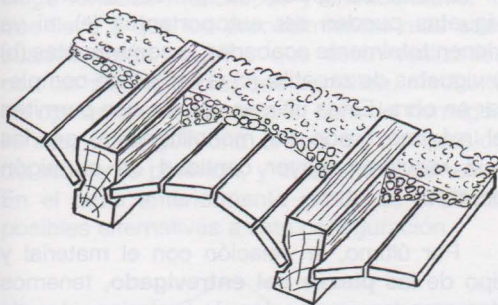
#### PRESTACIONES Y CRITERIOS DE DISEÑO O ELECCIÓN

Adecuación al espacio

Integridad global

### UNA CUESTIÓN TERMINOLÓGICA

Los tratados de construcción antiguos denominaban “entramados de piso” al conjunto de viguetas de madera, y “forjado de entrevigados” a la operación de construir los revoltones de rasi-lla que se situaban entre ellas. Forjado es en este caso el participio del verbo forjar, sinónimo de fabricar en el ámbito de la construcción.



Con el tiempo, este participio ha venido a colmar la carencia de un término que denominara todo el conjunto, el entramado y el entrevigado, es decir, el forjado. Y, desde hace bastante tiempo, por extensión, se utiliza también para denominar a elementos que tienen ya muy poco en común con ese conjunto de viguetas y entrevigados, salvo el hecho básico de ser el soporte del entrepiso, tales como las losas macizas o las placas prefabricadas. En la actualidad a todos estos elementos constructivos que son soporte del entrepiso (II-7) se les denomina de manera unívoca en castellano, forjados.

### COMBINATORIA TIPOLÓGICA

Las variables que nos pueden ayudar a definir su tipología actual son:

- el material resistente principal,
- el procedimiento mecánico de transmisión de cargas,
- el método de producción,
- el material y la forma de la pieza del entrevigado.

Históricamente, el primer **material resistente principal** fue la madera, con la que se hicieron las viguetas de nuestra construcción tradicional y que, mediante los procedimientos tecnológicos actuales, sigue presente en la construcción más avanzada. Su sucesora fue la vigueta de acero, cuya utilización ha sido relativamente frecuente hasta hace pocos años, habiendo caído en desuso en la actualidad. En los forjados hechos con acero, éste se combina con hormigón.

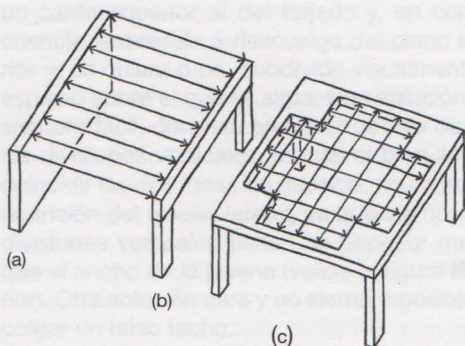
Actualmente, en la mayoría de los casos, los forjados están realizados con hormigón, armado, pretensado o combinado con perfiles o chapas de acero. En las siguientes figuras van apareciendo todos ellos.

El **procedimiento de transmisión de las cargas** puede ser en una dirección o en dos direcciones.

De *una dirección*, también denominados unidireccionales, pueden ser:

- viguetas con elementos de entrevigado, y
- losas macizas unidireccionales de hormigón armado.





En estos casos es necesario tener dos líneas de apoyo, paredes (a) o jácenas (b).

Si son dos las direcciones de transmisión de cargas, no son necesarias cuatro líneas de apoyo, sino que habitualmente se resuelve mediante la utilización de pilares aislados. Es el caso de los forjados reticulares, o las placas o losas bidireccionales macizas (c).

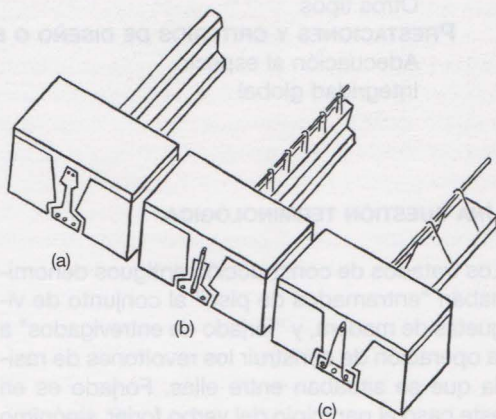
Del **método de producción** hay que analizar el grado de prefabricación de las piezas que componen el forjado del cual depende el monolitismo y los tipos de apoyos.

Si hablamos de acero o de madera, lógicamente estamos hablando de elementos que llegan con sus formas definitivas a la obra, y sólo podremos hablar de elementos prefabricados.

No ocurre así con el hormigón, que puede ir desde la prefabricación absoluta hasta su ejecución total en la obra mediante el hormigón in situ. Cuanto mayor es la prefabricación, menor es la posibilidad de conseguir un con-

junto monolítico que, de hecho, sólo se consigue en su totalidad con losas macizas de hormigón armado.

Igual consideración se puede hacer con relación al tipo de apoyo. Los elementos prefabricados favorecen los apoyos isostáticos (a), por contra, la realización in situ favorece los apoyos empotrados (b).



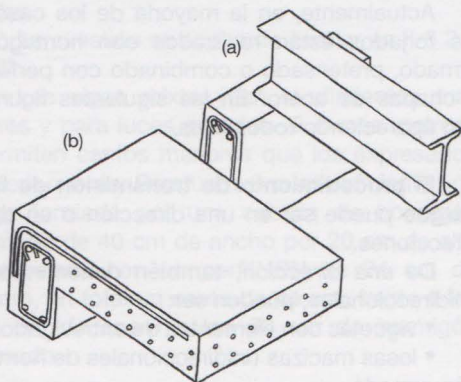
Desde su grado de prefabricación, las viguetas pueden ser autoportantes (a), si ya vienen totalmente acabadas, o semiviguetas (b) o viguetas de zapatilla (c) si se han de completar en obra. Estas últimas son las que permiten el máximo grado de monolitismo al ser las que requieren mayor cantidad de hormigón en obra.

Por último, en relación con el material y tipo de las **piezas del entrevigado**, tenemos dos grandes grupos, los de cerámica y los de hormigón, seguidos a mucha distancia, en relación con su uso, por bloques de materiales ligeros como poliestireno expandido.

Como ocurre en todos los elementos constructivos, no son posibles todas las combinaciones, sino que la realidad económica y técnica del país y de sus diversas coyunturas a lo largo del tiempo han ido definiendo los tipos más ventajosos.

Para los tipos de edificios usuales considerados preferentemente en este libro, se nos presentan dos grandes grupos de forjados:

- los de viguetas y
- los reticulares.





## DESCRIPCIÓN DE TIPOS

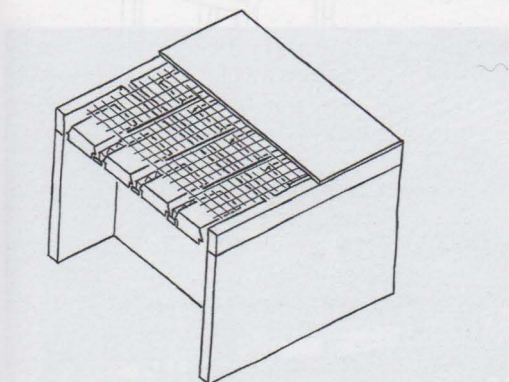
## Forjados de viguetas



En primer término, un forjado de viguetas autorresistentes y, al fondo, uno reticular; el primero es un forjado sanitario apoyado en muretes; bajo el segundo hay un espacio habitable.

Los de viguetas se utilizan en las estructuras de paredes de carga o de pórticos.

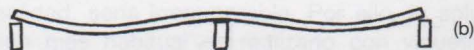
Tal como se expone en II-6, la normativa actual sobre estabilidad de las paredes de carga exige forjados monolíticos y encadenados, lo que lleva a que los procedimientos más adecuados serán aquellos que están realizados con las semiviguetas, que permiten, mediante las operaciones de puesta en obra del hormigón in situ, conseguir una chapa de compresión de suficiente potencia, y el zuncho perimetral. En el tema anteriormente citado se explican posibles alternativas a esta configuración.



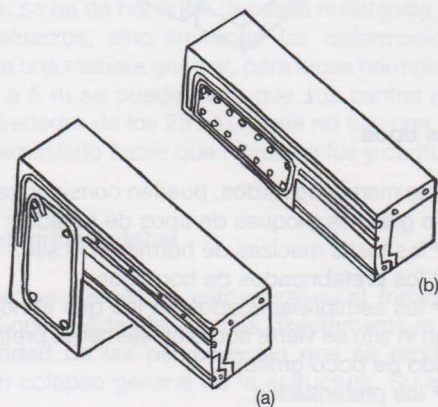
Si la estructura es porticada, las viguetas se apoyan o empotran en las jácenas de los pórticos. Es posible también, en las estructuras de

paredes de carga, introducir jácenas o vigas que salvan alguna luz o configuran algún espacio más grande del que se podría conseguir utilizando la pared. Si es así, las condiciones de entrega de las viguetas a la jácena, en general, son las mismas que en las estructuras porticadas.

Los tipos de entregas de los forjados a las jácenas surgen de combinar los tipos de unos y otras. Se ha de distinguir entre el apoyo isostático simple, el doble y el empotrado. En el primero, la deformación de las vigas no se transmite a la jácena y aquéllas han de aportar toda la rigidez necesaria (a); en el segundo, las deformaciones se transmiten de una viga a la otra y los dos conjuntos de viguetas colaboran entre sí (b); en el tercero la deformación de las viguetas se transmite a la jácena que, en consecuencia, puede colaborar para evitar la flecha del forjado (c).



En las siguientes figuras se presentan los casos más usuales:





- semiviguetas sobre jácena de canto de hormigón armado, empotramiento (a),
- semiviguetas sobre jácena plana de hormigón armado, empotramiento (b).

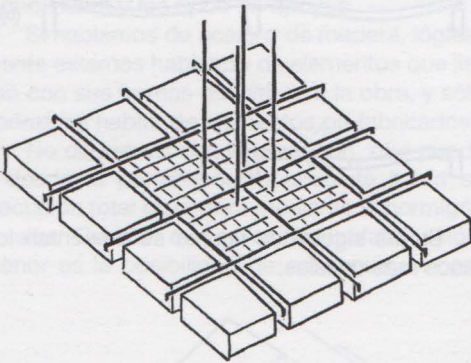
### Forjados reticulares

El otro tipo de forjados utilizados habitualmente es el llamado reticular, que se realiza todo in situ. Existen dos variantes según el tipo de elemento que se utiliza en el hueco entre nervios:

- casetones de hormigón que quedan embebidos en el forjado, como encofrados perdidos, también se denominan bloques permanentes,
- moldes recuperables que dejan aparente la retícula de nervios.

En los primeros la cara inferior es susceptible de ser revestida con enlucido de yeso, mientras que los segundos requieren un cielo raso colgado.

En los dos casos, la transmisión de cargas a los pilares se realiza a través de elementos macizos de hormigón denominados ábacos (ver I-2, p. 46 y II-6.2).



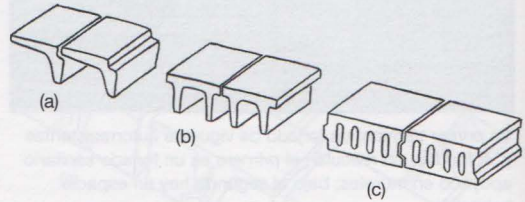
### Otros tipos

Aunque menos utilizados, pueden considerarse cuatro grandes bloques de tipos de forjados:

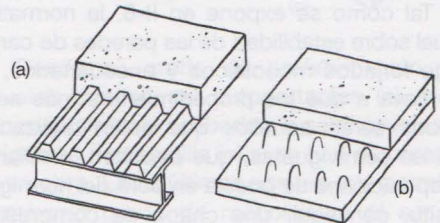
- las losas macizas de hormigón in situ,
- los prefabricados de hormigón,
- los semiprefabricados en los que el hormigón in situ se vierte sobre un elemento prefabricado de poco grosor,
- los pretensados.

La losa maciza de hormigón queda limitada a su utilización en estructuras poco corrientes como las estructuras de encofrado túnel, sobre las que se proporcionan algunas indicaciones en II-6.

Los prefabricados se pueden resolver mediante diversas formas de sus piezas tales como las vigas en cajón, vigas en U, vigas en T (b), vigas en L (a) o losas alveoladas (c). Se utilizan, en general, en construcciones prefabricadas.



Los semiprefabricados se subdividen en diversos tipos según sea el elemento base:



- chapas grecada de acero (a),
- prelosas de hormigón armado o pretensado (b).



Vista inferior de un forjado de chapa plegada sobre vigas de acero.



En el primer subtipo, y en función de las conexiones que existan entre ambos elementos –por adherencia o mediante conectadores– podremos lograr mayor o menor colaboración mecánica entre ambos materiales. Es el tipo de forjado utilizado habitualmente en estructuras porticadas de acero.

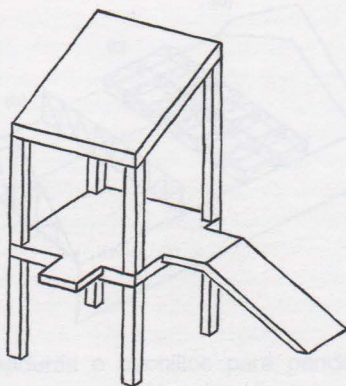
El segundo es un tipo poco utilizado, pero que para determinadas obras puede ser ventajoso ya que aporta monolitismo y un cierto grado de prefabricación que evita los encofrados.

## PRESTACIONES Y CRITERIOS DE DISEÑO O ELECCIÓN

### *Adecuación al espacio*

En relación con el espacio que cubren los forjados pueden considerarse las siguientes situaciones:

- forjados horizontales, que pueden estar: apoyados o en voladizo,
- forjados inclinados, que pueden actuar como soporte de: una cubierta inclinada o una escalera.



Sobre el primer caso no se añade nada, ya que es al que pertenecen todos los casos anteriores.

El segundo se presenta habitualmente cuando se resuelve el soporte de un espacio intermedio de fachada, tribuna, balcón, etc. El problema a resolver es el empotramiento que pueda absorber el momento del voladizo.

En este caso, no todos los tipos anteriores son igual de interesantes. Los que mejor pueden resolver el problema son los realizados in situ, en los que es fácil situar las armaduras superiores que absorben las tracciones del voladizo. El canto del elemento volado depende de la luz del vuelo. En caso de que no sea excesivo, la solución más aconsejable es la losa maciza.

Si el forjado se ha de situar inclinado en un solo tramo, para pendientes inferiores a 30 %, es válido todo lo dicho anteriormente, a lo cual se habrá de añadir la influencia de los empujes horizontales que provoca.

Si es una losa de escalera con apoyos en las mesetas horizontales, no se producen estos empujes.

Los diferentes tipos de soporte de las escaleras se exponen en II-10.

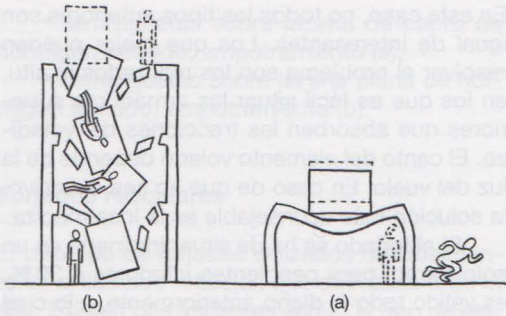
Se debe considerar un caso más, el denominado forjado sanitario, calificativo con resonancias del siglo XIX. No es más que el forjado que separa la planta inferior del edificio del terreno natural dejando una cámara de aire (ver III-6). Si la cámara es pequeña (0,5-1 m), como es habitual, cualquier tipo de encofrado, en realidad, sería irrecuperable. Por ello, la solución más habitual es realizarlo con viguetas autoportantes de hormigón que se apoyan sobre algún elemento de la estructura del edificio o sobre muretes de ladrillo hechos especialmente para ello. De este modo, la planta de cimientos debe tener los de la estructura principal y los de los muretes del forjado sanitario.

En todos los casos, la determinación numérica del parámetro básico del forjado, el canto, se ha de hacer no desde la resistencia a los esfuerzos, sino limitando las deformaciones. De una manera general, para luces normales de 4 a 5 m se puede decir que sus cantos están alrededor de los 25 cm, y que no hay una regla demasiado fiable que relacione luz y canto.

### **Integridad global**

De los elementos estructurales, el forjado es el que puede afectar más directamente la integridad de las personas sin que se produzca un colapso general de la estructura. Su rotura





se puede producir por flexión y por esfuerzo cortante.

La primera (a) presenta la ventaja de ir precedida por una deformación bien visible que nos alerta del peligro. No así la segunda (b), que se produce por rotura súbita. El hundimiento puede ser debido a un exceso de ocupación sobre el forjado, que a su vez puede provocar un hundimiento en cadena si se produce en una de las plantas superiores.

Ahora bien, la variable que condiciona el diseño y dimensionado de los forjados, en mayor medida que la seguridad a la rotura, es la limitación de su flecha para evitar deformaciones diferenciales en elementos con los que está en contacto, como tabiques (II-8.1), lo cual obliga a secciones o cantos mayores que los que pueden evitar esa rotura por flexión. La posibilidad de rotura frágil, sin señales previas por exceso de esfuerzo cortante en el apoyo, se evita macizando el tramo más próximo a éste. Si se han tomado estos dos tipos de precauciones, los forjados son elementos seguros siempre que se conserven sus propiedades materiales iniciales.

En relación con la integridad de personas y edificio, y respecto a la protección contra el fuego, es conveniente recordar el papel de los forjados cuando forman parte de un entrepiso (II-7).



5.3 Elementos portantes de cubiertas ligeras

COMBINATORIA TIPOLÓGICA  
DESCRIPCIÓN DE TIPOS  
PRESTACIONES Y CRITERIOS DE ELECCIÓN  
Adecuación al espacio

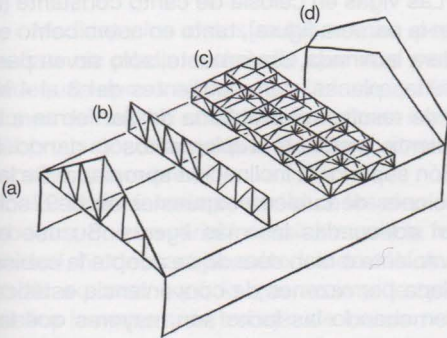
COMBINATORIA TIPOLÓGICA

Los tipos básicos de elementos portantes de las cubiertas ligeras son consecuencia de la combinatoria de las siguientes variables:

- la luz a cubrir,
- los materiales disponibles (acero, hormigón armado, madera laminada),
- el perfil del edificio, con pendientes acusadas o pendientes bajas,
- si la pendiente es alta, el aprovechamiento del espacio bajo cubierta.

DESCRIPCIÓN DE TIPOS

Como ocurre casi siempre, no son posibles todas las combinaciones. Los tipos usuales son:



- armaduras o cuchillos para pendientes acusadas con ocupación por ella misma del espacio entre apoyos (a),
- vigas o jácenos, en celosía o de alma llena según la luz, para pendientes muy bajas (b) o pendientes altas sin ocupación del espacio inmediato inferior (d),
- mallas espaciales, para todo tipo de pendientes, aunque generalmente son bajas (c),
- otras variantes menos usuales.



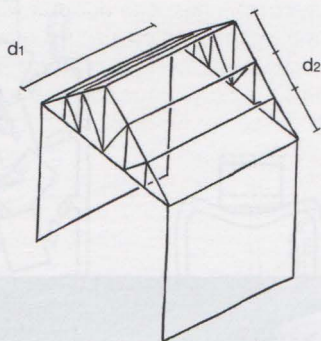
Jácenos de madera laminada.



Malla espacial de tubos de acero.

En los dos primeros casos, posibles con los tres materiales citados, sobre los elementos estructurales principales se disponen los secundarios, habitualmente vigas apoyadas, que adoptan entonces el nombre de correas. La separación entre los elementos principales,  $d_1$ , viene condicionada por el canto que pueden alcanzar éstas, y normalmente oscilan entre 4 y 6 metros.



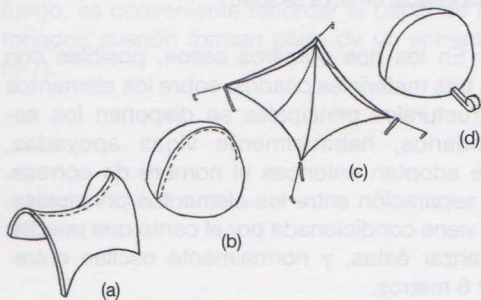


La separación entre sí de las correas,  $d_2$ , depende del tipo de elemento de revestimiento de la cubierta. Si son placas de fibrocemento, la separación aconsejable es del orden de 110 cm; si son paneles prefabricados con resaltes que le dan mayor rigidez, la distancia puede ser mayor; si son tejas, es recomendable que sean del tipo alicantina, que pueden ir colocadas en seco sobre listones apoyados en los cabios (ver III-9.2 y 3). En cualquier caso, conviene que las correas se apoyen en los nudos de encuentro de las barras ya que, si no, éstas han de trabajar a flexión, lo cual exige mayor sección y coste.

En las mallas espaciales, siempre de acero, los elementos resistentes son equivalentes en las dos direcciones y consiguen, al actuar en conjunto, reducir los cantos.

Las variantes que no responden a los tres tipos anteriores son los siguientes:

- las cáscaras, o elementos de hormigón armado de poco espesor, con formas que aportan una indeformabilidad general (a y b),
- las cubiertas sostenidas por cables o por membranas tensadas (c),



- las membranas sostenidas por el aire interior sometido a mayor presión que el aire atmosférico exterior, denominadas estructuras infladas (d).

En las dos últimas, los elementos resistentes sólo trabajan a tracción. Dada su escasa utilización, no se añade nada sobre ellas.

## PRESTACIONES Y CRITERIOS DE ELECCIÓN

### Adecuación al espacio

Las denominadas armaduras o cerchas [la (a) en la primera figura] tienen el perfil adecuado para cubiertas con pendientes superiores a un 20 %, es decir, cubiertas inclinadas. Se realizan habitualmente con perfiles de acero o de madera laminada. Los materiales de cubierta apropiados serán los más ligeros, especialmente los semiproductos, placas de fibrocemento, etc. (III-9). Se pueden cubrir luces que pueden ir desde 5 m hasta 30 m. Es conveniente que el canto de la armadura, es decir, su máxima altura, no sea inferior 1/10 de la luz. Normalmente, si mantiene el perfil típico de una cubierta inclinada, esa altura es del orden de 1/4 de la luz.

Las vigas en celosía de canto constante [la (b) en la primera figura], tanto en acero como en madera laminada, obviamente, sólo sirven para cubiertas planas, con pendientes del 3 al 4 %. Han de resolver el problema de dar forma a la pendiente mediante suplementos o dando al cordón superior la inclinación apropiada. De las soluciones de cubierta expuestas en III-9, sólo serán adecuadas las más ligeras. Su uso es conveniente o bien cuando se adopte la cubierta plana por razones de conveniencia estética, o bien cuando las luces son mayores que las antes expresadas; pueden alcanzar normalmente hasta 80 m. El canto no debe ser inferior nunca a 1/15 y lo habitual será 1/10. No se olvide que a mayor canto, menores esfuerzos se producen en las barras y éstas son de menor sección.

Es posible usar vigas de madera laminadas macizas con cualquier perfil, horizontal o inclinado, de sección constante o variable [la (d) en la primera figura y primera foto y foto en I-p. 164]; pueden alcanzar luces de hasta 40 m, requiriendo



un canto mínimo de  $1/12$  de la luz que cubren. Si tienen un perfil en arco, el canto puede ser menor, pero el arco ha de estar estribado y limitada su posible deformación lateral por pandeo con las correas.

No se ha de olvidar que los elementos para formar una cubierta se separan entre sí una distancia que viene dada por la luz de las correas, que habitualmente es de 4 a 5 m (d<sub>i</sub> de la segunda figura).

Con las mallas espaciales con barras de acero [(c) en la primera figura y segunda foto y foto de l-p. 47] se pueden hacer todo tipo de cubiertas inclinadas o planas con luces que pueden alcanzar los 100 m y unos cantos de entre  $1/20$  y  $1/40$ .

En el caso de los elementos realizados en hormigón, armado o pretensado, la economía de producción limita a pocos los tipos de moldes y a unas largas series de piezas iguales, lo cual sólo es útil en construcciones industriales sencillas. Son posibles cualquiera de las jácenas, rectas o con pendiente, llenas o en celosía. El canto necesario también es del orden de  $1/10$ .

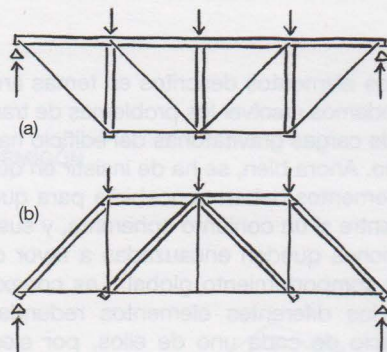
La opción entre acero o madera laminada se decide a partir de criterios en relación con el tipo de edificio y con la conveniencia estética.

Mediante los datos anteriores es posible realizar un predimensionado que nos permita hacer una aproximación útil a la forma y dimensiones de nuestra cubierta en las fases iniciales del proyecto, adecuada a las dimensiones del espacio que cubre.

El dimensionado posterior de los elementos o barras, que no variará sensiblemente la forma general, ha de manejar métodos de cálculo que no se exponen aquí, lo que no impide que se analice la manera de trabajar de los elementos triangulados. Recuérdese que las barras trabajan o a tracción o a compresión (l-2, p. 44).

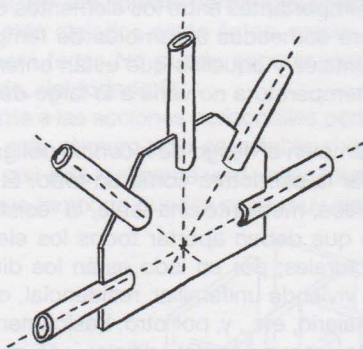
En el caso de la armadura de par y tirante es fácil deducir que los pares trabajan a compresión y el tirante a tracción. Los primeros estarán sometidos al riesgo del pandeo lateral, lo cual obligará a aumentar su espesor o a aprovechar al máximo el efecto positivo de las correas. En las sometidas a tracción, la sección será la estrictamente necesaria para evitar la rotura y será más económica que la anterior.

Por esta razón, es mejor adoptar formas de armaduras o vigas en celosía en las que se presenten el máximo número de barras a tracción. A modo de ejemplo de fácil comprensión intuitiva, compárense las vigas de las figuras: en la



(a) las barras inclinadas trabajan a tracción, justo lo contrario que en la de la (b). En los dos casos, las barras horizontales superiores trabajan a compresión y las inferiores a tracción.

Conocidos los esfuerzos que actúan sobre las barras, se dimensionan éstas y se diseñan los nudos. En cualquier caso, los ejes de las barras incidentes se han de encontrar indefectiblemente en un punto, ya que, si no, se pueden producir giros y flexiones para los que no están preparadas las barras. A modo de ejemplo, se expone una imagen de un nudo típico de acero.



A diferencia de los elementos que se describen a continuación, vigas y forjados, las deformaciones por flexión de los elementos de cubierta no afectan negativamente a la durabilidad, ya que los acabados de las cubiertas son flexibles o sus piezas permiten un cierto giro entre ellas.



## TEMA 6. La estructura como unidad

### 6.1 Estructuras de muros

### 6.2 Estructuras porticadas

Con los elementos descritos en temas anteriores podemos resolver los problemas de transmisión de cargas gravitatorias del edificio hacia el terreno. Ahora bien, se ha de insistir en que estos elementos deben concebirse para que formen entre sí un conjunto coherente, y sus interrelaciones queden encauzadas a favor de un mejor comportamiento global. Las conexiones entre los diferentes elementos redundan en beneficio de cada uno de ellos, por ejemplo, reduciendo la longitud de pandeo, entre otras. Pero, en cualquier caso, la consideración conjunta de todos los elementos es imprescindible para asegurar el comportamiento adecuado del edificio frente a las acciones horizontales.

Con ser éstas las más importantes, no son las únicas exigencias que afectan a la estructura en global. Cuando las dimensiones del edificio sobrepasan los 30 o 40 metros aparecen solicitaciones sobre el conjunto debidas a dilataciones térmicas. Es preciso establecer los mecanismos que eviten deformaciones diferenciales importantes entre los elementos de la estructura sometidos a cambios de temperatura ambientales y aquellos que están enterrados y cuya temperatura no varía a lo largo del año.

También el riesgo de incendio obliga a contemplar la estructura como un todo. El CTE-SI establece, mediante una tabla, la resistencia al fuego que deben aportar todos los elementos estructurales; por un lado están los diferentes usos: vivienda unifamiliar, residencial, docente, hospitalario, etc., y, por otro, básicamente la altura de evacuación del edificio: < 15 m, < 28 m o > 28 m. Exige una prestación mayor cuanto más alto, más concurrido y más estratégico es el edificio. Así, a una vivienda unifamiliar le exige un valor de resistencia R 30 (ver nomenclatura en I-9); a un edificio de viviendas de 7 plantas (24 m), R 90; a un edificio de oficinas alto, R 120; y a un hospital también alto, R 180.

En definitiva, no sólo las consideraciones globales de distribución y composición general obligan a contemplar la estructura como un todo, sino su propio correcto funcionamiento.

Actualmente existen dos tipos básicos de estructuras que se diferencian fundamentalmente en los elementos verticales utilizados:

- el que puede considerarse heredero de la tradición secular de la arquitectura de obra de fábrica, la estructura de muros adaptada a la técnica actual, y
- el que es propio de la evolución tecnológica del siglo xx, basada en la utilización de acero y hormigón armado en pies derechos y jácenas o pies derechos y forjados reticulares formando pórticos.

Se desarrollan en dos subtemas diferentes, debido a que los dos tipos básicos no son intercambiables y a que la elección entre uno de ellos se ha de hacer en los momentos iniciales del proyecto y en función especialmente del tipo de edificio (I-1, p. 30). Los edificios muy compartimentados y de poca altura pueden resolverse mediante estructura de muros. Su principal inconveniente, si no se tiene un especial cuidado en el diseño, es la falta de flexibilidad a los cambios de uso que indefectiblemente se producen a lo largo del tiempo. La alternativa de las estructuras porticadas aporta fácilmente esa ventaja.

Para edificios en los que domina un espacio único, la estabilidad del conjunto viene dada por la de los elementos perimetrales, que pueden ser pórticos, pies derechos o muros.

Si el edificio es de gran altura, la única alternativa en la actualidad son las estructuras porticadas, que es el tipo más utilizado.

La visión conjunta de todos los elementos es el momento más oportuno para hacer unas últimas consideraciones sobre cómo afecta a cada tipo o variante el principio de conveniencia estética.



## 6.1 Estructuras de muros

### ESTRUCTURA DE PAREDES DE FÁBRICA SIN ARMAR

Diferencias con las estructuras históricas

*Espesor de las paredes*

*Efectos de la deformación del forjado*

Tipos de estructuras según el tipo de edificio

*Edificios compartimentados con muros*

*Edificios con espacios de gran tamaño*

### ESTRUCTURAS DE PAREDES CON FÁBRICA ARMADA

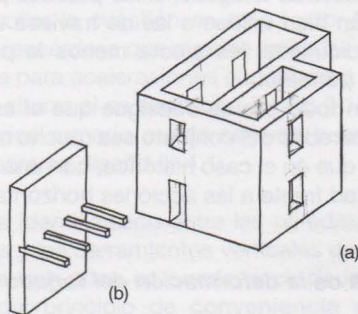
#### ESTRUCTURAS INDUSTRIALIZADAS DE MUROS DE HORMIGÓN

Con encofrados túnel

De paneles prefabricados

#### ESTRUCTURAS MIXTAS DE MUROS Y PILARES

Las técnicas expuestas en II-4.1 para realizar muros, pequeños elementos, hormigón in situ o prefabricado, dan lugar a tipos de estructuras diferentes que es preciso analizar por separado. Los muros de pequeños elementos o de obra de fábrica son los que reciben más atención en este texto, pues no sólo siguen siendo los más usuales, sino también los más didácticos, ya que aportan las soluciones conceptuales más ricas a problemas comunes al resto de técnicas.



### ESTRUCTURA DE PAREDES DE FÁBRICA SIN ARMAR

#### Diferencias con las estructuras históricas

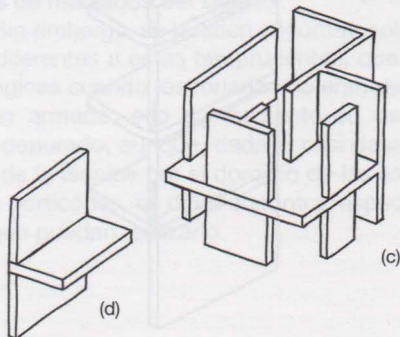
Es importante distinguir entre los edificios de paredes que se han construido hasta los años sesenta del siglo xx y los actuales, ya que tras una aparente similitud, tienen grandes diferencias. Sin duda, la más importante es el nuevo papel atribuido al forjado que, de madera o vigueta metálica en las históricas, pasa a ser de hormigón armado, con notables consecuencias sobre el espesor de las paredes. Otra es la aparición del ladrillo industrial o los bloques de hormigón o cerámica, que permiten una gran precisión en su construcción.

#### Espesor de las paredes

Supongamos la estructura histórica de la figura, muros de mampostería y forjados de madera.

Frente al pandeo por la acción gravitatoria, cada muro sólo se puede beneficiar de la colaboración de los muros perpendiculares (a) y cuanto más alejados están éstos, mayor espesor deberá tener. No puede esperar mucho, o casi nada, del forjado (b).

Frente a las acciones horizontales perpendiculares a él, el muro sólo es estable si es muy grueso, o si está realmente unido a los muros vecinos, que tampoco pueden estar muy alejados.





Las dos razones justifican la importancia capital en el pasado de la trabazón entre los muros y la estructura en forma de caja cerrada.

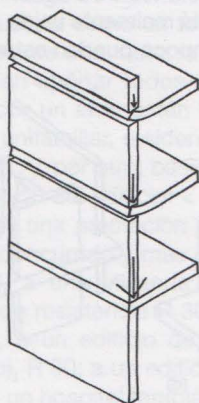
Si se compara con un edificio actual (c), se comprueban en él dos efectos beneficiosos debidos a los forjados de hormigón armado. Primero, éstos, al ser rígidos e indeformables en su plano, disminuyen la altura de pandeo de las paredes a la altura de cada planta aunque no estén conectadas a otras paredes (d); segundo, frente a empujes horizontales, el forjado monolítico actúa como una viga que transmite la carga a los muros paralelos a la acción, lo cual permite abrir las esquinas, que ya no tienen el papel fundamental de antaño.

Lógicamente, y de la misma manera que las estructuras antiguas, si las paredes portantes están bien unidas a las de traviesa u otras perpendiculares, les afecta menos la posibilidad de pandeo.

Con todo ello se consigue que el espesor de las paredes del conjunto sea mucho más reducido que en el caso histórico, con una mayor seguridad frente a las acciones horizontales.

### **Efectos de la deformación del forjado**

Sin embargo, no se dejan de producir algunos efectos perniciosos. La deformación por acción gravitatoria de los forjados genera en los nudos de empotramiento a las paredes un pequeño giro que lleva a que los apoyos de éstas no coincidan exactamente con sus ejes, con lo que se producirá una excentricidad de carga. Este efecto es más intenso en las plantas supe-



riores del edificio, a causa de la reducción progresiva de la componente gravitatoria vertical.

En el último forjado, al no existir un peso que asegure el empotramiento, el apoyo siempre es simple, y si la deformación es notable, puede aparecer una fisura longitudinal. En la planta inmediatamente inferior también se produce con menor intensidad ese efecto. En las plantas inferiores, al aumentar la carga vertical total, el efecto queda reducido ya que la carga es suficiente para aportar el empotramiento. Una de las comprobaciones más importantes cuando se calcula una estructura de muros es la excentricidad de la carga como consecuencia de la deformación de los forjados.

Sin embargo, a pesar de esta dificultad, el rendimiento del conjunto supera en economía y en seguridad al de las estructuras antiguas realizadas con forjados no monolíticos y dispuestos en viguetas que, en pocas ocasiones, producían excentricidades importantes en los gruesos y costosos muros.

Veamos cómo se concretan estas maneras constructivas propias del siglo xx en los diferentes tipos de edificios.

### **Tipos de estructuras según el tipo de edificio**

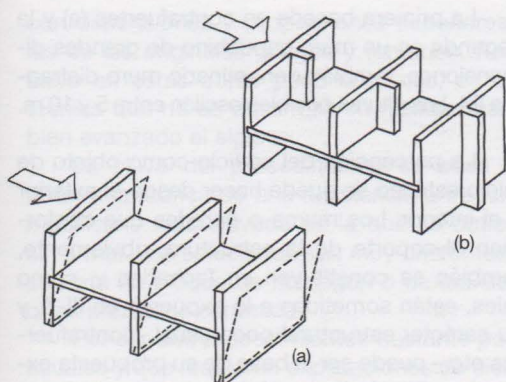
#### **Edificios compartimentados con muros**

En los edificios compartimentados, además de las consideraciones anteriores se han de tener en cuenta las siguientes cuestiones.

Los forjados utilizados son mayoritariamente de viguetas de hormigón, reforzados por una chapa de compresión y zunchados en todo su perímetro por las razones ya expuestas en las líneas anteriores. Esta disposición lleva a que, de las cuatro paredes que pueden cerrar un espacio, sólo reciben carga del forjado dos de ellas.

Por lo comentado hasta ahora, es fácil deducir que a las otras dos transversales les corresponde asumir el papel de rigidizadores de las de carga si están unidas y de, en cualquier caso, arriostramiento de toda la estructura. Obviamente, como las acciones horizontales pueden venir de cualquier dirección, en ocasiones las de carga actuarán de arriostramiento general.





En definitiva, es absolutamente impensable una estructura que tenga sólo dos paredes de fábrica sin armar, paralelas, sin la colaboración de otras dos transversales (a).

Es posible, no obstante, que las no cargadas no tengan que cerrar todo el espacio y sean más cortas para dejar aberturas, pasos, etc. (b). En ese caso, su dimensión en planta deberá ser objeto de un cuidadoso estudio para poder asegurar que es suficiente para asumir su papel estabilizador frente a las acciones horizontales. Su mayor o menor trascendencia será consecuencia de las posibles intensidades de esas acciones, especialmente sísmicas, y también de la altura general del edificio.

Si estamos en una zona de baja sismicidad y para edificios de baja altura, su presencia puede ser bastante menos importante.

La mayoría de los edificios así contruidos se han hecho con ladrillo, pero todas estas consideraciones son válidas para las otras piezas básicas, bloques de hormigón o de cerámica adaptadas a sus respectivas formas.

Es preciso insistir, no obstante, en que, si se quiere obtener el máximo beneficio de la unión entre paredes, las no cargadas han de estar unidas solidariamente a las cargadas y para ello es imprescindible que se construyan al mismo tiempo trabándolas de una forma muy rigurosa.

El espesor de las paredes depende, además de la carga que soportan y de su esbeltez (II-4.1), del formato del ladrillo o del bloque de hormigón o cerámica utilizado. Si es ladrillo catalán,  $14 \times 29$  cm, los edificios de pocas plan-

tas y luces moderadas pueden resolverse en general con paredes de medio pie, es decir, de 14 cm, con el aparejo de sogas. Si el formato es el métrico o castellano  $12 \times 24$  cm, al tener la pared equivalente menos espesor, es preciso con mayor frecuencia acudir a soluciones de un pie. El dimensionado final requiere de cálculos según el CTE-SE-F.

Las paredes de bloque de hormigón generalmente tienen 20 cm de espesor, y las de bloque de cerámica pueden oscilar entre 19 y 30 cm.

En las zonas con riesgo sísmico, la posible acción horizontal de un terremoto pasa a ser una de las variables fundamentales del proyecto. La complejidad de la valoración de las acciones y de la respuesta del edificio aconsejan no desarrollar la cuestión en este texto. No obstante, recuérdese que quedan limitadas a cuatro alturas para aceleraciones superiores a  $0,08$  g y a dos alturas si es superior a  $0,12$  g (I-10) y que la fábrica armada puede ser una buena solución para su diseño (II-4.1).

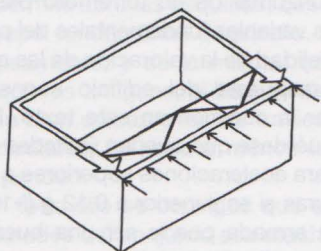
La identificación entre las paredes estructurales y los cerramientos verticales del edificio lleva a que poco se pueda decir de la aplicación del principio de **conveniencia estética** que no se diga ya en relación con las paredes interiores (II-8.1) o con la parte ciega de las fachadas (III-7.2). No obstante, es conveniente recordar (I-p. 215) que el papel estructural obligue a organizar con mucha precaución la presencia de las aberturas, especialmente en fachada. Su anchura no puede ser excesiva y es muy conveniente situarlas unas sobre otras, todo lo cual obliga a un tipo de fachada que, de hecho, ha sido el que ha configurado la mayoría de los cascos urbanos contruidos antes de mediados del siglo xx.

Sin embargo, se pueden encontrar soluciones diferentes a estas tan prudentes, que eran las lógicas cuando los forjados no eran de hormigón armado; eso sí, mediante su estudio muy depurado, aunque, dada la casi desaparición de la técnica por el dominio de las estructuras porticadas, es difícil encontrar especialistas que puedan realizarlo.



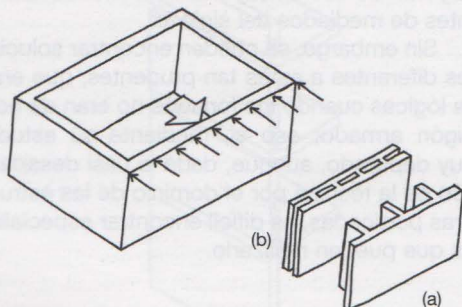
### Edificios con espacios de gran tamaño

Si el edificio contiene un gran espacio, como una piscina o un polideportivo, cabe la posibilidad de realizar la estructura de su perímetro mediante una estructura de muros adaptada a este fin, con cajas de gran altura que resuelvan todos los problemas de estabilidad vertical y horizontal, y al mismo tiempo también los del cerramiento. La solución dependerá de la altura y de las acciones horizontales previsibles. Las cargas gravitatorias no son el problema principal.



Un esquema de funcionamiento se basa en que la cubierta ligera, del tipo de las expuestas en II-5.3, aporte un diafragma rígido que, al igual que los forjados vistos anteriormente, transmita las cargas horizontales debidas al apoyo de la pared afectada por el viento a las paredes laterales. Si es así, la pared debe resolver su rigidez al viento partiendo de que está apoyada arriba y abajo.

Otro esquema puede organizarse a partir de paredes autoestables, es decir, sin ayuda de la cubierta. Las paredes laterales deben tener una gran inercia en su sección horizontal. Las dos paredes de la figura son ejemplos de ello.



La primera basada en contrafuertes (a) y la segunda en un muro capuchino de grandes dimensiones, también denominado muro diafragma (b). Las alturas posibles oscilan entre 5 y 10 m.

La percepción del edificio como objeto de juicio estético se puede hacer desde el exterior y el interior. Los muros o paredes que conforman el soporte de la estructura, obviamente, también se constituyen en fachadas y, como tales, están sometidas a lo expuesto en III-7; y su carácter estructural poco usual –contrafuertes etc.– puede ser la base de su propuesta expresiva. Sin duda, es fácil encontrar gloriosos precedentes en edificios históricos similares, iglesias, etc. (I-p. 44). Ahora bien, no se olvide lo dicho en la introducción al capítulo sobre la necesidad de que los elementos sean de fácil comprensión.

La percepción interior está condicionada por la relación estructura-espacio. Véase al respecto II-6.2.

Con relación a los movimientos térmicos que afectan a todos estos tipos de edificios de muros de ladrillo, hay que tener en cuenta que cuanto más extremo es el clima, mayores posibilidades de dilatación diferenciales existen y, en consecuencia, menores son las distancias entre las juntas de dilatación. La antigua NBE-FL establecía una distancia entre las juntas de 40 m para clima marítimo y 30 m para continental. Ahora bien, el CTE-SE-F considera los efectos más influyentes, aunque no muy bien conocidos hasta ahora, de la expansión final por humedad, estableciendo unas distancias entre las juntas que van desde 30 m a un valor mucho menor, 8 m, según sean los valores de dicha expansión, que pueden oscilar desde 0,15 mm/m hasta un 1 mm/m, todo lo cual es decisivo en el diseño final del edificio.

### ESTRUCTURAS DE PAREDES CON FÁBRICA ARMADA

Si se quiere mayor altura u otras formas más complejas que las anteriores es posible conseguir las armando la fábrica.

La idea de incluir armaduras en la obra de fábrica aparece ya en el siglo XVIII, cuando se hacen grandes pórticos neoclásicos de piedra



con dimensiones y proporciones superiores a las de los originales griegos y romanos. Pero, salvo en estas obras poco comunes, es una técnica que no se desarrolla en realidad hasta bien avanzado el siglo xx.

La clave del procedimiento se basa en dotar a la fábrica de una resistencia a tracción muchísimo más elevada de la que se obtiene sin armar. Las soluciones son muy diferentes si se trata de bloque de hormigón o de ladrillo u otras piezas de cerámica.

Por ser dos procedimientos bastante poco usuales y que requieren explicaciones de cierta extensión, la atención a ellos se limita a las indicaciones dadas en II-4.1. Sólo se trata de hacer ver al lector que existe una gran variedad de soluciones constructivas que pueden ponerse al servicio de una arquitectura imaginativa.

El armado de los huecos verticales que forman los bloques de hormigón permite la realización de los tipos de muros vistos anteriormente, pero con tamaño y esbelteces superiores.

El armado de tendeles de ladrillo es una solución sencilla que permite formas poco usuales más allá de los muros planos y que pueden crear formas muy sorprendentes.



Proceso de construcción de unos muros alabeados de generatriz recta y directrices sinusoidales desfasadas en planta. La cubierta del edificio, con una forma similar realizada posteriormente, también es de fábrica armada.

## ESTRUCTURAS INDUSTRIALIZADAS DE MUROS DE HORMIGÓN

Se ha de entender que en este apartado sólo se consideran las estructuras que se resuelven totalmente con muros de hormigón al servicio del tipo de edificios usuales considerados en este libro. Por supuesto, utilizando los procedimientos expuestos en II-4.1, con muros de hormi-

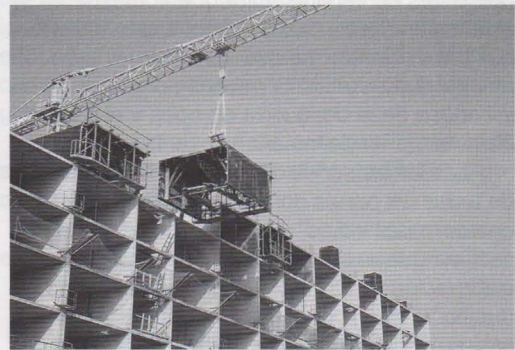
gón se pueden hacer otros tipos de edificios singulares que aquí no se recogen.

La construcción de estructuras completas de muros hormigón ha dado lugar a numerosos ensayos a lo largo del siglo xx en la búsqueda de una industrialización de la construcción (I-14, p. 175), en especial la de viviendas de bajo coste.

Los ensayos han probado la construcción con componentes, con semiproductos y con hormigón in situ sin que se haya llegado en la actualidad a poder decir, en general, que alguna de esas soluciones sea más ventajosa que las de la construcción menos industrializada. Veamos cada caso.

### Con encofrados túnel

Si se reúnen en un edificio los muros y las losas de hormigón in situ vistos en los temas anteriores, y si el encofrado se resuelve de manera simultánea mediante el denominado encofrado túnel, nos encontramos con uno de los modelos de industrialización de la construcción. Mediante encofrados muy mecanizados de paredes y forjados y la incorporación de sistemas de curado del hormigón al vapor conseguimos grandes velocidades de ejecución ya que en 24 horas podemos repetir toda la operación de realizar una planta completa.



Estructura de encofrado túnel en construcción. La fotografía recoge el momento en que el encofrado, todavía girado 90°, va ser colocado en su lugar junto al contiguo para proceder después al hormigonado.

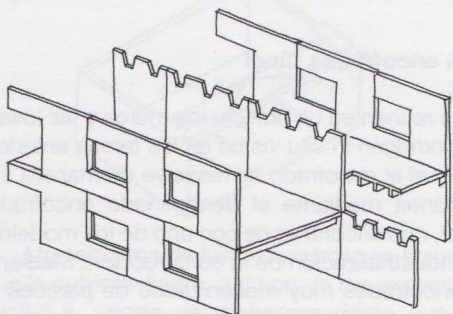
Contrariamente al caso siguiente, los cerramientos de fachada no están resueltos y es necesario proceder a realizarlos después con otro procedimiento industrializado o no.



Obviamente, sólo es factible su uso en operaciones de cierta envergadura que dispongan de espacio para mover los encofrados. El procedimiento que asegura la estabilidad horizontal es diferente de los anteriores, ya que los nudos entre forjados y paredes son rígidos y suficientes para alturas moderadas.

### De paneles prefabricados

Utilizando los paneles expuestos en II-4.1 y los forjados prefabricados de II-5.2, se puede organizar un edificio completo prefabricado.



Es una solución especialmente indicada para la producción masiva de viviendas de bajo coste, siempre que la promoción sea de más de dos o tres centenares, cifra que actualmente se alcanza en pocos casos, aunque sí lo fue en un pasado reciente, ya que éste fue el procedimiento que permitió la masiva construcción de viviendas de la posguerra europea y el desarrollo español de los años sesenta del siglo xx.

Las largas series de producción de paneles de todas las partes del edificio permite llevar los costes hasta cifras realmente bajas. La razón está en que el mayor coste de la operación, la elaboración de los moldes, se reparte hasta reducirlo a muy poco. Aunque en esta ventaja está su principal inconveniente, la repetición "ad nauseam" de un único tipo de vivienda y bloque que está en el origen de la degeneración del urbanismo suburbial.

Por supuesto, éste no es un defecto propio del sistema, ya que con él se puede hacer todo tipo de arquitectura, que si no es muy repetitiva y tiene un diseño muy cuidado, es tan cara o más que otra solución no prefabricada.



Edificio de viviendas resuelto con paneles y losas prefabricadas de hormigón blanco con un sencillo pero depurado diseño. Mediante unas sencillas incisiones en las proximidades de las juntas entre paneles se reduce el efecto visual negativo de éstas.

En cualquier caso, dada la industrialización del proceso, la garantía de calidad puede ser mucho más alta manteniendo el precio, al igual que la limpieza y rapidez del montaje.

Obviamente, es una estructura sometida a las mismas exigencias de estabilidad que las paredes de obra de fábrica, que se resuelven mediante parecidos esquemas conceptuales, pero con soluciones concretas basadas en las uniones resistentes a compresión y tracción que se pueden establecer entre los paneles.

### ESTRUCTURAS MIXTAS DE MUROS Y PILARES

Para finalizar, mencionar la posibilidad de soluciones mixtas, como estructuras que utilicen muros de fábrica en las zonas perimetrales y pórticos en las interiores, para conseguir las ventajas de todos ellos, fachadas homogéneas duraderas y espacios flexibles interiores adaptables a nuevos usos. Sin embargo, esta interesante solución no tiene en la actualidad apenas desarrollo.

Otro tipo de estructura mixta es la que combina plantas bajas porticadas, en aras de su flexibilidad de uso (comercios, etc.) y las superiores de paredes de ladrillo para vivienda. A pesar de que fue un tipo de estructura de una importancia capital en la formación de nuestras ciudades a caballo entre los dos siglos xix y xx, tampoco se utiliza en la actualidad, y no porque no sea factible o útil.



## 6.2 Estructuras porticadas

### COMBINATORIA TIPOLÓGICA

#### ESTRUCTURAS PORTICADAS DE ACERO

Edificios de varias plantas

*Procedimientos para la estabilidad horizontal*

*Uniones entre elementos*

Edificios con espacios de gran tamaño

Métodos de protección contra incendios

#### ESTRUCTURAS PORTICADAS DE HORMIGÓN ARMADO

Prefabricadas

In situ

### COMBINATORIA TIPOLÓGICA

Bajo la denominación de estructuras porticadas se incluyen normalmente las que se resuelven con elementos lineales o barras, esto es, jácenas, vigas, pies derechos, etc., de acero o de hormigón. Pueden o no formar pórticos en el sentido mecánico del término (I-2, p. 48), pero siempre los elementos verticales son lineales, pilares o pies derechos en vez de muros. Para simplificar, se adopta generalmente esa denominación de porticadas.

En la actualidad, los diferentes tipos básicos de estas estructuras, y en nuestro entorno tecnológico, se basan en los dos materiales ya citados, acero y hormigón armado en sus diferentes variantes. En general, no se mezclan elementos principales de diferentes materiales, de manera que en la de hormigón los pilares y las jácenas son de ese material. Las excepciones a esta regla se citan a medida que van surgiendo en la exposición.

Dentro de cada tipo básico, los subtipos son consecuencia de la combinatoria de:

- los diferentes tipos edificios,
- los tipos de forjados posibles, y
- los procedimientos para contrarrestar los esfuerzos horizontales.

No se ha de olvidar que, al igual que en las estructuras de muros, en las porticadas el forjado también adopta el papel de transmisor de esfuerzos horizontales y, por ello, con mayor razón, las soluciones más convenientes son las más monolíticas.

### ESTRUCTURAS PORTICADAS DE ACERO

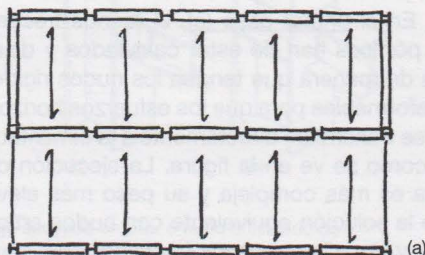
#### Edificios de varias plantas

Todo lo que a continuación se expone adquiere mayor importancia a medida que aumenta el número de plantas del edificio en cuestión. Si nos limitamos a las alturas moderadas propias de este libro, quedan expuestas las ideas necesarias más importantes.

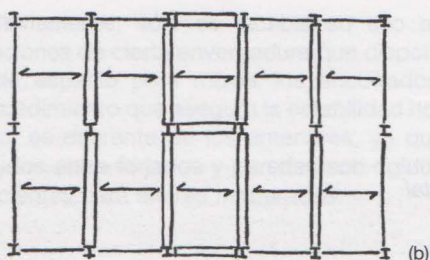
Sobre las jácenas y pilares de este material, ya citados en los temas anteriores, se apoyan los forjados que pueden ser prácticamente cualquiera de los indicados en II-5.2, aunque los más adecuados al proceso general de estas estructuras son las losas alveoladas prefabricadas o los de hormigón vertido sobre chapa grecada.

Una variante poco usual cuando las luces son importantes es la que utiliza jácenas mixtas con cabezas de hormigón.

Los detalles de las diferentes entregas entre perfiles y forjado se ven líneas adelante.





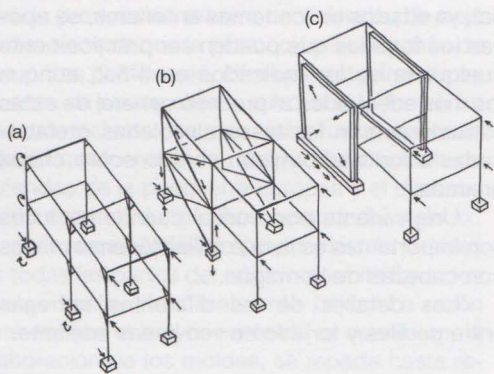


Si el edificio es alargado, las jácenas pueden orientarse en el sentido longitudinal (a) o en el transversal (b). En cualquier caso, se ha de resolver la estabilidad lateral.

### Procedimientos para la estabilidad horizontal

Supuesto un forjado monolítico de algunos de los tipos citados y una de las dos posibles orientaciones de las jácenas, las variantes son consecuencia de los métodos de estabilidad horizontal. En esencia son dos, en función del tipo de nudo que se forma entre pilares y jácenas:

- nudos rígidos por sí solos,
- nudos articulados con la ayuda de pantallas arriostrantes.

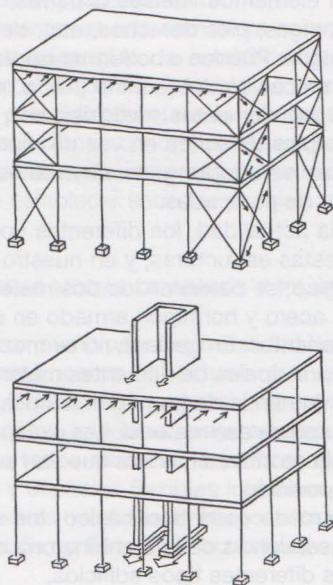


En el primer caso (a), el menos frecuente, los pórticos han de estar calculados y diseñados de manera que tengan los nudos rígidos o indeformables para que los esfuerzos horizontales se transmitan directamente a la cimentación, tal como se ve en la figura. La ejecución de la obra es más compleja y su peso más elevado que la solución equivalente con nudos articulados, y por ello es menos frecuente.

En el segundo caso (b) y (c), los nudos permiten el giro relativo entre las barras y, si no se pone remedio, dan lugar a una estructura que se puede plegar. Es necesario incluir pantallas similares conceptualmente a los muros arriostrantes vistos en el tema anterior, de las cuales hay que considerar dos aspectos básicos:

- su configuración constructiva y
  - su ubicación en el edificio.
- Las pantallas pueden ser de dos tipos:
- de perfiles metálicos formando una triangulación (b) o
  - de muros de hormigón armado (c).

La ubicación más adecuada de las espas depende de la configuración de la planta de cada edificio en concreto. En las figuras se ven soluciones en el exterior del edificio y en los cerramientos de los núcleos de comunicación vertical. Si son de hormigón, casi siempre ocupan esta última ubicación.



En zonas con riesgo sísmico, recuérdese (I-10) que las pantallas de rigidez deberán colocarse en dos direcciones y en posición simétrica, preferiblemente en el perímetro exterior de la planta o, en caso contrario, en posición central.

En el caso de los nudos rígidos, la importancia del monolitismo del forjado es menor que en el de los articulados, ya que en éste el



forjado es el encargado de llevar los esfuerzos del viento desde las fachadas hasta las pantallas.

La tipología completa de soluciones requiere el estudio de los grandes rascacielos de la arquitectura actual, ámbito que queda fuera de estas líneas, aunque, en realidad, presentan pocas variantes básicas a lo ya explicado.

Dada la necesidad de protección de los elementos metálicos, la participación de la estructura en la expresión exterior del edificio (dejando de lado los ejemplos ya lejanos en que toda la estructura se exhibía habitualmente) se reduce a pocos casos en los que se dejan aparentes con toda su potencia formal las cruces de san Andrés. En general, si no están mimadas por un buen acabado, puede ocurrir que los menos enterados digan que “de tal edificio todavía no han retirado los andamios”.



Dos rascacielos de construcción simultánea presentan las dos modalidades básicas de estabilidad horizontal.

Hagamos finalmente un somero repaso a una cuestión pendiente: las uniones entre los diferentes elementos.

**Uniones entre elementos**

El objetivo de este apartado no es hacer un catálogo exhaustivo sino, con unos pocos ejemplos, completar la visión de las estructuras metálicas de varias plantas llegando a las escalas de detalle, en lo relacionado con las uniones entre barras y en los tipos de forjados específicos para estas estructuras.

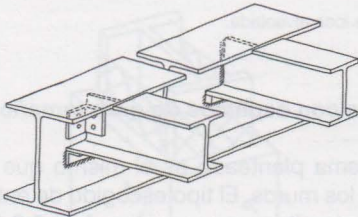
Los dos modos actuales de unir elementos metálicos son la soldadura y el atornillado.



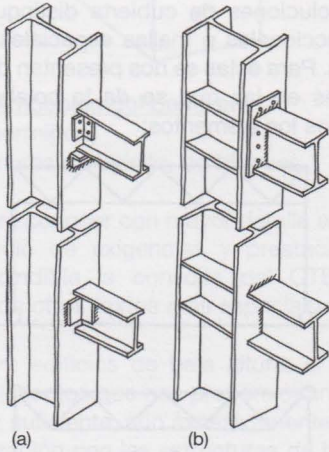
Unión de vigas y jácenas resueltas por atornillado.

La soldadura es el método habitual en el taller donde se prefabrican las diferentes partes de la estructura, y el atornillado, el que se utiliza habitualmente en su montaje en obra. Dada su dificultad, la soldadura en obra se reserva a situaciones muy especiales.

En las figuras quedan recogidas las uniones más habituales.

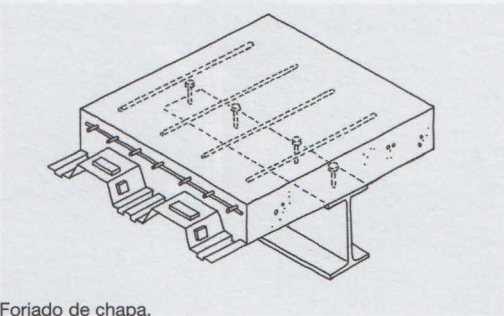


Embrochado de vigas.

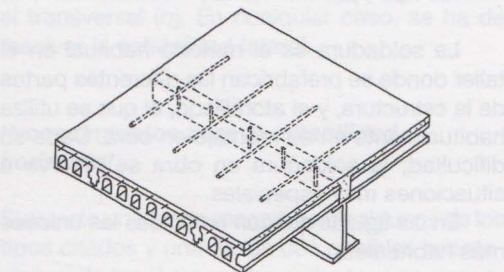


Viga apoyada en pilar o nudo articulado (a).  
Viga empotrada en pilar o nudo rígido (b).





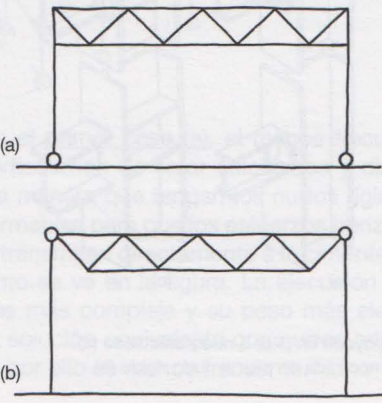
Forjado de chapa.



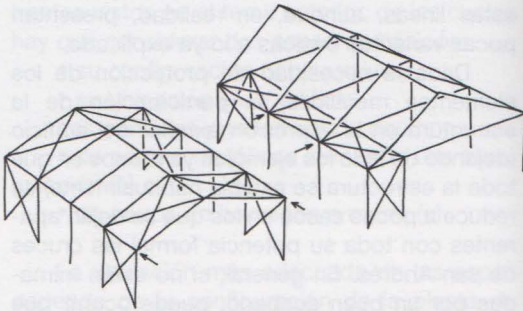
Forjado de losa alveolada.

Edificios con espacios de gran tamaño

El problema planteado es el mismo que en el caso de los muros. El tipo escogido de entre los de cubiertas ligeras expuestas en II-5.3 ha de encontrar apoyo en pies derechos, y el conjunto ha de resolver su estabilidad horizontal. De las soluciones de cubierta distinguiremos las bidireccionales o mallas espaciales de las normales. Para éstas se nos presentan diversas soluciones en las que se da la colaboración entre todos los elementos:



- pocos pies derechos, jácenas principales y secundarias con dos posibles soluciones a la estabilidad, nudos rígidos entre pilares y jácena (a) y empotramiento de los pilares al terreno (b),



- dos pies derechos para cada armadura o jácena, con soluciones al arriostramiento en el plano de cubierta.

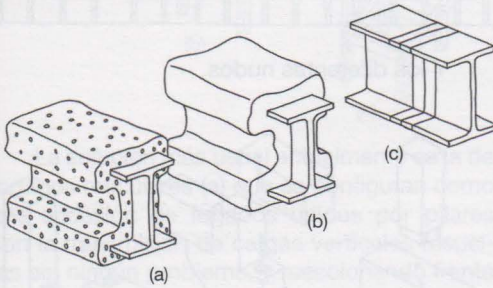
Si la cubierta es de malla espacial, lo cual no quiere decir que deba ser plana (I-p. 47 y p. 192, abajo dcha.), son los pies derechos o pórticos de apoyo por sí mismos los que han de asegurar la estabilidad. Los casos son variados, desde pilares empotrados en la cimentación hasta pórticos de varias crujeas de otros edificios contiguos, que, por supuesto, pueden ser de acero o de hormigón armado.

La percepción del espacio interior y sus cualidades expresivas será muy diferente en un caso o en otro. Una malla espacial crea un espacio que se puede definir como isótropo, es decir, con las mismas características en todas las direcciones. En cambio, los tipos más usuales de soporte de las cubiertas ligeras marcan claramente dos direcciones diferentes: una, la de menor tamaño, que queda marcada por el trazado de los elementos resistentes principales, vigas, jácenas, llenas o en celosía, metálicas o de madera laminada; la otra, perpendicular a la anterior, marcada por el trazado de las correas, si es que quedan a la vista. Normalmente, son las jácenas las que reciben un cuidado diseño en función de su singular presencia en el interior.



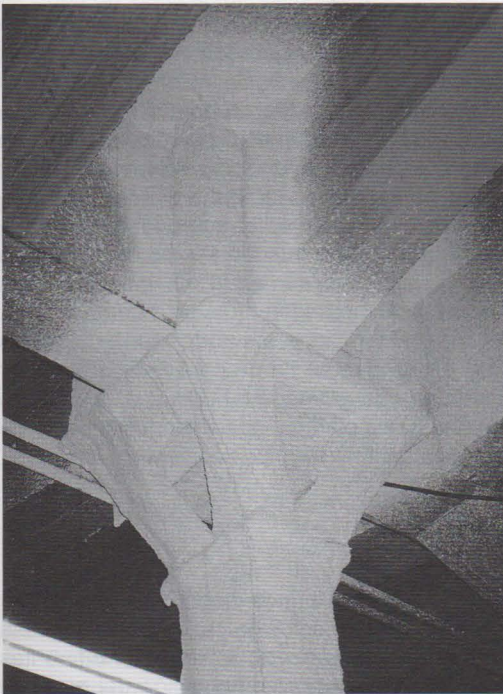
## Métodos de protección contra incendios

Sin duda, el talón de Aquiles de todas estas soluciones está en la baja resistencia del acero a la deformación bajo el efecto del fuego. Lo ya dicho en I-9, p. 120 sobre la cuestión se complementa ahora con una relación más amplia de los sistemas de protección, que pueden ser los siguientes.



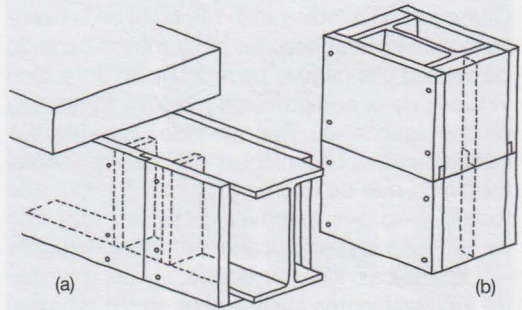
1) contorneado del perfil mediante la aplicación sobre él de:

- mortero de cemento con vermiculita, perlita, o fibras minerales, proyectado (a),

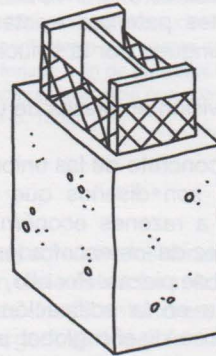


Una vez proyectado el mortero aislante, la aristada forma original se torna redondeada.

- mortero de yeso con fibras de lana de roca, perlita, proyectado (b),
- pintura intumescente (recuérdense sus limitaciones, I-9) (c),



- 2) cajeado alrededor del perfil, con
- placas o paneles de cartón yeso, lana de roca, etc., en jácnas (a), en pilares (b),
  - tabiques de ladrillo cerámico y yeso,



3) embebido del perfil, en

- hormigón,
- muros de ladrillo, de bloques.

Para conocer con mayor detalle el complejo cálculo de exigencias y prestaciones, es imprescindible la consulta del CTE-SI y la ayuda de otros textos más especializados.

Para edificios de baja altura, si bien son procedimientos que nos proporcionan una protección suficiente, son excesivamente caros en comparación con las estructuras de hormigón. En consecuencia, las estructuras de acero sólo son competitivas en la actualidad si el edificio es de muchas plantas de altura.



## ESTRUCTURAS PORTICADAS DE HORMIGÓN ARMADO

### Prefabricadas

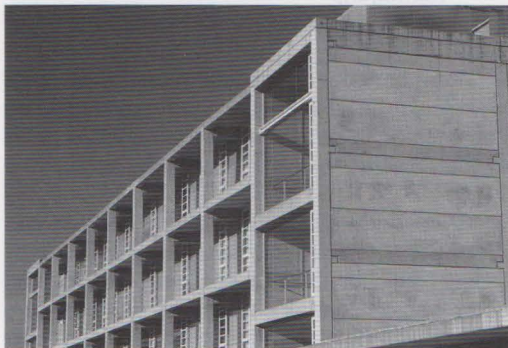
Como ya se ha indicado (I-14), unas de las ventajas de la prefabricación es la mayor garantía de calidad y la rapidez de montaje en obra. Son virtudes de la construcción metálica frente a la de hormigón in situ. Por otro lado, ya se han expuesto los inconvenientes de las de acero. Es lógico que se intente reunir las ventajas de todas, y no sus inconvenientes, en otro tipo de estructura, prefabricada, pero de hormigón.

Como casi siempre ocurre, el intento arrastra inconvenientes inexistentes en las técnicas que se intentan superar, en este caso, la unión entre las piezas. Como ya se ha visto, ni el acero ni el hormigón in situ presentan ninguna dificultad al respecto. Pero la prefabricación en general y la de piezas prismáticas en particular tiene ese problema como principal.

Las diferentes patentes existentes en el mercado se distinguen por la solución proporcionada:

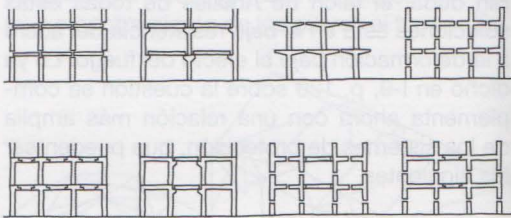
- a la subdivisión en piezas de una estructura de barras, y
- al diseño concreto de las uniones.

En general, son diseños que responden prioritariamente a razones económicas basadas en la sencillez de los encofrados y la repetición al máximo de piezas. Por ello, su máxima utilización se da en la edificación industrial. Pero un cuidadoso diseño global puede integrar la sencillez del procedimiento en un conjunto de gran valor arquitectónico.

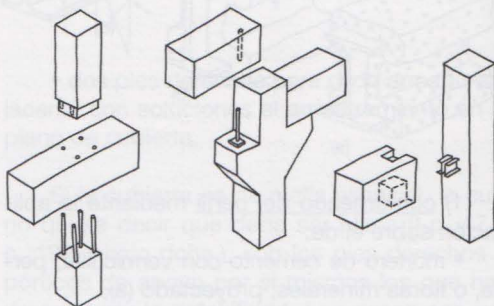


La prefabricación sólo es rentable si la arquitectura supera sus limitaciones formales.

Las diferentes maneras de subdividir los pórticos pueden ser las de la figura.



Y los diferentes nudos.



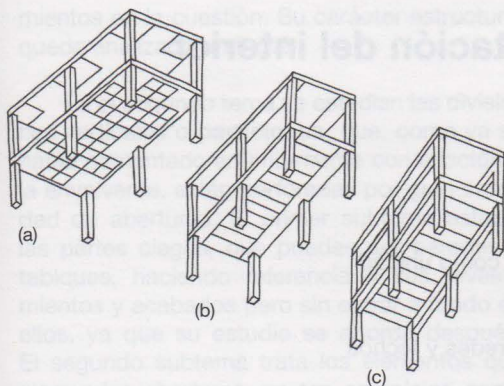
Los forjados se resuelven con alguno de los prefabricados ya citados en II-5.2.

Las diferencias del comportamiento mecánico con las estructuras de hormigón in situ son claras. La mayor dificultad se da en conseguir la continuidad o un empotramiento entre elementos. Obviamente, los métodos de estabilidad horizontal no pueden ser los del hormigón in situ, que se basan en la continuidad de las barras y el hormigón que da nudos rígidos. En las prefabricadas, los nudos son articulados y la estabilidad se ha de conseguir o bien por pantallas que rellenen los huecos, o en edificios de una o dos plantas, con el empotramiento de los pies derechos en las zapatas.

### In situ

Para edificios de alturas moderadas, de 10 hasta 15 plantas, la solución casi siempre se basa en el hormigón armado in situ. Los diferentes tipos se forman por combinación del procedimiento de estabilidad lateral con las jácenas y forjados vistos en II-5.1 y 5.2.

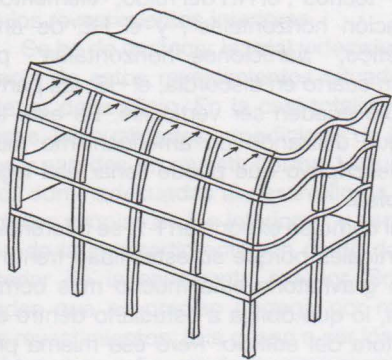




La solución más usual actualmente es la de forjados reticulares (a) que se configuran como una sucesión de forjados unidos por pilares con la transmisión de cargas verticales resueltas sin ningún problema, y reaccionando frente a las horizontales a través de la rigidez de sus nudos.

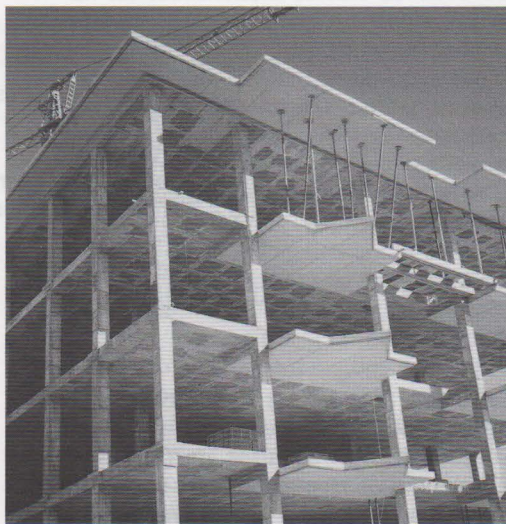
También son utilizadas las estructuras realizadas mediante pórticos, habitualmente de jácenas planas (b) o de canto (c), unidas por forjados de vigas unidireccionales.

En todos los casos, el papel del forjado pasa a ser equivalente al que hemos considerado anteriormente en relación con las estructuras de muros. Los forjados actúan como elementos que transmiten las acciones horizontales y además, si su unión a los pies derechos es de nudos rígidos, también se contrarrestan las acciones horizontales.



En función de la altura del edificio será necesario o no añadir algún elemento de rigidización equivalente a las pantallas de hormigón armado expuestas en el apartado anterior.

Para edificios de más altura, es necesario acudir a las estructuras metálicas, más ligeras.



Estructura resuelta con forjados reticulares. El hormigón in situ permite un ilimitado número de soluciones; en este caso, las losas correspondientes a las terrazas se sitúan en un nivel más bajo del forjado a fin de favorecer las vistas desde el interior. (Estructura del edificio que aparece en I-pp. 19, 21, 204 y 217 y III-p. 155).

• • •

Para finalizar, conviene insistir en que la correcta concepción de la estructura, además de todo lo dicho en las líneas anteriores, depende de su adaptación geométrica y formal al espacio, el uso del cual está claramente condicionado por la presencia de esos elementos estructurales.

La posible relación conflictiva con la distribución del espacio es específica de la estructura, ya que las otras partes básicas, la envolvente o la compartimentación apenas presentan dificultades para adaptarse a cualquier forma de contorno del espacio. En cambio, la estructura es la que genera básicamente el espacio y sus implicaciones mutuas son numerosas, intensas y potencialmente conflictivas.

En cualquier caso, la formación del espacio requiere de la envolvente y la compartimentación. El capítulo siguiente aborda el estudio de ésta como conformadora del espacio y especialmente como definidora del ambiente.



## CAPÍTULO III. La compartimentación del interior

### 7. Entrepisos

### 8. Particiones

#### 8.1 Tabiques y paredes

#### 8.2 Puertas

### 9. Revestimientos

#### 9.1 La envolvente interior como unidad

#### 9.2 Pavimentos interiores

#### 9.3 Falsos techos

#### 9.4 Revestimientos de paredes y techos

### 10. Escaleras

En la casi totalidad de los edificios, el espacio delimitado por la envolvente y la estructura se subdivide en espacios de menor tamaño. El conjunto de elementos que aporta esta subdivisión se denomina compartimentación, y se compone de:

- elementos horizontales o entrepisos,
- elementos verticales o particiones.

Tal como se expone en I-1, estos elementos están sometidos a cinco requisitos básicos, tres de los cuales también afectan a los de la envolvente. Los comunes con éstos son:

- ser estable,
- controlar el ambiente, y
- organizar las relaciones de uso entre los espacios.

Los dos requisitos propios son:

- los verticales deben aportar flexibilidad a los cambios de uso, y
- tanto verticales como horizontales deben facilitar la actividad cotidiana del usuario.

Efectivamente, son los elementos del edificio, junto con los de la cara interior de la envolvente, con los que entramos en contacto cada día y, por ello, los diferentes usos de los edificios influyen mucho en su configuración. Es decir, mientras que, por ejemplo, las cubiertas e incluso las partes ciegas de las fachadas de un hotel y un cuartel pueden ser parecidas, sus cerramientos interiores deben ser bien diferentes.

A todo lo cual se añade otra exigencia particular, consecuencia de su situación interior: la compartimentación es la parte del edificio que ha de soportar el equipo y dar cobijo a las instalaciones.

Su estudio se organiza en cuatro temas que se ordenan según el criterio general del libro. En el primero se consideran los elementos divisorios horizontales. Su denominación tiene ciertas dificultades, ya que como divisiones del espacio no están designados habitualmente por ningún término específico. El estudio de los tratados de construcción antiguos permite ver que se les denomina pisos, suelos o techos. Pero en ningún momento aparece un término que defina exactamente el conjunto formado por un pavimento, un elemento estructural del tipo entramado de vigas o forjado y un revestimiento de la cara inferior o techo. El CTE no resuelve la cuestión. Tres de los Documentos Básicos se refieren a él con términos diferentes. Así, el SI lo denomina sencillamente “techos”, el HR del ruido, “elementos de separación horizontales”, y el HE de ahorro energético, “particiones horizontales”, pero, para un cuarto en discordia, el HS, las particiones sólo pueden ser verticales. En este texto se sigue utilizando un americanismo mucho más descriptivo que puede llenar esa laguna: **entrepiso**.

Tal como se expone en I-1, se diferencia de los verticales porque su estabilidad frente a la acción gravitatoria está mucho más comprometida, lo que obliga a estudiarlo dentro de la estructura del edificio. Pero esa misma prioridad estructural ha llevado a relegar, habitualmente, su carácter de elemento divisorio del espacio con unas necesarias cualidades aislantes. En II-7 se los aborda desde este punto de vista destacando la influencia de sus revesti-



mientos en la cuestión. Su carácter estructural queda analizado en II-5.2.

En el segundo tema se estudian las divisiones verticales o **particiones**, que, como ya se había comentado anteriormente con relación a la envolvente, están perforadas por gran cantidad de aberturas. El primer subtema estudia las partes ciegas, que pueden ser paredes o tabiques, haciendo referencia a sus revestimientos y acabados pero sin entrar a fondo en ellos, ya que su estudio se aborda después. El segundo subtema trata los elementos que cierran las aberturas, no tan complejos como los exteriores y que se limitan a las puertas interiores.

La cuestión terminológica tampoco está bien resuelta. El CTE-HS las denomina particiones a secas, el HE las diferencia de las posibles particiones horizontales añadiendo "verticales", y el HR distingue entre tabiquería y "elementos de separación verticales", que son los que separan espacios de usuarios distintos, independientemente de su configuración constructiva.

En general, no se da en la compartimentación la necesidad de un estudio global similar al que se desarrolla en la envolvente o en la estructura, pero sí son útiles dos visiones unitarias. La primera: considerar, en relación con el aislamiento del ruido, el comportamiento conjunto de particiones y entrepisos, tal como se expone en los dos temas correspondientes. La segunda, de más calado: la visión conjunta de los revestimientos interiores.

Se ha de destacar la total y decisiva importancia de estos revestimientos situados en el interior del edificio. En la casi totalidad de los casos, las cualidades superficiales de los forjados y paredes sin revestir (forma, textura, color, etc.) son inadecuadas al desarrollo de las actividades propias de los interiores, y eso tanto si son de la compartimentación como de la cara interior de la envolvente exterior. Son cualidades que es preciso corregir por medio de los revestimientos, que pasan a ser los responsables de configurar de la manera más agradable los espacios en los que pasamos gran parte de nuestras vidas. Y, precisamente por eso, una de las claves para entender estos revestimientos es que su conjunto actúa sobre

nosotros como lo que se puede denominar la **envolvente interior**.

En consecuencia, el estudio de los revestimientos en el tercer tema se inicia por esa visión conjunta y sólo después sigue por cada uno de ellos según su situación –**suelos, techos o paredes**– en los correspondientes subtemas, destacando su doble pertenencia, a esa envolvente interior y a las particiones, los entrepisos, o los paramentos internos de la envolvente exterior, es decir, fachadas, cubiertas y soleras o forjados sobre el terreno. La pertenencia a cada uno de esos elementos conlleva unas determinadas exigencias específicas y la pertenencia a la envolvente interior, otras. De entre éstas se debe destacar que los revestimientos son los que acaban de perfilar el ambiente y sobre todo la conveniencia estética privada de los usuarios del edificio, estrechamente relacionada con la definición final del **espacio interior**.

Para completar el recorrido, el cuarto tema estudia las **escaleras**, que organizan la comunicación en vertical del edificio a través de las aberturas en los entrepisos. Las escaleras requieren de algunas de las características estructurales de éstos y, además, de los revestimientos analizados en el tema tercero, junto con parapetos o barandillas adaptadas a esta situación particular.

Por último, es preciso no olvidar que todos los elementos de la compartimentación están afectados, aunque en menor intensidad que los de la envolvente, por acciones que merman su integridad, y que también deben contribuir a garantizar la de los usuarios, especialmente en relación con el fuego, todo lo cual se deberá prever en su elección o diseño.



## TEMA 7. Entrepisos

### NATURALEZA Y COMPOSICIÓN

#### COMBINATORIA TIPOLÓGICA

#### PRESTACIONES Y CRITERIOS DE ELECCIÓN

Adecuación del espacio

Adecuación del ambiente

*Aislamiento térmico*

*Aislamiento del ruido*

Integridad

*Protección contra el fuego*

### NATURALEZA Y COMPOSICIÓN

A los elementos que separan horizontalmente los diferentes espacios interiores se los denomina en este texto entresijos.

Tal como ya se ha dicho, la razón para utilizar este neologismo es que no existe en la tradición de los tratados de construcción en castellano una palabra equivalente. Variando de unos autores a otros, los términos utilizados son suelo, piso o techo. Pero ninguno de los tres en sí mismos abarca el conjunto formado por todos ellos: el piso o suelo, el techo o revestimiento inferior y el elemento resistente o entramado de vigas que permite salvar la luz del espacio que cierra.

Desde el punto de vista de la separación de espacios, los aislamientos, especialmente el acústico y la protección contra el fuego, los tres elementos actúan conjuntamente en mayor o menor medida según los casos. De manera que utilizar la palabra entramado o forjado también es limitativo e impropio ya que no abarca el conjunto. En cambio, el término entresijo incluye los tres elementos básicos.

Dedicar un tema a este elemento tiene por objetivo compensar su habitual olvido como tal, además de mantener la aproximación al edificio del resto de los capítulos, distinguiendo los elementos horizontales de los verticales, destacando similitudes y diferencias. Se trata de enfatizar su importancia como elemento complejo, suma de tres elementos muy influyentes en el ambiente sonoro de los edificios, pero cuyo habitual tratamiento descompuesto en partes, sin analizar su comportamiento conjunto, ha llevado casi a olvidarlo como tal elemento.

### COMBINATORIA TIPOLÓGICA

Los diferentes tipos de pavimentos y techos quedan analizados en II-9. Los de los forjados en II-5.2.

Los diferentes tipos de entresijos se forman a partir de la combinatoria posible entre sus tres partes constituyentes: suelos, techos y forjados. Pero, si bien este número es muy elevado, la práctica habitual en nuestro país, hasta la aparición del CTE, ha reducido a bien pocos los utilizados. Sin duda, puede decirse que el forjado reticular, o bien de viguetas semirresistentes, unido a un suelo de terrazo colocado directamente sobre él y un revestimiento continuo de yeso en la parte inferior, ha sido el entresijo mayoritariamente utilizado en nuestro país. Lo cual no quiere decir que su comportamiento se ajuste de manera óptima a las necesidades de los usuarios, ya que la experiencia demuestra que tiene dos defectos de importante calado: su deformación a largo plazo ocasiona desarreglos en los tabiques, y sus cualidades aislantes del ruido son, a pesar de lo que dijera la vieja norma básica NBE-CA-88, muy reducidas.

El nuevo CTE-HR introduce cambios muy importantes. Por ello, más que desarrollar en este apartado un estudio completo de los tipos, es preferible pasar al análisis detallado de cómo obtener las prestaciones exigidas. De este modo podremos establecer cuáles son las bases mínimas que permiten fijar lo que es un entresijo aislante y, en función de éstas, proponer los entresijos razonables para nuestra manera de construir.



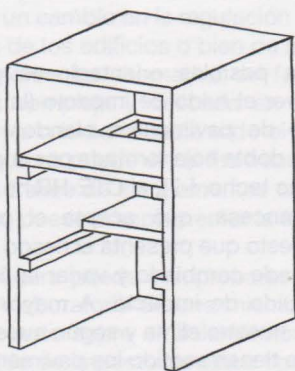
## PRESTACIONES Y CRITERIOS DE ELECCIÓN

### Adecuación del espacio

La función espacial que le corresponde al entrepiso es bien clara: definir los planos horizontales que sirven de apoyo a todas las actividades a desarrollar en el edificio. Si comparamos el entrepiso con la partición (II-8), podemos ver sus claras diferencias según los cinco puntos de vista que se aplican a ésta: estabilidad inicial, geometrías complejas, variación en el tiempo, continuidad de sus paramentos y transparencia a las vistas.

La estabilidad inicial pasa a ser un problema de primer orden, ya que son elementos horizontales sometidos a la acción gravitatoria, que necesitan, por un lado, suficiente inercia para ser rígidos y, por otro, dos apoyos en sus extremos. Dada su trascendencia, queda desarrollado en el estudio de los elementos que han de aportar esta rigidez: los forjados, en II-5.2.

La capacidad de generar formas diferentes a la horizontal no es imposible, pero no es en absoluto deseada; los planos de los entrepisos difícilmente pueden tener otras formas, aunque puede considerarse la posibilidad de hacer diferentes niveles conectados con escaleras.



Uno de los aspectos clave de las particiones, su capacidad para variar en el tiempo, en el caso del entrepiso es prácticamente nula, y en pocas ocasiones es necesario cambiar el nivel de apoyo de las actividades. Existen, no obstante, propuestas que organizan la estructura dando prioridad a este objetivo tal como la

que aparece en la figura. Si bien es un ejercicio conceptual interesante, en muy pocas ocasiones se realizan esos cambios.

Los aspectos ligados a los acabados superficiales vienen determinados por sus revestimientos, o bien pavimentos, o bien techos, tal como se indica en los dos temas específicos.

La transparencia a las vistas en bien pocas ocasiones es necesaria, pero quizás sí que lo es una cierta capacidad de traspasar la iluminación. En ese caso, la solución pasa por utilizar los lucernarios planos expuestos en III-9.3.

En cuanto a la incorporación de equipo, repetimos lo dicho en la frase anterior en relación con los revestimientos superior e inferior.

### Adecuación del ambiente

#### Aislamiento térmico

El CTE-HE no indica nada sobre las separaciones entre usuarios distintos de un mismo edificio, pero sí establece que cualquier cerramiento en contacto con espacios interiores no habitables, como sería un entrepiso sobre un sótano no habitado o bajo un desván, debe tener unas transmitancias térmicas máximas, según la zona climática, con unos valores que van desde 1,22 W/m<sup>2</sup>K para la zona A a 0,74 W/m<sup>2</sup>K para la E (I-4).

Sin duda, la exigencia que afecta de manera radical a los entrepisos es la acústica.

#### Aislamiento del ruido

Los entrepisos están sometidos a una doble exigencia: frente al ruido aéreo y frente al ruido de impacto.

Como ya se ha dicho en I-7, las exigencias normativas en nuestro país debido a la puesta en vigor del CTE-HR se han acercado a las de las de nuestros vecinos inmediatos. En el cuadro siguiente quedan establecidas en sus valores numéricos generales.

Debe insistirse en que son valores a obtener in situ y comprobables mediante una medición real. En la antigua norma española, los valores eran más bajos y atribuibles a los ele-



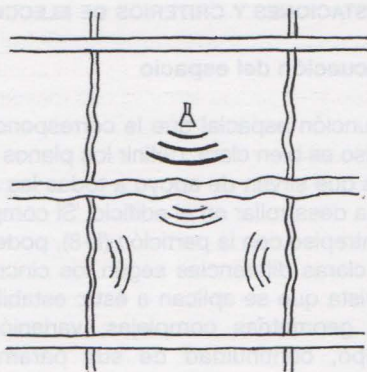
mentos constructivos independientemente de su posible comprobación real. Es importante insistir en esta cuestión porque la renovación de nuestra obsoleta norma NBE-CA-88 por el CTE-HR, que se basa en esa comprobación in situ, supone un cambio enorme.

|               | aislamiento ruido<br>aéreo en dBA | ruido de impacto<br>máximo en dBA |
|---------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| <b>España</b> | <b>50</b>                         | <b>65</b>                         |
| Francia       | 54                                | 60                                |
| Alemania      | 56                                | 53                                |
| Austria       | 54                                | 50                                |
| Reino Unido   | 52                                | 62                                |
| Portugal      | 51                                | 60                                |

En primer lugar, es conveniente dejar establecido cuál es el comportamiento del elemento que en el párrafo anterior hemos considerado como entrepiso habitual en nuestro país, al menos hasta el CTE, un forjado reticular con un pavimento de terrazo y un enlucido de yeso. La NBE-CA-88, atribuía a un forjado de 25 cm de canto, 55 dBA para el ruido aéreo y 80 dBA para el ruido de impacto, que cumplían sobradamente las exigencias de aislamiento a ruido aéreo (45 dBA) y de manera muy ajustada el de impacto (80 dBA). Con todo, ensayos en laboratorio realizados por organismos europeos permiten asegurar que estos valores en realidad son del orden de 50 dBA y 90 dBA respectivamente, con lo que se puede afirmar que la norma española daba valores erróneos y que su cumplimiento sobre el papel no conducía a su cumplimiento real.

Pero la realidad siempre es más compleja, y según ensayos realizados por los autores de este libro en un edificio construido por ellos (ver revista *CAU, Construcción, Arquitectura, Urbanismo*, 76, Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Cataluña y Baleares, Barcelona, diciembre de 1981) se pudo comprobar que este mismo tipo de forjado mediante una medición in situ sólo aportaba un aislamiento frente al ruido aéreo de 37 dBA.

Las razones cabe atribuir las a las transmisiones indirectas. En este caso tenían especial influencia los tabiques de ladrillo hueco sencillo que, con su poca masa y su unión rígida con los forjados, actuaban como amplificadores de



la vibración de éstos. Se puede afirmar, en consecuencia, que la construcción habitual en nuestro país ha distado mucho de cumplir incluso los pobres niveles exigidos por su antigua normativa.

La entrada en vigor del CTE-HR supone un cambio radical en este panorama, no sólo por las dos razones ya expuestas hasta ahora (incremento de la exigencia, posible medición in situ), sino por una tercera de importancia decisiva: tal como se explica líneas adelante, la inclusión de la influencia de las transmisiones laterales, que, como se comprueba en el caso anterior, puede trastocar cualquier previsión.

De las posibles orientaciones generales para resolver el ruido de impacto (la inhibición por medio de pavimentos blandos, el aislamiento por doble hoja formada por una losa flotante o falso techo, I-7), el CTE-HR no ha adoptado la francesa, que acepta el pavimento blando, puesto que presenta el riesgo de que el usuario puede cambiarlo y variar la prestación frente al ruido de impacto. A mayor abundamiento, en nuestro clima y según nuestras costumbres no tienen sentido los pavimentos blandos de tacto excesivamente cálido, que, si bien pueden ser razonables en invierno, no lo son prácticamente en ninguna región de nuestro país en verano.

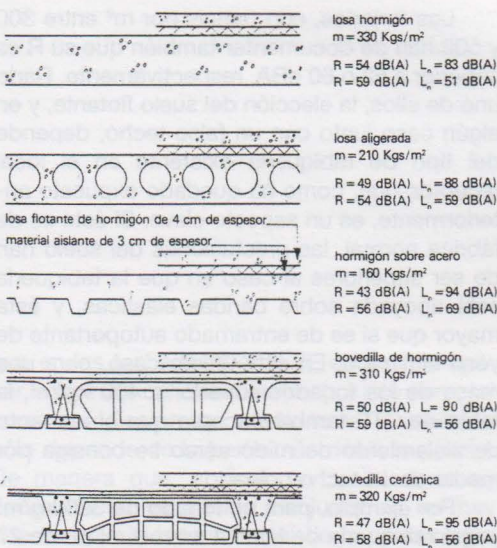
El CTE-HR ha adoptado la línea, que podemos denominar alemana, de no considerar la influencia del revestimiento en el aislamiento frente al ruido de impacto, y forzosamente la



solución pasa por incluir una losa flotante o falso techo. Sin duda, las losas flotantes son elementos constructivos de cierta complejidad que suponen una renovación de los usos habituales de nuestra construcción; otras soluciones menos complejas son el parquet flotante, ¡atención! ¡con prestaciones acústicas certificadas!, o la cerámica sobre láminas aislantes frente a la vibración (II-9.2), aunque no debe olvidarse que ningún revestimiento simple tiene efectos positivos sobre el aislamiento ante el ruido aéreo, sino que es el forjado por sí mismo, con su masa, el que debe aportar dicha prestación. En cualquier caso, no es ocioso recordar que el CTE obliga en el caso de separaciones entre dos vecinos; pero si el caso a resolver es un entrespacio de una misma vivienda, podemos utilizar, si se consideran útiles, los pavimentos blandos.

Sin duda, la gran ventaja de la losa flotante es que incrementa tanto el aislamiento del ruido de impacto como del aéreo, aunque a cambio de un incremento de peso. Pero los forjados actuales ya son excesivamente pesados y deformables, por lo que sería razonable experimentar losas flotantes combinadas con forjados lo más ligeros posible, con un canto mayor del utilizado en la actualidad, es decir, al igual que en las particiones, la doble hoja ligera. Esta solución conlleva, indeclinablemente, un cambio en la regulación o bien de las alturas de los edificios o bien de las alturas libres interiores. La alternativa del falso techo desligado, compleja y delicada en sí, no resuelve con la misma eficacia todo el problema debido a que no puede evitar las transmisiones laterales a través de los elementos estructurales, aunque puede complementar la eficacia de la losa.

En la figura puede comprobarse el efecto medido en laboratorio de una misma solución de losa flotante sobre el aislamiento de ruido aéreo y ruido de impacto de cinco tipos de forjados (fuente: CSTB de París). Se comprueba que incluso con un forjado ligero de 200 kg/m² es posible acercarse a los mínimos habituales de las normativas. Quedaría por ver en cada caso el efecto de las transmisiones laterales. Por debajo de aquel valor de la masa, difícilmente se pueden cumplir.



Para aproximarse a las soluciones constructivas que den respuesta a las exigencias (50 dBA aéreo y 65 dBA impacto), el CTE-HR propone dos opciones: la general, basada en cálculos bastante complejos, y la simplificada (mediante tablas), para edificios de uso residencial.

En la tabla para entrespacios o separaciones horizontales se combinan todas las variables expuestas en las líneas anteriores a partir de las prestaciones de cada elemento por sí mismo, que es preciso demostrar documentalmente para cada caso concreto o bien en los catálogos de soluciones, públicos o privados, o por ensayos garantizados. Se parte del supuesto de que, bien combinados constructivamente entre sí esos elementos, proporcionan la prestación deseada. Para facilitar su comprensión, reproducimos los dos casos extremos de forjados de la tabla (excepto los valores de kg/m², todos los valores de la tabla están en dBA).

|         |                | tabiquería normal |    | tabiquería sobre bandas elásticas |    | tabiquería de entramado autoportante |       |       |
|---------|----------------|-------------------|----|-----------------------------------|----|--------------------------------------|-------|-------|
| forjado |                | suelo flotante    |    | suelo flotante                    |    | suelo flotante                       | techo |       |
| kg/m²   | R <sub>A</sub> | ΔL                | ΔR | ΔL                                | ΔR | ΔL                                   | ΔR    | ΔR    |
| 300     | 52             | 27                | 18 | 23                                | 11 | 16                                   | 6     | 0     |
| 400     | 57             | 23                | 9  | 18                                | 6  | 12                                   | 4 / 0 | 0 / 4 |
| 500     | 60             | 21                | 7  | 14                                | 6  | 8                                    | 2 / 0 | 0 / 2 |



Los forjados, con masas por  $m^2$  entre 300 y 500 han de documentar también que su  $R$  es superior a 52 o 60 dBA, respectivamente. Dado uno de ellos, la elección del suelo flotante, y en algún caso junto con un falso techo, depende del tipo de tabiquería existente en el local receptor, que, como ha quedado expuesto anteriormente, es un aspecto clave. Si ésta es de fábrica normal, las prestaciones del suelo han de ser superiores al caso en que la tabiquería esté apoyada sobre bandas elásticas, y ésta mayor que si es de entramado autoportante de yeso laminado. En este último caso, para una masa de los forjados superior a  $400 \text{ kg/m}^2$ , la tabla de CTE también acepta que el aumento de aislamiento de ruido aéreo se consiga por medio de un techo colgado.

Por ejemplo, para un forjado de  $300 \text{ kg/m}^2$  y una tabiquería de fábrica normal, el  $\Delta L$  de 27 se podría conseguir (siempre se ha de comprobar experimentalmente) con una losa flotante de 4 cm de espesor sobre un capa de poliéstereno elastificado de 2 cm. Es preciso comprobar que su  $\Delta R$  sea de 18. Si no, haría falta complementarla con un falso techo con  $\Delta R$  de 3, pero el CTE no lo indica. Si la tabiquería es de yeso laminado sobre entramado, a la losa flotante se le puede exigir algo menos. Si el forjado es muy pesado, se puede exigir menos a la losa. No es baladí insistir en que todo ello repercutirá en las alturas libres entre suelos y techos.

Las exigencias en el caso de que el entrepiso separe un espacio protegido de un cuarto de instalaciones se incrementan (ruido aéreo a 55 dBA e impacto a 60 dBA), de tal forma que los elementos deben ser bastante más eficaces. La tabla aporta muchas indicaciones para este caso.

En el CTE-HR se hacen muchas más observaciones que aquí no tienen cabida por su complejidad y extensión.

Por último, cabe considerar una tendencia de evolución de los entrepisos en edificios altamente tecnificados de uso administrativo, de oficinas o de viviendas en un futuro más lejano. Debido a la elevada densidad de instalaciones, es habitual dejar cámaras en el techo y cámaras por debajo de los suelos. Esta configuración permite imaginar fácilmente una nueva organización basada en estructuras ligeras,

con revestimiento superior e inferior con una ligera capa de estanquidad al aire que resuelva todos los problemas mediante el sistema de doble hoja desde el punto de vista acústico. El forjado desaparece como tal y queda lo que podríamos denominar un entrepiso ligero de doble hoja.

## Integridad

### Protección contra el fuego

El papel que el entrepiso debe desarrollar en un incendio es consecuencia de su doble papel de elemento estructural y de cerramiento que puede separar dos sectores de incendio. Si el entrepiso es además un separador de sector de incendios, ha de presentar la prestación EI (I-9) con el mismo valor en tiempo, es decir, las exigencias estructurales  $R 30$ ,  $R 60$  pasan a denominarse  $REI 30$ ,  $REI 90$ , etc. En I-9 se presenta la tabla según la cual el CTE-SI establece la prestación necesaria.

Los revestimientos de techo o suelo también están sometidos a ciertas condiciones (II-9).

Recuérdese que la cifra indica el número de minutos que el elemento supuestamente atacado por el fuego ha de mantener sus propiedades; si es sólo elemento portante, se indica con  $R$ ; si debe separar sectores de incendio, con  $EI$ , que además de mantenerse estable, ha de impedir el paso de las llamas y los gases inflamables, y contar con la resistencia térmica adecuada para que las temperaturas en la cara no incendiada no sean excesivas. En el CTE-SI se especifican los valores concretos y los métodos de ensayo de los productos industriales o elementos tradicionales para averiguar sus prestaciones al respecto.



## TEMA 8. Particiones

### 8.1 Tabiques y paredes

### 8.2 Puertas

Las divisiones interiores verticales o particiones se componen, al igual que las fachadas, de aberturas y partes ciegas. Éstas pueden ser paredes interiores, tabiques o tabicones. Las aberturas quedan controladas por las puertas.

En los dos subtemas siguientes se estudian por separado, pero antes es conveniente destacar los requisitos que les afectan simultáneamente y cuya respuesta es función de su comportamiento conjunto.

Uno de los factores que más condicionan su diseño es la adaptabilidad a los cambios de uso. Los requerimientos pueden ir desde el caso de una sala de grandes dimensiones que, en ciertos momentos, deba subdividirse en otras salas más pequeñas con puertas correderas de grandes dimensiones o tabiques móviles, hasta el otro extremo: por ejemplo, el bloque de las habitaciones de un edificio hotelero, que difícilmente cambiará su estructura por mucho que cambien las costumbres. En el centro, encontramos los edificios de oficinas, en los que la adaptación a las diferentes organizaciones funcionales de las empresas requiere la posibilidad de un cambio frecuente; la vivienda o incluso los edificios escolares de todos los niveles, están sujetos a cambios más lentos, pero seguros.

Las soluciones van desde los inamovibles muros de carga hasta las citadas puertas correderas de grandes dimensiones, pasando por las mamparas desmontables de quita y pon. En estos dos casos se difumina la diferencia entre parte ciega y abertura.

El aislamiento del ruido es el segundo factor que requiere considerar conjuntamente parte ciega y abertura, al menos en principio. Al igual

que en las fachadas (ver III-8), es posible aplicar la fórmula del aislamiento conjunto pero, tal como se indica en ese mismo tema, el resultado sólo depende de la parte más débil, la puerta. De manera que, al final, en realidad no es necesaria su valoración conjunta. Si no hay puertas, el aislamiento es el de la parte ciega; si hay una puerta, el aislamiento es el que aporta ésta, por muy gruesa que pueda ser la pared. En cualquier caso, no hay que olvidar la interrelación con el entrepiso (ver II-7).

Por último, respecto a la protección contra el fuego, es conveniente señalar que si una partición forma parte de la compartimentación de un sector de incendios, la puerta debe tener una resistencia al fuego más o menos igual a la mitad de la resistencia de la parte ciega (II-8.2).

El resto de los requisitos afectan sólo separadamente a cada una de las dos partes.



## 8.1 Tabiques y paredes

### COMPOSICIÓN Y PARTES

#### COMBINATORIA TIPOLÓGICA

#### DESCRIPCIÓN DE TIPOS

De obra de fábrica

Prefabricadas

#### PRESTACIONES Y CRITERIOS BÁSICOS DE ELECCIÓN Y DISEÑO

Adecuación del espacio

*Estabilidad inicial*

*Forma de la sección horizontal*

*Flexibilidad de uso*

*Continuidad de sus paramentos*

*Vistas*

Adecuación del ambiente

*Aislamiento térmico*

*Aislamiento del ruido*

Integridad

*Del usuario*

*Propia*

Equipo e instalaciones

*Incorporación de equipo*

*Incorporación de instalaciones*

### COMPOSICIÓN Y PARTES

La diferencia entre paredes, tabicones o tabiques estriba en su espesor; sin que las fronteras estén bien definidas, podemos decir que un tabique tiene menos de 8 cm, un tabicón tiene, más o menos, 10 cm, y las paredes siempre tienen más de 12 o 13 cm. A una pared muy gruesa, por ejemplo de 45 cm, se le puede denominar muro. Pero a una pared de 15 cm de hormigón armado también se le suele llamar muro. Como es bien sabido, el idioma no es una ciencia exacta.

En general, el análisis de su composición ha de distinguir entre:

- la parte central que aporta el procedimiento portante propio,
- su configuración en una o dos hojas,
- los revestimientos de sus paramentos.

El **procedimiento portante propio** puede ser de dos tipos: laminar y de entramado. El pri-

mero es el propio de las paredes y tabiques de ladrillo que por la adición de sus piezas consiguen formar una lámina homogénea autoportante. El de entramado se organiza por especialización de sus partes, una estructura de perfiles, que aportan estabilidad y rigidez, sobre la que se sitúan paneles, que son los que realmente cierran. Como se ve líneas adelante, el comportamiento frente a todas las exigencias está claramente influido por esa configuración básica.

La alta incidencia de la exigencia de aislamiento del ruido divide las particiones en dos grupos, según sea el procedimiento en el que se basen: masa o doble hoja (I-7). Usualmente, los laminares son de una hoja y los de entramado de dos, pero también son habituales dobles paredes laminares y entramados con una sola hoja.

Todas estas cuestiones se amplían líneas adelante.



## COMBINATORIA TIPOLOGICA

El número de tipos posibles, resultado de las variantes de sus partes constituyentes, no es tan alto como en la parte ciega de las fachadas (III-7.2), pero tampoco es bajo. Al igual que en éstas, la primera clave se deriva de su participación o no en el descenso de cargas, es decir, si pertenecen o no a la estructura portante del edificio. Los tipos susceptibles de asumir ese papel son las paredes o muros de obra de fábrica de un espesor mínimo de medio pie, lo cual no significa que siempre que tengan ese espesor sean portantes. Más bien al contrario, ya que, como se comenta en I-16 y II-6, las estructuras de paredes no son demasiado frecuentes en la actualidad en obra nueva.

Hay que añadir que existe una tradición en los tratados o manuales de construcción que lleva, cuando se habla de particiones, a centrarse exclusivamente en los tabiques, relegando el carácter de posible partición a las paredes de carga o a los muros gruesos que no sean portantes. Quede constancia de que todo lo que se dice a continuación es aplicable a todos.

Como en todo el resto de los elementos constructivos, la clave que nos determina la clasificación tipológica más útil, ya que nos define los tipos claramente utilizados en la actualidad, es la que considera los métodos de producción de sus elementos y su puesta en obra. De manera parecida a las partes ciegas de las fachadas, tendremos:

- los de obra de fábrica, basados en la adición de pequeños elementos o de hormigón o yeso puesto en obra, no prefabricado,
- los que, más que construirse, se montan, ya que se realizan a base de piezas prefabricadas, que pueden ser semiproductos o componentes.

Desde hace ya décadas van apareciendo en el mercado productos que buscan sustituir a los tabiques tradicionales de ladrillo: unos son componentes, otros son semiproductos y otros sólo se dejan catalogar como caso intermedio. Son elementos de mayor tamaño que el ladrillo, pero que se colocan del mismo modo. Para ellos abriremos una clase nueva dentro de la obra de fábrica: las placas.

La diferenciación entre unos y otros se justifica, además, por la participación del agua en la puesta en obra, que va desde la sequedad total de los componentes hasta el grado de humedad muy elevado del panderete con tendido de yeso. Si el factor principal que hay que considerar es la velocidad de ejecución, tendrán mayores ventajas los semiproductos y componentes.

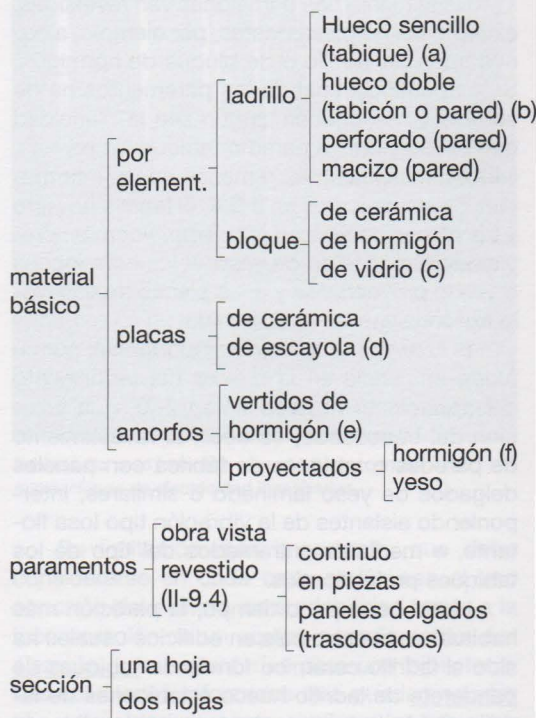
## DESCRIPCIÓN DE TIPOS

### De obra de fábrica

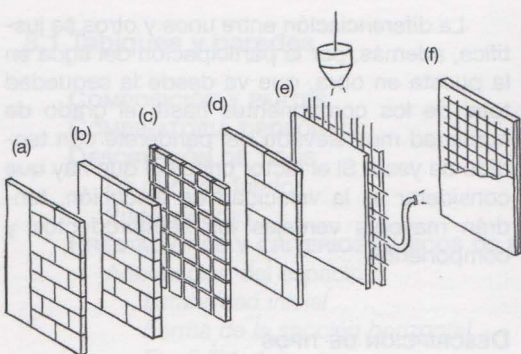
De manera parecida a las partes ciegas de las fachadas (III-7.2), sus tipos se generan a partir de la combinatoria de:

- el material básico,
- sus revestimientos,
- su sección.

Quedan expuestos en el siguiente cuadro:







Se pueden hacer paredes con los ladrillos doble hueco, perforado y macizo, con los bloques de cerámica y hormigón, y el hormigón vertido sobre encofrado. El resto permite hacer sólo tabiques.

La diferencia entre una o dos hojas tiene repercusiones muy importantes en las prestaciones de aislamiento al ruido aéreo (I-7), tal como se comprueba líneas adelante.

Usualmente, las particiones van revestidas, excepto las de piezas vistas, por ejemplo, algunos tipos de ladrillo o de bloque de hormigón. Si la apariencia final de los paramentos ha de ser lisa y homogénea, según sea la planeidad que proporciona la pared o tabique sin revestir, serán necesarias más o menos capas intermedias de las descritas en II-9.4. El ladrillo no visto y las placas cerámicas requieren, además, previamente el tendido de yeso. A los hormigones o yesos proyectados y a las placas de escayola les conviene un empapelado.

El CTE-HR otorga gran importancia, por su fuerte influencia en la mejora del rendimiento del aislamiento al ruido aéreo (I-7), a la solución del trasdosado, es decir, al revestimiento de paredes o tabiques de fábrica con paneles delgados de yeso laminado o similares, interponiendo aislantes de la vibración tipo losa flotante, o mediante entramados del tipo de los tabiques prefabricados.

Hasta hace poco tiempo, la partición más habitual en nuestro país en edificios usuales ha sido el ladrillo cerámico formando tabiques de panderete de ladrillo hueco o tabicones de ladrillo doble hueco, acabados con tendido de yeso o, en zonas húmedas, enfoscado de mortero y alicatado.



Tabique de ladrillo doble hueco.

La incorporación de instalaciones medianterozas y los recortes derivados de la adaptación dimensional provocan una considerable cantidad de escombros que dificulta y encarece su puesta en obra. Frente a esta situación, en el mercado se presentan alternativas que buscan ser competitivas mediante la reducción de alguna de estas operaciones.

Las primeras en aparecer en el mercado, hace unos treinta años, fueron las placas de escayola, que, con menor número de piezas, reducen las operaciones de colocación y, mediante sus superficies perfectamente regladas, evitan el tendido de yeso posterior. Sin embargo, mantienen sin resolver adecuadamente la incorporación de instalaciones.

Recientemente, técnicas de producción nuevas han permitido la fabricación de piezas cerámicas de gran tamaño con gran precisión dimensional y semejantes ventajas. La propuesta más reciente es la placa de ladrillo ya revestida de yeso.

El proyectado de hormigones o yesos es una técnica más habitual de lo que pueda parecer, por ello las citamos. De vez en cuando surgen propuestas en este sentido. Hay que distinguir el tabique realizado con yeso proyectado del revestimiento de un tabique de cerámica realizado con esa misma técnica, que es más habitual. No obstante, los procedimientos que están desbancando realmente la tradición de la fábrica son los de paneles delgados tipo yeso laminado sobre entramado.

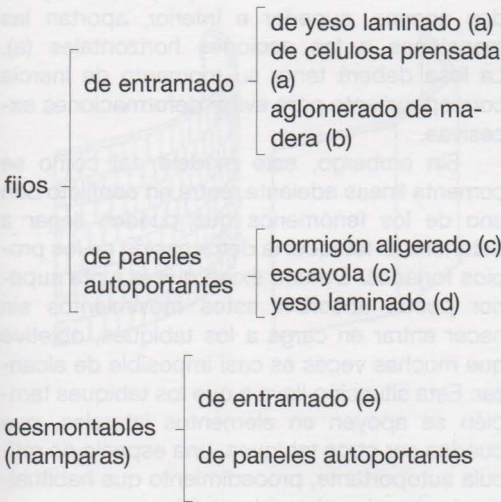
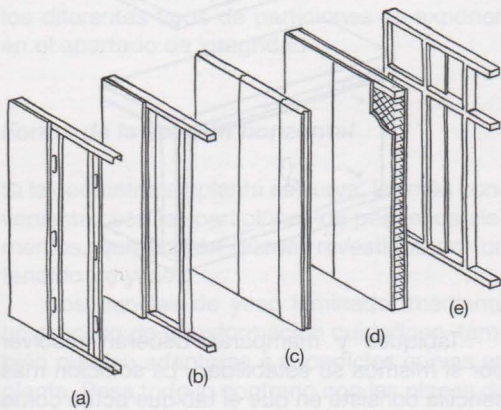
Con todo, en Francia, donde la preocupación por el aislamiento del ruido es notable, cada vez están disponibles productos más sofisticados y con mayores prestaciones.



Prefabricadas

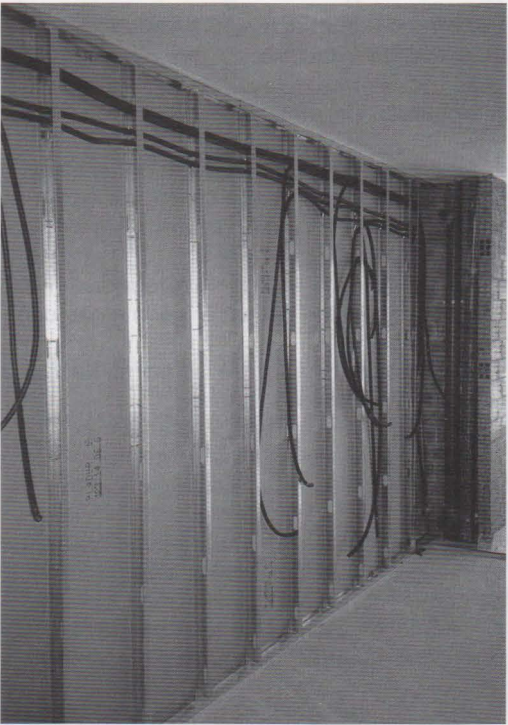
La flexibilidad a los cambios de uso encuentra en las particiones prefabricadas las mejores soluciones. De acuerdo con esta exigencia, se dividen en fijas y desmontables. La otra variable determinante es el material y el tipo de procedimiento de soporte, de entramado o laminar autoportantes.

Los usos de los fijos y los desmontables son bien diferentes. El grupo de los fijos está formado por los que buscan sustituir el tabique de obra tradicional. Los desmontables tienen un uso circunscrito prácticamente a edificios de oficinas, aunque si se pretendiera una total flexibilidad, también serían razonables en viviendas.



Los paneles de escayola o de hormigón aligerado que van de suelo a techo, reducen las operaciones de colocación mediante un acabado superficial de gran calidad y aportan cierta facilidad para incorporar del tendido de cables o conductos. El problema que se debe resolver es el camuflaje de las juntas entre paneles.

La solución que realmente esta sustituyendo al tabique de panderete y mayor difusión tiene en los países más avanzados es la basada en los paneles de yeso laminado, o los de celulosa prensada, que resuelve con mucha eficiencia todos los problemas anteriores.



Tabique de yeso laminado a medio hacer con las instalaciones de electricidad inacabadas.

Su limitación más importante, que debe considerarse en cada caso según sea el uso concreto del edificio, es su debilidad frente a la incorporación de un equipo pesado como, por ejemplo, unas estanterías para una biblioteca. Las soluciones reforzadas que pueden aportar una capacidad de carga similar a los tabiques de panderete comportan un incremento notable de coste.



En cuanto a las mamparas, no todas tienen el mismo grado de desmontabilidad. Hay que valorar su eficacia por su facilidad de montaje y desmontaje con la mínima pérdida de material, así como por las consideraciones del ambiente y la incorporación de equipo. Podemos encontrar mamparas de dos tipos: mamparas de entramado y de paneles de suelo a techo. En todos los casos, tienen el carácter de componentes y requieren siempre piezas especiales para adaptarse a las dimensiones no coincidentes con su modulación básica.

## PRESTACIONES Y CRITERIOS BÁSICOS DE ELECCIÓN Y DISEÑO

### Adecuación del espacio

El análisis de la función de organizar el espacio interior, primordial cuando se estudia cualquier tipo de partición, ha de considerar las siguientes cuestiones:

- el procedimiento de su estabilidad inicial,
- la capacidad de hacer geometrías complejas en planta,
- la capacidad de variar en el tiempo a causa de los cambios de uso,
- la continuidad de sus paramentos,
- la transparencia a las vistas.

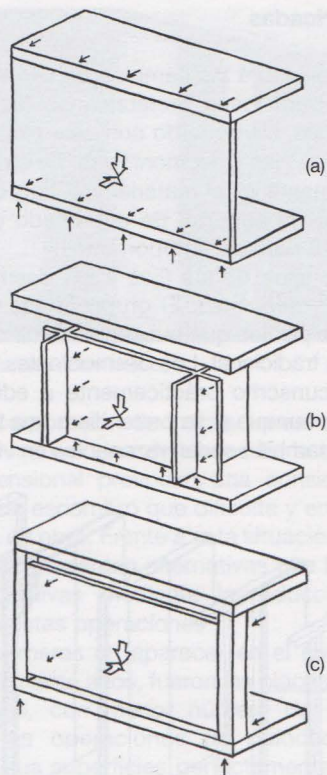
El correcto funcionamiento general también requiere:

- la incorporación de un equipo que, si no es móvil, se fija habitualmente a las particiones, por tanto, han de ser capaces de soportarlo,
- la incorporación de los tendidos las instalaciones, tuberías, mangueras, etc.

### Estabilidad inicial

El procedimiento de estabilidad de las particiones ha de considerar las acciones gravitatorias propias y los posibles empujes horizontales producidos por los usuarios, por el equipo que de ellas puede colgarse o por las eventuales acciones de viento.

Si la partición forma parte de la estructura portante del edificio (II-6.1), los mayores requerimientos de ésta harán que cumpla sobradamente los citados anteriormente.



Tabiques y mamparas deberán resolver por sí mismos su estabilidad. La solución más sencilla consiste en que el tabique actúe como una losa apoyada en su parte superior e inferior. Sobre ésta transmite su propio peso, y los dos apoyos, superior e inferior, aportan las reacciones a las acciones horizontales (a). La losa deberá tener su momento de inercia correspondiente para evitar deformaciones excesivas.

Sin embargo, este modelo, tal como se comenta líneas adelante, entra en conflicto con uno de los fenómenos que pueden llegar a deteriorar el tabique: la deformación de los propios forjados. Evitarlo exige que la junta superior pueda absorber estos movimientos sin hacer entrar en carga a los tabiques, objetivo que muchas veces es casi imposible de alcanzar. Esta situación lleva a que los tabiques también se apoyen en elementos laterales, que pueden ser otros tabiques, una especie de retícula autoportante, procedimiento que habitualmente resuelve el problema (b).



Sólo cuando tenemos grandes longitudes de tabique es inexcusable el sistema de anclaje superior e inferior. Este sistema deberá resolver la posible deformación del forjado. En todos los casos, la junta superior o inferior ha de mantener su integridad como elemento de estabilidad al aire.

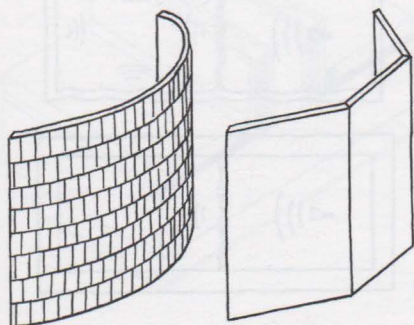
La tercera posibilidad es que el tabique se apoye sólo en elementos laterales, como una viga de gran canto o mediante un entramado resistente (c); aunque no es una solución habitual, puede ser muy útil como alternativa para evitar los efectos negativos de las deformaciones de los forjados (ver el apartado de integridad).

Los procedimientos para la medición objetiva de las prestaciones sobre estabilidad de los diferentes tipos de particiones se exponen en el apartado de integridad.

### Forma de la sección horizontal

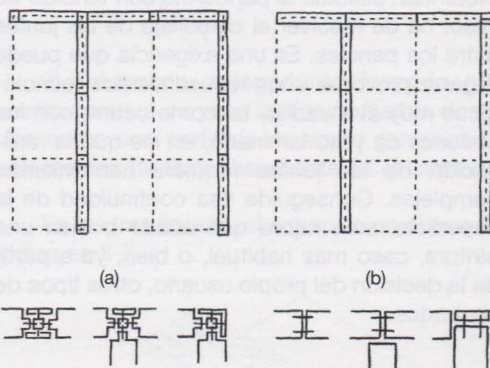
Si la geometría en planta es curva, las más convenientes son las particiones de pequeños elementos, que podrán quedar revestidos por un tendido de yeso.

Los paneles de yeso laminado, mediante un proceso de transformación cuidadoso, también pueden adaptarse a superficies curvas en planta. Pasa todo lo contrario con las placas de escayola o los plafones basados en aglomerados de madera.



### Flexibilidad de uso

De una manera u otra, todos los edificios requieren tarde o temprano un cambio en su distribución espacial. Esta razón es suficientemente potente como para que, a pesar de sus buenas prestaciones en muchos aspectos, no utilicemos las estructuras de paredes portantes, salvo en edificios en que la previsión sea de inmovilidad total de las particiones.



En el caso extremo de las oficinas, es importante destacar que esa flexibilidad de distribución espacial tiene que coordinarse con el resto de los elementos que configuran el espacio, como la fachada. Es conveniente una trama modular sobre la que pueden utilizarse dos procedimientos de coordinación: a ejes (a) o en banda (b). Cualquiera de los dos presentan ventajas e inconvenientes y según el caso será necesario adoptar una solución u otra.

### Continuidad de sus paramentos

Aunque corresponda a aspectos ligados a la imagen, esta cuestión incide en el carácter del espacio, que depende notablemente de las superficies que lo delimitan. En general, para usos diferentes a los de oficina, se exige que los paramentos interiores sean totalmente continuos. Es impensable una vivienda cuyas particiones muestren claramente su constitución en paneles. Igual ocurre con edificios escolares o de otro uso tipo civil. Esta idea o imagen de continuidad condiciona claramente el acabado final.



Los tabiques de componentes forzosamente acusan las juntas entre paneles, con un ritmo dado por el módulo de coordinación, que condiciona extraordinariamente no sólo la distribución del espacio, sino su propia imagen; imagen, que en ningún caso es aceptada cuando el uso es diferente de los de administración u oficina. La imagen final ha de ser siempre la de la superficie continua.

En consecuencia, cualquiera de las alternativas con semiproductos o componentes que pretendan sustituir al panderete con tendido de yeso, ha de resolver el camuflaje de las juntas entre los paneles. Es una exigencia que puede llegar a provocar unos requerimientos tecnológicos muy avanzados, tal como ocurre con los plafones de yeso laminado, en los que la realización de las juntas requiere herramientas complejas. Conseguida esa continuidad de la superficie, sólo habrá que añadir o bien una pintura, caso más habitual, o bien, ya a partir de la decisión del propio usuario, otros tipos de acabados.

## Vistas

La última consideración espacial es la derivada de las conexiones visuales. Al igual que ocurre en la envolvente, serán los elementos transparentes los que resuelvan esta exigencia, que se puede dar tanto en la parte maciza como en el batiente de las puertas. La única dificultad que puede generar es la disminución del aislamiento acústico, como consecuencia de la poca masa del vidrio. Un requerimiento alto en este sentido exigirá un sistema de doble hoja, como comentamos en el apartado siguiente.

## Adecuación del ambiente

### Aislamiento térmico

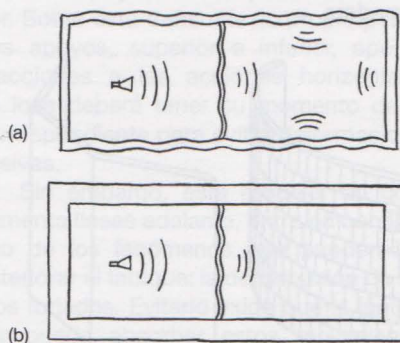
El CTE-HE no indica nada sobre las separaciones entre usuarios distintos de un mismo edificio, pero sí establece que cualquier cerramiento en contacto con espacios no habitables, como podría ser una partición que separa de un trastero, deben tener unas transmitancias térmicas máximas, según sea la zona climática,

con unos valores que van desde 1,22 W/m<sup>2</sup>K para la zona A, a 0,74 W/m<sup>2</sup>K para la E (I-4). Sin duda, la variable que incide más en las particiones es el ruido.

### Aislamiento del ruido

Como ya se ha dicho en varias ocasiones, las exigencias normativas en nuestro país debido a la puesta en vigor del CTE-HR se han acercado a las de las de nuestros vecinos inmediatos (ver cuadro en II-7). Para las particiones que separan viviendas, de los antiguos 45 dBA medidos en laboratorio se pasa a 50 dBA medibles in situ, pero recuérdese que en el edificio ejercen una enorme influencia las transmisiones laterales, por lo que la diferencia es mucho mayor que 5 dBA. El conjunto de los delimitadores interiores actúa en cierta manera una unidad. Cuando se analiza el comportamiento aislante de una partición, es imprescindible considerar simultáneamente la influencia de los muros o particiones laterales y los forjados o entrepisos en contacto con ella. Y viceversa, cuando el problema analizado es la transmisión en vertical a través del entrepiso (II-7).

Las normativas tienen en cuenta este efecto y prevén que el aislamiento real entre dos locales será bastante menor que el que puede obtenerse en el laboratorio, o R.



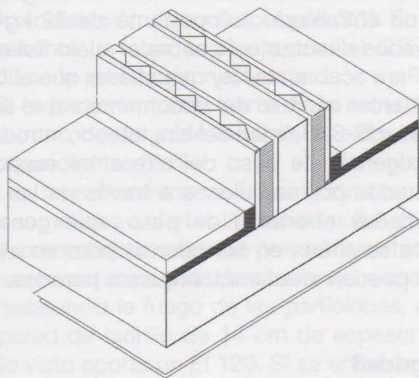
Si los delimitadores laterales son muy ligeros, la disminución puede llegar a ser del orden de 8 dBA con relación a la R de la partición o delimitador principal (a). Si las masas de todo el conjunto de delimitadores son del mismo orden, esta disminución oscila alrededor de 5 dBA (b).



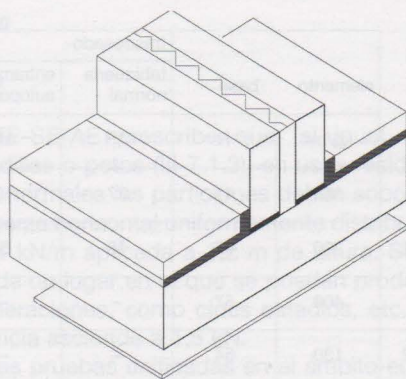
Sólo en el caso de que las masas laterales sean mucho mayores que el delimitador principal podremos conseguir que el aislamiento alcance un valor cercano al  $R$  de éste. Como se ha indicado en I-7, el aislamiento aportado por una partición depende, en el caso de que sea de una sola hoja, de su masa superficial. A una masa de  $200 \text{ kg/m}^2$ , le corresponde una  $R$  intrínseca de unos 46 dBA. Si está rodeada de elementos de la misma masa, el aislamiento real aportado será de unos 40 dBA.

Las soluciones de la vía simplificada que propone el CTE-HR para separar viviendas u otros locales de usos residenciales, con una exigencia global de 50 dBA, tienen muy en cuenta todo ello y también lo ya comentado acerca de los entrepisos sobre el tipo de tabiquería existente en la vivienda receptora. Considera tres tipos genéricos de separaciones posibles:

1) Una hoja o dos hojas de fábrica con trasdosado por ambas caras. En la figura se muestra dos trasdosados simétricos cada uno formado por una placa de yeso laminado con panel rígido de fibra adherida, fijados ambos a una única hoja central de fábrica. También puede realizarse mediante un trasdosado autoportante equivalente a medio tabique de entramado; el hueco debe ir relleno de material absorbente.

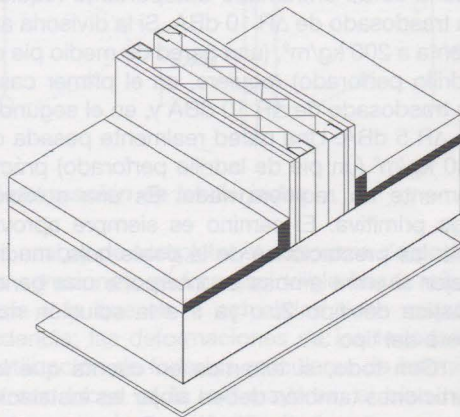


2) Dos hojas de fábrica con bandas elásticas perimétricas que se han dibujado en la figura mediante dos trazos más oscuros en la parte inferior de cada hoja. Entre ellas se sitúa una manta de fibra absorbente del sonido.



3) Entramado autoportante formado por cuatro paneles de yeso laminado fijados dos a dos sobre una perfilería de acero galvanizado con mantas de fibra absorbente en el interior.

En las tres figuras, el entrepiso es el que se indica en II-7.



En la tabla para separaciones verticales se combinan todas las variables a partir de las prestaciones de cada elemento por sí mismo, que es preciso demostrar documentalmente para cada caso concreto o bien aportando los catálogos de soluciones, públicos o privados, o mediante ensayos garantizados. Se parte del supuesto de que bien combinados constructivamente entre sí esos elementos proporcionan la prestación deseada. Para facilitar su comprensión, reproducimos algunos de los casos de la tabla (excepto los valores en  $\text{kg/m}^2$ , todos los demás están en dBA).



|        | elemento base |    | trasdosado        |                        |
|--------|---------------|----|-------------------|------------------------|
|        | kg/m²         | R  | tabiquería normal | entramado autoportante |
| tipo 1 | 160           | 41 | ΔR                | ΔR                     |
|        | 200           | 46 | 10                | 5                      |
|        | 400           | 57 | —                 | —                      |
| tipo 2 | 130           | 54 | —                 | —                      |
| tipo 3 | 49            | 65 | —                 | —                      |

En el caso del tipo 1, si el elemento base es de fabrica de una o dos hojas sin banda elástica, y pesa 160 kg/m², y si la tabiquería del local receptor es de fábrica normal, requiere un trasdosado que aporte ΔR de 27 dBA. Si la tabiquería es de entramado autoportante requiere un trasdosado de ΔR 10 dBA. Si la divisoria aumenta a 200 kg/m², (una pared de medio pie de ladrillo perforado) requiere, en el primer caso, un trasdosado de ΔR 10 dBA y, en el segundo, de ΔR 5 dBA. Una pared realmente pesada de 400 kg/m² (un pie de ladrillo perforado) prácticamente no requiere nada. Es una solución algo primitiva. El camino es siempre aprovechar las prestaciones de la doble hoja, mucho mejor si entre ambas se interpone una banda elástica del tipo 2, o ya ir a la solución más ligera del tipo 3.

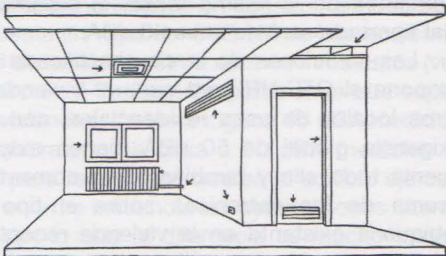
Con todo, si tenemos en cuenta que las particiones también deben alojar las instalaciones, por ejemplo, enchufes o interruptores en las cabeceras de los dormitorios, la solución tipo 1 presenta la ventaja de que los cajetines sólo afectan al trasdosado y que siempre queda en medio la masa del elemento base.

La evolución de la aplicación del CTE conduce a que se ensayen soluciones hasta hace poco casi impensables. El lector interesado ha de estar al tanto de las novedades (¡ojo! garantizadas) que el mercado ofrece.

Para limitar los efectos de las transmisiones laterales, el HR establece masa mínimas para las paredes, fachadas u otras divisiones, que pueden estar en contacto. Por ejemplo, para separaciones verticales de tipo 2, 170 kg/m², la R

de la fachada con la que se encuentra debe ser mayor que 50 dBA, y su masa de al menos 225 kg/m².

Es necesario insistir en que todas estas prestaciones requieren la total estanquidad al aire. Cualquier abertura reducirá notablemente esas prestaciones (III-8).



Por ello, el CTE-HR cambia la manera de plantear la exigencia cuando la división vertical separa de un espacio común como la escalera de vecinos en la que, lógicamente, hay una puerta. En estos casos, la R de éstas ha de ser mayor de 30 dBA y la R de la parte maciza de 50 dBA.

Los tabiques divisorios de una misma vivienda también deben contar con una R mínima de 33 dBA, lo que se consigue, por ejemplo, con un tabique de fábrica de 70 kg/m² o con un entramado autoportante de 22 kg/m², apoyados directamente sobre el suelo flotante.

Para acabar, no hay que olvidar que el CTE en el tercer capítulo del documento sobre salubridad, HS-3, Calidad del aire interior, introduce una exigencia de paso del aire entre espacios separados por particiones a través de las denominadas aberturas de paso, que generalmente se sitúan en las puertas pero en algún caso pueden afectar a tabiques o paredes.

Integridad

Del usuario

Los ámbitos en que las particiones tienen un papel importante, tanto en la integridad de sí mismas como en la del usuario, son la seguridad frente al robo y la seguridad frente al fuego.



### • Intromisión

Esta exigencia requiere que las particiones sean difícilmente traspasables. Es una exigencia que las particiones usuales acostumbra a cumplir sobradamente, pero que en casos extremos es preciso considerar.

Un caso de este tipo puede ser el cerramiento de una caja fuerte de un banco, que requiere unas medidas especiales que pueden llegar hasta una doble cámara con dos paredes de hormigón de 30 cm de espesor y una densidad de armaduras extraordinaria.

En el caso opuesto, se nos puede presentar una innovación tecnológica de partición excesivamente endeble que habrá que someter a prueba en este sentido.

No existe normativa general para comprobar esta prestación; la que se expone más adelante sobre integridad propia puede ser útil.

### • Incendio

Frente a la propagación de un incendio, algunas particiones, tal y como ya se ha apuntado en I-9, pueden actuar como delimitadores de sectores de incendio. Son relativamente pocas las que están afectadas por esta exigencia, ya que, según el CTE-SI, los sectores de incendio tienen, en general, una superficie de 2.500 m<sup>2</sup>, que puede aumentar a 5.000 m<sup>2</sup> si se dispone de una instalación de rociadores (III-3.1). En I-9 se presenta la tabla según la cual el CTE-SI establece la prestación necesaria.

Si la partición forma parte de la estructura como muro de carga, le afectan las exigencias correspondientes (II-6).

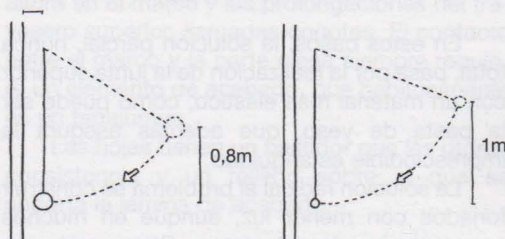
Los revestimientos de la partición también están sometidos a ciertas limitaciones (I-9, II-9.1 y 9.4), pero al mismo tiempo pueden aportar incrementos notables a las prestaciones respecto a la resistencia al fuego de las particiones. Así, una pared de ladrillo de 14 cm de espesor de ladrillo visto aporta un EI 120. Si se enfosca por ambas caras, pasa a ser EI 180, y si se reviste de yeso pasa a EI 240. El CTE-SI aporta amplia información sobre diferentes tipos de particiones y sus revestimientos.

### Propia

#### • Uso

El CTE-SE-AE prescribe que, al igual que barandillas o petos (III-7.1.3), en usos residenciales normales las particiones deben soportar una fuerza horizontal uniformemente distribuida de 0,4 kN/m aplicada a 1,2 m de altura. Si se trata de un lugar en el que se puedan producir aglomeraciones, como cines estadios, etc., la exigencia asciende a 1,5 kN.

Las pruebas unificadas en el ámbito europeo que miden de una forma objetiva las prestaciones de una partición no tradicional, innovadora frente a posibles acciones agresivas antrópicas, voluntarias o no, quedan referenciadas en los dibujos adjuntos.

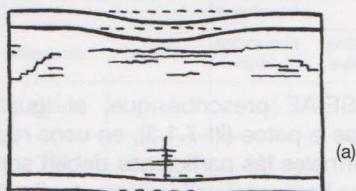


#### • Deformación de los forjados

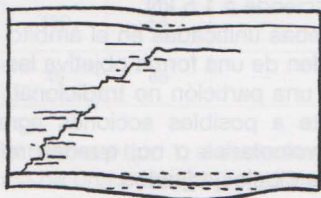
Para acabar de completar el panorama de posibles agresiones, es imprescindible hacer referencia a la que en la actualidad tiene mayor incidencia: las deformaciones de los forjados. La utilización de forjados reticulares de hormigón con luces cada vez mayores, si bien no plantean ningún tipo de dificultad en su seguridad con el paso del tiempo, se deforman en exceso, y es una deformación que las particiones no pueden asumir. En la figura adjunta quedan referenciados los diferentes casos posibles y sus efectos sobre un tabique de panderete.

El caso (a) es el más frecuente y se produce como consecuencia del arco de descarga con el que el tabique busca un apoyo en las partes no deformadas del forjado. En el caso (b), el forjado superior se ha deformado más que el inferior y ha sometido al tabique a un comportamiento similar al de una viga de gran canto para el que no está preparado y, lógicamente, se rompe.





(a)



(b)

En estos casos, la solución parcial, nunca total, pasa por la realización de la junta superior con un material más elástico, como puede ser la pasta de yeso, que además asegura la imprescindible estanqueidad.

La solución radical al problema es construir forjados con menor luz, aunque en muchos casos no puede adoptarse. Otra opción no ensayada casi nunca es la de tabiques sólo con apoyos laterales, que sin duda sería muy efectiva.

## Equipo e instalaciones

### Incorporación del equipo

El tercer factor que define la funcionalidad real de un edificio, el equipo, depende en gran medida de la capacidad para incorporarlo en los paramentos de las particiones y en los interiores de los cerramientos de fachada.

Esta capacidad es un elemento imprescindible de análisis cuando se trata de valorar sus innovaciones. A tal efecto, se han fijado una serie de pruebas, similares a las descritas en el apartado anterior.

### Incorporación de instalaciones

Hay que destacar el papel primordial que corresponde a las particiones como soporte de la mayoría de las redes de cables y conductos de las instalaciones (III-5.2). Si la partición está formada por una sola hoja maciza, esta incorporación se hace mediante canales denominados rozas, hechos a golpe de maza y escarpa, que suponen una agresión a la integridad de la partición, pero que, si el número de instalaciones es bajo, no ejerce habitualmente una influencia excesivamente negativa.

Sin embargo, si el uso del edificio es, por ejemplo, el de un hospital, ese número de instalaciones es tan elevado que pasa a ser imprescindible la doble hoja, que, además, en determinadas zonas, conviene que sea desmontable con tal de facilitar la flexibilidad en el uso de las innovaciones tecnológicas del campo de las instalaciones hospitalarias, con un grado de renovación elevado.

No obstante, la evolución actual lleva a un incremento de las instalaciones en cualquier tipo de edificio y, en consecuencia, su influencia en las particiones es también creciente en cualquier caso.



## 8.2 Puertas

### COMPOSICIÓN

#### COMBINATORIA TIPOLOGICA

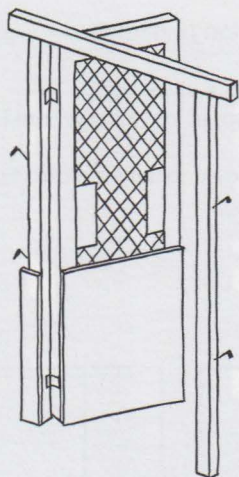
#### PRESTACIONES Y CRITERIOS DE ELECCIÓN

- Adecuación del espacio
- Adecuación del ambiente
  - Aislamiento del ruido*
  - Aireación, ventilación*
- Integridad
  - Propia*
  - Del usuario*
- Producción y colocación en obra

### COMPOSICIÓN

Tienen como elementos constituyentes básicos:

- el marco o cerco,
- la hoja o batiente,
- los herrajes que permiten el movimiento de la hoja,
- los sistemas de cierre, más o menos complejos según el grado de seguridad frente a la intromisión exigido.



El marco actúa como elemento de transición entre la parte ciega y la hoja. Forzosamente ha de estar fijado al tabique o pared para poder soportar el momento que le puede transmitir la hoja en sus movimientos. La fijación se consigue

mediante patas de anclaje clavadas a media altura en el marco y las prolongaciones del travesero superior, llamadas cogotes. El contacto entre el marco y la parte ciega siempre requiere un elemento de acabado, que habitualmente es un tapajuntas.

Las hojas tienen un bastidor que les otorga consistencia y un relleno sobre el que se soporta la lámina de acabado.

### Combinatoria tipológica

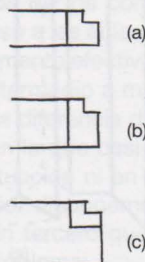
Los tipos de puertas surgen de combinar diferentes posibilidades según los siguientes aspectos del marco, de la hoja y de la función principal:

#### 1) del marco

##### 1.1) según el material:

- madera,
- metal.

##### 1.2) según su relación con la pared o tabique:





según el espesor:

- cerco de tabique (a),
- cerco de media asta (b), y
- cerco de mocheta (c).

según su modo de fijación:

- cerco sencillo,
- cerco con premarco.

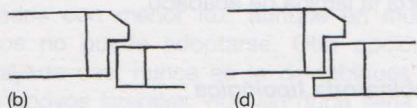
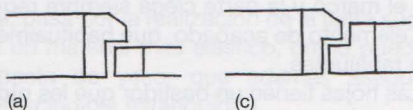
## 2) de la hoja

2.1) según su número:

- de una sola hoja (derecha o izquierda),
- de dos hojas iguales,
- de dos hojas desiguales.

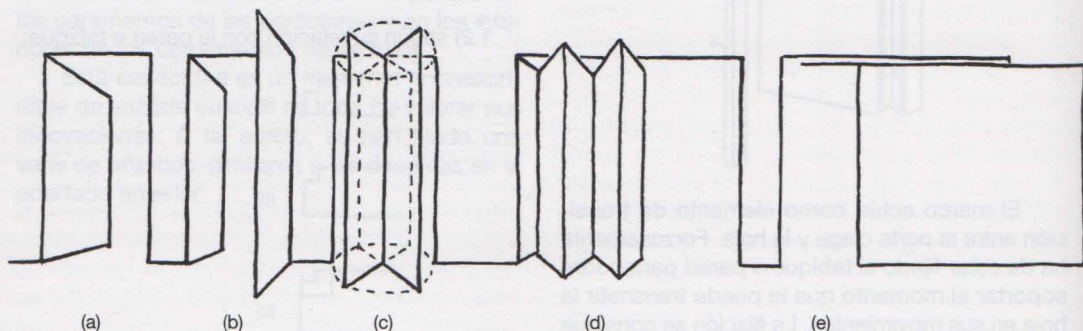
2.2) según la relación geométrica entre el marco y la hoja:

- puerta enrasada (a),
- puerta resaltada (b),
- puerta solapada (c), o
- puerta con renvalsos (d).



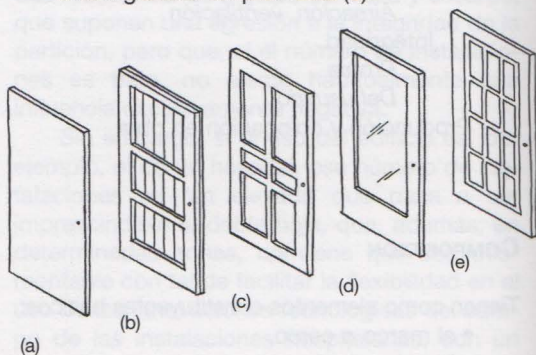
2.3) según su movimiento:

- puertas de eje vertical:
  - abatible (a),
  - de vaivén (b),
  - giratoria (c), llamada de tambor,
- plegable (d) (cuando tiene varias hojas puede también denominarse de acordeón),
- puertas correderas (e) (camuflada o no).



2.4) según configuración de la hoja y el material:

- puerta lisa (a) (puede ser de madera, metálica o de vidrio templado),
  - con madera se pueden hacer:
    - a la catalana (o entablada) (b),
    - de cuarterones (o de peinacería) (c),
    - vidriera (d),
    - a la inglesa o emplomada (e).



En relación con las puertas lisas de madera, debe añadirse que generalmente constan de una estructura de entramado, un relleno del alma y los dos tableros que le dan la imagen exterior.

## 3) de la función principal:

- de acceso a viviendas,
- de acceso a los locales interiores de las viviendas,
- de accesos a locales de otro tipo.



## PRESTACIONES Y CRITERIOS DE ELECCIÓN

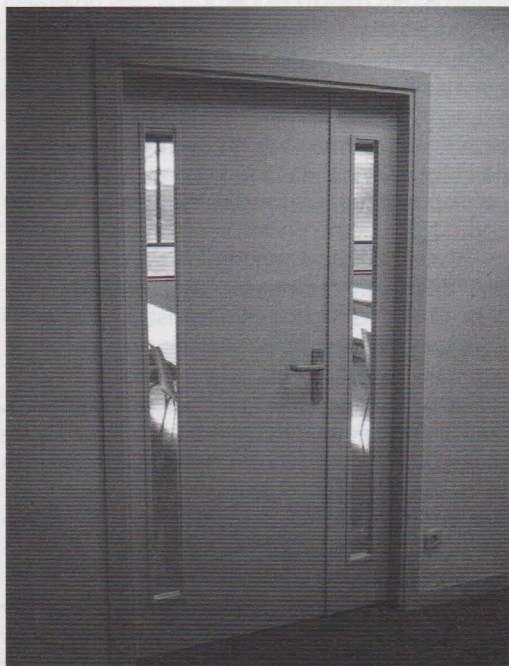
### Adecuación del espacio

Como ya se ha indicado, las puertas asumen el papel de organizadores y controladores de los desplazamientos interiores, al tiempo que pueden, si es necesario, establecer conexiones visuales entre los diferentes subespacios, disponiendo toda la puerta o una de sus partes con vidrio.

La circulación a su través requiere unas anchuras libres que dependen de los usos a los que esté destinada. Si es acceso a vivienda será más ancha que una interior. Si han de permitir el paso de personas con dificultades, los valores han de ser todavía mayores, y se ha de añadir espacio delante y detrás de las puertas.

Las puertas de dos hojas desiguales, una de paso habitual, permiten el paso esporádico de muebles o maquinaria de mayor anchura.

Facilitar las vistas exige un tipo de configuración de la hoja que tenga una parte transparente, que, a su vez, puede ser conveniente en el caso que interese que la iluminación natural llegue hasta las partes más interiores del edificio.



Puerta de acceso a un aula escolar.

Algunos usos prescriben la ubicación de más de una puerta de acceso a locales. Así, la normativa escolar en vigor obliga a que los accesos a las aulas se realice por dos puertas, teniendo una de ellas obligatoriamente una parte transparente, que permite ver el interior desde el pasillo sin distraer a nadie. Pero sería absurdo que la parte transparente fuera tan grande, o toda la puerta transparente, que permitiera ver desde el aula el pasillo y provocar la distracción de los alumnos.

### Adecuación del ambiente

#### Aislamiento del ruido

El factor de ambiente que puede llegar a incidir más en su configuración es el aislamiento acústico. Como ya se ha comentado, son las aberturas las que permiten con mayor facilidad el paso del ruido, debido a que siempre presentan unas masas bastante inferiores a las paredes o incluso tabiques que las rodean. Pero su limitación no sólo proviene de su falta de masa, sino de la estanquidad al aire, más difícil que en el caso de las carpinterías exteriores.

Si bien las juntas de los montantes y el travesaño superior pueden complementarse mediante junquillos de estanquidad, la junta inferior en contacto con el suelo es de más difícil realización.

Supuesta la estanquidad, la variable que incide es la masa, que nunca podrá alcanzar un valor demasiado grande. Los valores más habituales oscilan alrededor de los 20 o 25 dBA de aislamiento, pudiendo llegar, si se diseña a propósito, a los 30 dBA que le exige el CTE-HR si está separando una vivienda de un espacio comunitario, como la escalera de vecinos.

Como caso extremo, pueden considerarse los edificios de los conservatorios de música. En el acceso a las aulas de ensayo, la única solución realmente efectiva es la doble puerta con espacio intermedio a modo de compuerta.

Pero, a diferencia de lo que se da en la envolvente en la que casi nunca podemos incidir ni en la situación ni en la intensidad del ruido, en el interior disponemos de dos métodos seguros, y un tercero que no tanto, que pueden paliar el problema:



- una distribución adecuada que aleje los focos ruidosos de las partes tranquilas,
- el acondicionamiento de las superficies de los locales ruidosos mediante materiales absorbentes (ver II-9.1),
- la posibilidad de incidir en el foco ruidoso.

Así, en una escuela primaria la solución pasa, en primer lugar, por convencer a los alumnos de que no griten demasiado (método muy poco seguro); en segundo lugar, en fase de proyecto, alejar las aulas de los locales ruidosos; y, por último, en el caso en que esto no sea posible, por ejemplo, en el caso del aula y el pasillo, recubrirlo de materiales absorbentes. Pero dado que éstos no son demasiado resistentes por su propia naturaleza porosa, deben colocarse en el único sitio inaccesible, el techo (ver II-9.3).

### **Aireación, ventilación**

Al igual que ocurre en las fachadas, las aberturas en las particiones también pueden facilitar la aireación mediante corrientes de aire, como medio de conseguir la comodidad térmica, con lo que la contradicción con el ruido, ya citada en la envolvente, se da con frecuencia en la compartimentación. Las soluciones no son fáciles. Si las puertas han de quedar abiertas, la solución es reforzar las tres opciones antes citadas.

El CTE, en el tercer capítulo del documento sobre salubridad, HS-3, Calidad del aire interior, introduce un exigencia de paso del aire entre espacios separados por particiones a través de las denominadas aberturas de paso, que generalmente se sitúan en las puertas; no sobra indicar que conllevan una decisiva limitación al aislamiento acústico. Si los ruidos internos son elevados, cabe la posibilidad de utilizar aireadores con procedimientos de reducción del ruido de los que se sitúan en las fachadas (III-8).

### **Integridad**

#### **Propia**

El primer factor que debe considerarse es la fijación del marco al tabique o pared, que tiene que suponer un apoyo estable que pueda com-

pensar todas las acciones del uso normal o anormal. En el siguiente apartado, se dan indicaciones al respecto.

También los factores que pueden deteriorar la hoja de una puerta interior provienen de un mal uso de la misma: golpes, movimientos incorrectos, acción del agua en el testero inferior por una pequeña inundación, etc. Por ello, las normas de calidad establecen unas exigencias que, mediante ensayos garantizados, los fabricantes han de certificar conforme quedan superadas por las prestaciones. Estas exigencias son:

- resistencia a la penetración dinámica,
- resistencia al choque,
- resistencia a flexión por carga concentrada en un ángulo,
- resistencia del testero inferior a la inmersión,
- comportamiento en la exposición de las dos caras a dos ambientes de humedades diferentes.

### **Del usuario**

Con relación al riesgo de impacto con elementos fijos, el CTE-SU exige que en los umbrales de las puertas, la altura libre sea 2.000 mm. Con relación al riesgo de impacto con elementos insuficientemente perceptibles, el CTE-SU exige que las grandes superficies acristaladas se provean de señalización que evite el choque con ellas, al igual que las puertas de vidrio que no dispongan de elementos que las identifique como tales, como cercos o tiradores.

Con relación al riesgo de atrapamiento por una puerta corredera de accionamiento manual, el CTE-SU exige que la distancia entre la hoja una vez abierta y el objeto más próximo, una pared, por ejemplo, sea superior a 20 cm.

Con relación al riesgo de aprisionamiento, el CTE-SU exige que cuando las puertas de un recinto dispongan de un dispositivo para su bloqueo desde el interior y las personas puedan quedar accidentalmente atrapadas dentro de él, existirá algún sistema de desbloqueo de las puertas desde el exterior del edificio.

Con relación al fuego, en el caso en el que la puerta esté dividiendo sectores de incendio, deberá estar sometida a dos requerimientos en parte contradictorios: aislar el fuego (EI2t-C5)



(ver I-9) y facilitar el desplazamiento rápido de emergencia de los usuarios. El índice C5 hace referencia a la calidad de los mecanismos de apertura, que oscila entre 1 y 5. En el CTE siempre se exige el nivel máximo de 5. A las puertas que se sitúan en los recorridos de evacuación, el CTE-SI les impone bastantes condiciones dimensionales y de funcionamiento.



Puerta con herraje antipánico.

Con relación a la intromisión, la seguridad exige una hoja realmente resistente frente a las agresiones de ruptura, y un sistema de cierres y herrajes que fije en varios puntos de una forma resistente sobre un marco, a su vez, resistente y fijado a la pared de una manera equivalente. Cualquier fallo en esta cadena de requerimientos causará una merma de seguridad.

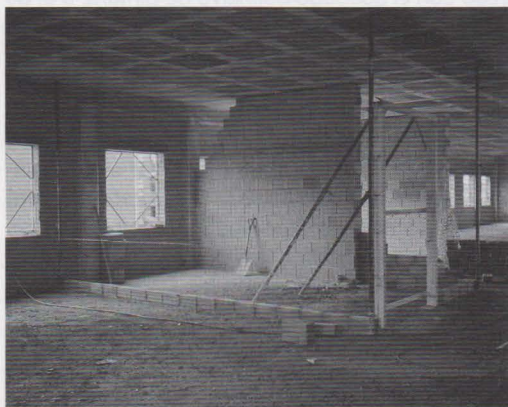
### Producción y colocación en obra

La producción de puertas viene regulada por leyes similares a las que se han expuesto con relación a las carpinterías de ventanas. Existen fabricantes de puertas estándares que ofertan al mercado productos relativamente económicos, que pueden resolver los requerimientos básicos sin alcanzar un cumplimiento elevado de ninguna de las exigencias.

Si éstas son elevadas en alguno de los apartados considerados, será necesario algún desarrollo particular.

La colocación en obra de la puerta se hace, en primer lugar, colocando el marco con ante-

rioridad al levantamiento del tabique. El procedimiento es diferente si éste es de ladrillo de panderete o de yeso laminado o de cualquiera de los citados en el tema anterior. El sistema más habitual con ladrillo de panderete pasa por colocar el marco fijado provisionalmente, revisada su situación mediante plomada y cordel, y fijado mediante un tablón inclinado a modo de puntal. Las gafas, que ya tienen que estar clavadas en la madera, servirán para fijarlo al tabique, que comenzará a subirse a continuación. Es conveniente que los marcos de puerta vayan provistos de una traba o listón horizontal clavado en su parte inferior, que evita su deformación antes de la colocación. El inconveniente de situar el marco definitivo es que con el trasiego de la obra puede degradarse notablemente; para evitarlo, cada vez es más frecuente situar primero el denominado premarco siguiendo las indicaciones anteriores, y cuando la obra está acabada se sitúa el marco definitivo.



Montaje de un marco a un tabique de ladrillo.



## TEMA 9. Revestimientos

### 9.1 La envolvente interior como unidad

### 9.2 Pavimentos interiores

### 9.3 Falsos techos (techos colgados)

### 9.4 Revestimientos de paredes y techos

Los revestimientos se pueden clasificar según sea su ubicación en el espacio interior: techos, suelos o paredes. Es una clasificación pertinente, ya que debido a las condiciones que han de cumplir según sea esa ubicación las exigencias son muy diferentes. No es igual una baldosa para suelos que una para paredes.

Pese a ello, existe un conjunto de revestimientos que vale tanto para las paredes como para los paramentos inferiores de los forjados. Tal es el caso de los revestimientos continuos de yeso con el acabado definitivo de pintura, o el de otros que se analizan posteriormente. Los falsos techos constituyen otro grupo diferenciado que, mediante una ligera estructura, se cuelgan de la cara inferior del forjado, dejando entre los dos una cámara de aire que puede tener diversos usos. Todo lo cual lleva a organizar el tema dividiéndolos en pavimentos, falsos techos, y revestimientos de paramentos (paredes o techos).

Su importancia es fácil de comprender cuando comprobamos que son las partes del edificio que nos envuelven durante una gran parte de nuestra vida (casi todo el tercio que transcurre cuando dormimos), así como que son partes con las que entramos en contacto directo a través de nuestros pies y nuestras manos.

Por esa misma razón de proximidad, adquiere mayor importancia el concepto de acabado y su calidad. El acabado, en general, se define como el aspecto visual y táctil que tiene un elemento constructivo una vez está finalizado. Visión y tacto son mucho más intensos por su cercanía en los interiores que en los exteriores. Fallos en aspectos como la homogeneidad de una pintura, la lisura de una superficie, la planeidad de un paramento o la linealidad de las juntas entre baldosas, que pueden pasar inadvertidos en un revestimiento de fachada, pasan a ser claramente perceptibles cuando forman parte de un revestimiento interior.

Además, son los elementos constructivos que acaban de configurar definitivamente el ambiente del espacio sobre el cual vamos a desarrollar nuestras actividades. Una parte muy considerable de la percepción habitual de los edificios, posiblemente la mayor parte de la percepción subconsciente o no explicitada, deriva de todas las sensaciones producidas por ellos. Lo cual justifica, como ya se ha expuesto en la introducción al capítulo, que este variado conjunto deba recibir un tratamiento como una unidad: la envolvente del espacio interior.

En el primer subtema se aporta esta visión global sobre cómo los principios generales plantean simultáneamente exigencias a todos ellos a causa de ese papel de unidad envolvente del espacio interior. En los subtemas siguientes se estudian con detalle cada uno de los revestimientos según su ubicación y su función más especializada.

No obstante, es conveniente no olvidar que los revestimientos también forman una unidad de comportamiento con el delimitador sobre el que se extienden. Tienen la doble exigencia de ser revestimientos de una pared, un forjado o una cubierta y, al mismo tiempo, envolvente del espacio interior.

Por último, debe añadirse que el estudio desarrollado en las páginas siguientes no es exhaustivo. La gama de revestimientos interiores es amplísima, en especial cuando incluimos en ella los que se consideran propios de la decoración o los que pertenecen al ámbito del bricolaje. El conjunto estudiado aquí es preferentemente el de los revestimientos que en general están incluidos en la construcción de edificios y que definen su envolvente interior antes de ser decorada o acabada por sus usuarios. Con todo, dado que la frontera entre unos y otros es difusa, también lo son los límites del estudio.



## 9.1 La envolvente interior como unidad

### COMPOSICIÓN Y TIPOLOGÍA GENÉRICA DE LOS REVESTIMIENTOS INTERIORES EXIGENCIAS COMUNES A TODOS LOS REVESTIMIENTOS INTERIORES

Adecuación del ambiente

*Humedad*

*Comodidad térmica*

*Iluminación*

*Contaminación*

*Comodidad acústica*

Integridad

*Del usuario*

*De los revestimientos*

Definición final del espacio y conveniencia estética

Como ya se ha indicado, el objeto de este tema sólo es exponer las exigencias que afectan simultáneamente a todos los revestimientos del espacio interior. Se trata de compensar la habitual manera de abordarlos por separado según su situación y también de evitar repetir en los temas siguientes la exposición de las exigencias comunes.

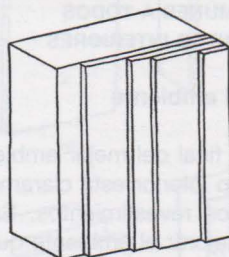
A pesar de que es una tentación en la que con cierta frecuencia caen algunos arquitectos algo teóricos, sólo en muy pocos casos, los paramentos de las partes ciegas de la compartimentación, o de la parte interior de la envolvente pueden quedar sin revestir. Podemos considerar como casos posibles los muros de ladrillo visto o los paramentos inferiores de un forjado artesonado reticular. En los pavimentos nunca se da esta situación. La realidad es que, casi siempre, en función de ese carácter de envolvente del espacio tan cercano a la piel humana, es necesario revestir dichos paramentos.

Tradicionalmente, en nuestro entorno, se dieron dos tipos de revestimientos: los continuos, basados en el yeso o la cal, que se aplicaban sobre paramentos de paredes y techo, y los de pequeños elementos, baldosas o piezas de madera con los que se revestían los suelos. En la actualidad, la gama es mucho más amplia y hay que añadir una larga serie de semiproductos y componentes.

### COMPOSICIÓN Y TIPOLOGÍA GENÉRICA DE LOS REVESTIMIENTOS INTERIORES

Con sus correspondientes variantes, todos los tipos de revestimientos, además de un paramento sobre el que extenderse, tienen los tres elementos básicos siguientes:

- un procedimiento de agarre o fijación al paramento,
- una o varias capas intermedias, y
- una capa visible de acabado.



Las **capas intermedias** aportan características que ni el paramento previo ni la capa de acabado son capaces de proporcionar, en especial las formales, de nivelación en pavimentos y techos, y de planeidad en todos los casos.

También pueden ser capas que refuerzan algunas de las prestaciones del conjunto, tales como mantas absorbentes que quedan camufladas detrás de un revestimiento textil o incluso la propia cámara de aire, que puede hacer ac-



tuar al revestimiento como un absorbente de membrana.

En cada uno de los casos se irán viendo las diferentes funciones que asumen estas capas intermedias que quedan ocultas, pero cuya importancia es definitiva en el correcto comportamiento de todos los revestimientos.

Casi siempre se realizan con materiales amorfos y, en pocos casos, con semiproductos.

La finalidad de las **capas de acabado** es dar el aspecto final, tanto visual como táctil, y es consecuencia directa de la técnica de su puesta en obra, de ahí, la importancia de su consideración de amorfo o pequeño elemento, semiproducto o componente. Los amorfos proporcionan superficies totalmente continuas y todos los demás, superficies subdivididas por las juntas de sus piezas más o menos grandes.

Los tipos concretos de revestimientos se tratarán en los tres temas siguientes. Veamos ahora las exigencias que afectan a todos de manera general. Se exponen según el esquema general de toda la obra, excepto que la influencia en la definición del espacio se funde con la conveniencia estética porque en la envolvente del espacio interior, ambas cuestiones están claramente interrelacionadas.

## EXIGENCIAS COMUNES A TODOS LOS REVESTIMIENTOS INTERIORES

### Adecuación del ambiente

La consecución final del mejor ambiente posible en el espacio interior está claramente condicionada por los revestimientos. Su función no se limita a mejorar el ambiente que ha producido la envolvente exterior, sino que también debe compensar los posibles conflictos producidos por la reclusión del aire en un recinto. Veamos cómo.

### Humedad

A todo lo que se comenta en III.10 sobre la humedad del ambiente interior, es preciso añadir el comportamiento de los revestimientos

interiores, que se concreta en su mayor o menor capacidad para dejarse atravesar por el vapor de agua, es decir, su permeabilidad al vapor de agua. En un extremo, tenemos los que podemos considerar barreras de vapor por su baja permeabilidad, tales como la cerámica revestida o la cerámica esmaltada; en el otro, los revestimientos porosos, como los de yeso. En el primer caso, cuando la humedad ambiente se acerca al punto de rocío, sobre los primeros se condensa de igual manera que lo hace sobre un vidrio frío. El comportamiento sobre el yeso es distinto porque éste tiene una cierta capacidad para almacenar ese vapor y, en consecuencia, actúa como un regulador del contenido de agua del aire.

### Comodidad térmica

Su participación en la comodidad térmica, tal como queda expuesto en I-4, se concreta principalmente en las sensaciones que pueden producir sobre el usuario el contacto con ellos. La participación en el aislamiento térmico de la envolvente no es conveniente ya que, como se comenta en III-7.2, puede favorecer las condensaciones internas.

El contacto con los revestimientos nos puede producir diferentes sensaciones, algunas derivadas del propio roce, que serán consecuencia de su rugosidad o textura, y otras que lo serán de su coeficiente de penetración térmica, que condicionará la sensación de calor o frío. Donde la cuestión adquiere un carácter más relevante es en los pavimentos, pero las paredes no son ajenas a esta posible influencia.

Recuérdese (I-4) que el coeficiente de penetración térmica depende del coeficiente de conductividad térmica del material, de su densidad en  $\text{kg/m}^3$ , y de su calor específico en  $\text{kcal/kg}^\circ\text{C}$ . Cuanto menor sea este valor, menor será la capacidad de transmitir calor y su contacto dará sensación de calidez. Es lo que ocurre cuando tocamos la madera o, en grado extremo, cuando tocamos un objeto de poliestireno expandido; y ocurre justo lo contrario cuando entramos en contacto con un elemento que presenta altos valores para todas esas variables, tal como la piedra, el hormigón o un me-



tal. Ninguna solución es buena o mala, sino adecuada o no a los objetivos de uso del espacio, y su adaptación al ambiente y clima general.

Es imprescindible hacer esta consideración cuando se valora, por ejemplo, la idoneidad de los revestimientos de suelos blandos. Si bien son adecuados como solución a los ruidos de impacto en los climas más fríos de Europa central, no lo son en absoluto para nosotros.

**Iluminación**

La influencia del color del revestimiento pasa a ser decisiva en cuanto a la iluminación, tanto artificial como natural, del espacio interior. Los colores claros incrementan su efecto y los oscuros la disminuyen.

En los temas siguientes se dan los valores de los coeficientes de reflexión de los revestimientos más habituales que son necesarios para aplicar las consideraciones sobre iluminación natural y artificial contenidas en III-8 y III-2.3.

**Contaminación**

Tal como está expuesto en I-5, la responsabilidad de los revestimientos interiores en la pureza del aire interior es directa e inmediata en dos aspectos: uno, que pueden contaminar el aire; otro, que se ensucian.

El primero es un campo en el que los estudios no están todavía suficientemente avanzados como para poder establecer, de manera similar a cualquiera de las otras variables consideradas, una calificación de los diferentes materiales al respecto. Pero, sin duda, el proceso abierto por muchos organismos públicos europeos y norteamericanos llevará a legislar sobre la cuestión, limitando la presencia, por ejemplo, de disolventes o de otros productos que componen los revestimientos.

Más clara está la segunda influencia importante y evidente en la limpieza general de los edificios; pero éste es un aspecto que fundamentalmente sólo afecta a los pavimentos y, en consecuencia, se desarrolla en II-9.2.

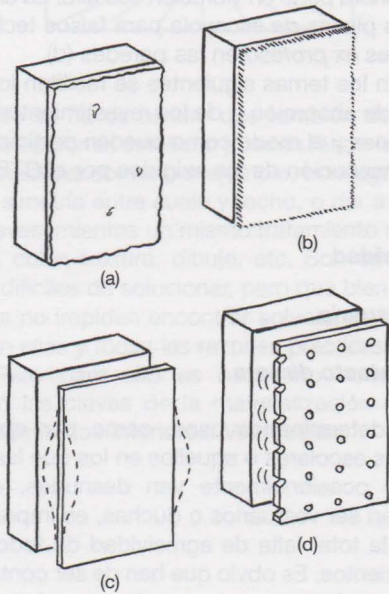
**Comodidad acústica**

Por primera vez en nuestro país, una normativa obliga a considerar la influencia de la envolvente interior en la comodidad acústica. El CTE-HR prescribe que un aula o una sala de conferencias de menos de 350 m³ tendrán la absorción acústica suficiente para que el tiempo de reverberación si están vacías no sea mayor de 0,7 s, o incluyendo las butacas, de 0,5 s. En el caso de restaurantes y comedores vacíos, no será mayor de 0,9 s.

Además, para limitar el ruido reverberante en las zonas comunes de un edificio de uso residencial o docente colindante con recintos habitables con los que comparten puertas, los acabados superficiales tendrán la absorción acústica suficiente de manera que el área de absorción acústica equivalente, A, sea al menos 0,2 m² por cada m³ del volumen del recinto.

En I-7 se han presentado las razones que justifican plenamente estas exigencias, y a lo allí dicho podemos añadir lo siguiente.

Los revestimientos pueden absorber el ruido bien mediante el sistema de absorción por porosidad, o bien por el sistema de resonancia.



En el primer caso, se produce una disipación de la energía sonora incidente debida al rozamiento, y su conversión en energía calorífica



ca, que se produce con la rugosidad de la superficie. Es el efecto que producen todos los revestimientos textiles o los materiales de textura rugosa (a) o blanda como una moqueta (b). Y en estas características están sus limitaciones, ya que no ofrecen una excesiva resistencia al desgaste. En un edificio escolar, por ejemplo, la solución para aumentar la absorción general es la colocación de todos estos elementos en los techos. Si es un uso menos expuesto, pueden ir en el suelo, como las moquetas, o en las paredes, con revestimientos textiles que no necesitan ser tan resistentes como las anteriores.

La absorción por resonancia se produce cuando parte de la energía sonora pone en movimiento vibratorio un dispositivo o un elemento y se consume como tal energía sonora. Se da de dos maneras: por membrana y por resonador Hemholtz.

El primer caso se produce cuando tenemos un elemento superficial delgado y suelto, como puede ser un falso techo o un paramento delgado situado a poca distancia de una pared cerrando una cámara de aire (c).

El segundo se produce cuando un orificio conecta con un cierto volumen de aire y la energía sonora pone en vibración ese aire. Es el caso de las placas de escayola para falsos techos o paneles *ex profeso* en las paredes (d).

En los temas siguientes se facilitan los valores de absorción  $\alpha$  de los revestimientos más comunes y el modo como pueden participar en la consecución de los exigidos por el CTE-HR.

## Integridad

### Del usuario

#### • Contacto directo

Para determinados usos, como por ejemplo locales escolares o aquellos en los que las personas ocasionalmente van desnudas, como pueden ser vestuarios o duchas, es imprescindible la total falta de agresividad de todos los paramentos. Es obvio que han de ser continuos y sin resaltes, y en el caso de que exista posible humedad, los pavimentos han de ser antideslizantes. Pero, como tantas cosas obvias, sorprendentemente, a veces se olvida.

#### • Protección frente al fuego

El CTE-SI indica que, en los pasillos y escaleras protegidos, los revestimientos están limitados a B-s1 d0 si están situados en paredes o techos, o a C<sub>FL</sub>-s1 en el caso de los pavimentos (ver I-9). En el resto de zonas ocupables, C-s2 d0, o un E<sub>FL</sub> respectivamente, con dos excepciones: en hospitales todos los revestimientos han de cumplir los mismos requisitos que los de los recorridos de evacuación, y los revestimientos del interior de las viviendas quedan excluidos de la exigencia. Las limitaciones también afectan a las que hemos denominado anteriormente como capas intermedias, que pueden quedar ocultas por los revestimientos de acabado, como el caso de mantas absorbentes del ruido.

Para determinar las prestaciones de los diferentes revestimientos es posible acudir a determinados documentos en los que se especifican la clase a la que pertenecen algunos sin necesidad de hacer ensayos. Así, en el Real Decreto 312/2005 se indica que todos los revestimientos pétreos, piedra, cerámica, yeso, morteros, etc., se clasifican como A1 y, sin son pavimentos, como A1<sub>FL</sub>. Los tableros de partículas de madera normales son D-s2 como revestimientos de paredes o D<sub>FL</sub>-s1 si son pavimentos.

En lo temas siguientes se añaden indicaciones sobre los revestimientos según sean de suelos, paredes, etc.

### De los revestimientos

La integridad del propio revestimiento se ve mermada por la acción de los propios usuarios, especialmente en los pavimentos. Pero también los revestimientos de paredes pueden estar sometidos a golpes tanto directamente como por el mobiliario.

Si bien para los pavimentos existe un procedimiento de valoración de la resistencia al uso, eso no ocurre con el resto de los revestimientos. Los que queden fuera del alcance de las personas podrán mantenerse íntegros, a no ser que se produzcan movimientos diferenciales en relación con sus soportes, paredes o forjados.

En los locales húmedos se pueden deteriorar los revestimientos de yeso.



## Definición final del espacio y conveniencia estética

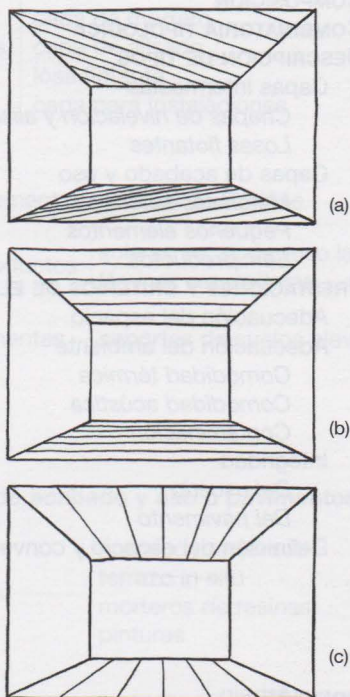
El espacio interior queda configurado básicamente por las particiones, los entrepisos y la cara interior de la envolvente exterior. Pero las cualidades visuales de sus revestimientos tienen una poderosa influencia en la definición final de las características formales de ese espacio y obviamente sobre la conveniencia estética de los interiores.

Además de las variables definitorias de ésta —color, textura, dibujo—, los revestimientos continuos aportan una serie de cualidades al espacio que podemos denominar fluidez, isotropía, neutralidad, etc. Determinados usos, como, por ejemplo, el de vivienda, tienen entre sus requerimientos espaciales mínimos esa neutralidad de los paramentos y, por esa razón, tal como se ha comentado en las particiones (II-8.1), no se admiten tipos que introduzcan el ritmo de unas juntas vistas de paneles prefabricados. Esa misma neutralidad exige una total homogeneidad de la textura y el color, y la absoluta planeidad de la superficie.

Si los revestimientos son discontinuos, el problema clave es la relación entre los caracteres generales del espacio y la composición que generan las juntas entre sus piezas. Se puede acentuar (c) o contrarrestar (b) una dirección principal o introducir una dirección diferente a la de los paramentos base (a).

También se debe tener en cuenta que determinadas maneras de organizar las juntas facilitan que el usuario pueda detectar sus defectos de realización. Es obvio que si unas juntas han de ser horizontales, cualquier fallo que las incline aunque sea levemente será muy visible. O en un espacio de gran longitud los fallos en las juntas de las baldosas se apreciarán más si éstas están colocadas a lo largo (c) que si siguen una directriz a cuarenta y cinco grados (a).

En los paramentos verticales pasa a ser clave el nivel y el aplomo de las juntas. Si son verticales, se busca una distribución simétrica respecto a esquinas o rincones. En suelos y techos es posible establecer composiciones basadas en el giro de las directrices de las juntas. Esta solución será conveniente cuando el espacio tenga irregularidades en planta.



No se ha de olvidar que también determinadas opciones estéticas pueden forzar la solución habitual como, por ejemplo, conseguir una total simetría entre suelo y techo, o dar a todos los revestimientos un mismo tratamiento superficial, color, textura, dibujo, etc. Son opciones más difíciles de solucionar, pero que bien analizadas no impiden encontrar soluciones válidas según ellas y todas las razones prácticas.

Pero para ello es necesario conocer a fondo las claves de la materialización de los revestimientos interiores. Veámoslas.



## 9.2 Pavimentos interiores

### COMPOSICIÓN

#### COMBINATORIA TIPOLÓGICA

#### DESCRIPCIÓN DE TIPOS

Capas intermedias

*Chapas de nivelación y alisado*

*Losas flotantes*

Capas de acabado y uso

*Materiales amorfos*

*Pequeños elementos*

*Semiproductos*

#### PRESTACIONES Y CRITERIOS DE ELECCIÓN

Adecuación del espacio

Adecuación del ambiente

*Comodidad térmica*

*Comodidad acústica*

*Contaminación*

Integridad

*Del usuario*

*Del pavimento*

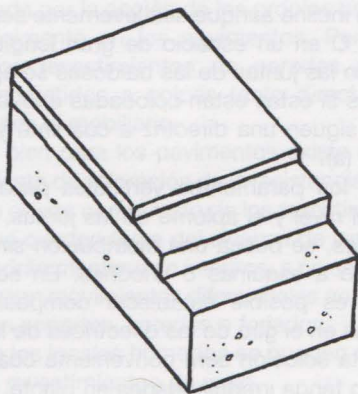
Definición del espacio y conveniencia estética

### COMPOSICIÓN

El pavimento es uno de los pocos elementos de los edificios que puede ser tanto exterior como interior; lo cual no quiere decir que una misma solución sirva para los dos casos. La ausencia del agua de lluvia, elemento que limita las posibilidades de los pavimentos exteriores (II-1.2), da una mayor libertad en el uso de diferentes materiales en los interiores. La oferta de soluciones en el interior es muchísimo más amplia. Por el contrario, generalmente, la forma es algo (aunque no mucho) más libre en el exterior. La forma en el interior es única: el plano a nivel. Sólo hay una excepción: las escaleras (II-10). Si en función de un ruptura con la tradición, a algún arquitecto se le ocurre hacer un pavimento no plano o abombado (hay algún caso), lo único que consigue es que la zona afectada no sea transitable y quede como una escultura más o menos interesante.

La composición de los pavimentos interiores es más similar a la de los revestimientos de paramentos de interior que a la de los falsos

techos. En la mayoría de los casos, sobre la capa de soporte, habitualmente la capa superior del forjado estructural o una solera de plan-ta baja, se extiende una capa intermedia y sobre ésta la capa de acabado y uso. Si bien en los paramentos la función de la capa intermedia es casi siempre de tipo geométrico, en los pavimentos pueden tener además otro tipo de funciones.





Como se verá, la técnica de los pavimentos se basa, más que el resto de los revestimientos, en la realización de capas sucesivas, añadidas a la superficie bruta del soporte, cada vez más depuradas y agradables a la vista, al tacto y ... al duro uso al que las someteremos.

En general, la última capa es más densa y rica en colores o texturas y, en consecuencia, más cara y, por ello, la realización en capas persigue también reducir al mínimo su espesor, tanto si son capas realizadas in situ como si se trata de piezas manufacturadas; así ocurre en las baldosas de terrazo con capas bien diferenciadas, en las de cerámica esmaltada o en los modernos productos sustitutos del parqué. La contraprestación es que se desgasta con mayor velocidad y con intensidades diferentes entre las zonas de paso y las de estancia.

Una vez colocados, algunos tipos de pavimentos requieren unas operaciones, que denominaremos de acabado final, que buscan mejorar el acabado que tienen las piezas o materiales básicos al llegar a la obra. Por ejemplo, en el terrazo es el abrillantado; en otros casos, se requiere un acabado final más complejo, como en el caso de los de madera tradicionales, que requieren un acuchillado y un barnizado como última capa.

Los tipos de acabados finales son específicos de cada material y no se exponen en el cuadro siguiente, aunque sí en los apartados de cada uno de ellos.

Un acabado final común a todos (obvio pero, como todo lo obvio, olvidable), es la limpieza de la posible suciedad de la obra, única operación que requieren algunos de ellos, como los textiles. El pavimento no puede darse por finalizado si no se han realizado todas estas operaciones.

## COMBINATORIA TIPOLÓGICA

Los tipos de pavimentos interiores dependen básicamente de los materiales con los que se realizan las capas de acabado y uso. Las posibles combinaciones con las capas intermedias incrementan sus posibles subtipos. En el cuadro se muestran los tipos básicos de cada una de ellas.

### capas intermedias

|         |   |                         |
|---------|---|-------------------------|
| amorfos | [ | arena                   |
|         |   | capa de mortero         |
|         |   | capa de alisado         |
|         |   | losa flotante           |
|         |   | capa para instalaciones |

peq. elementos - terrazo de 3ª clase

|               |   |                                |
|---------------|---|--------------------------------|
| semiproductos | [ | soleras secas de yeso laminado |
|               |   | láminas separadoras            |

componentes — soportes de suelos elevados

### capas de acabado y uso o pavimentos

|         |   |   |                     |
|---------|---|---|---------------------|
| amorfos | — | [ | hormigón mejorado   |
|         |   |   | terrazo in situ     |
|         |   |   | morteros de resinas |
|         |   |   | pinturas            |

|              |   |          |   |                |
|--------------|---|----------|---|----------------|
| p. elementos | — | baldosas | [ | piedra         |
|              |   |          |   | terrazo        |
|              |   |          |   | cerámica       |
|              |   | piezas   | [ | madera         |
|              |   |          |   | corcho         |
|              |   |          |   | estratificados |

|                                           |           |   |                   |
|-------------------------------------------|-----------|---|-------------------|
| semiproductos<br>(en rollos<br>o losetas) | laminados | [ | linóleo           |
|                                           |           |   | PVC               |
|                                           |           |   | goma              |
|                                           | textiles  | [ | lana              |
|                                           |           |   | fibras sintéticas |

|             |   |   |                          |
|-------------|---|---|--------------------------|
| componentes | — | [ | baldosas suelos elevados |
|-------------|---|---|--------------------------|



Al igual que en los revestimientos de paramentos, es útil añadir tres posibles clasificaciones dicotómicas de los pavimentos: gruesos y delgados, pesados y ligeros, húmedos y secos.

Los delgados no pueden aportar el nivel y la planeidad y requieren capas intermedias para conseguirlo. Son delgados los semiproductos, los amorfos y algún tipo de baldosa. Los gruesos aportan el nivel y la planeidad por sí mismos.

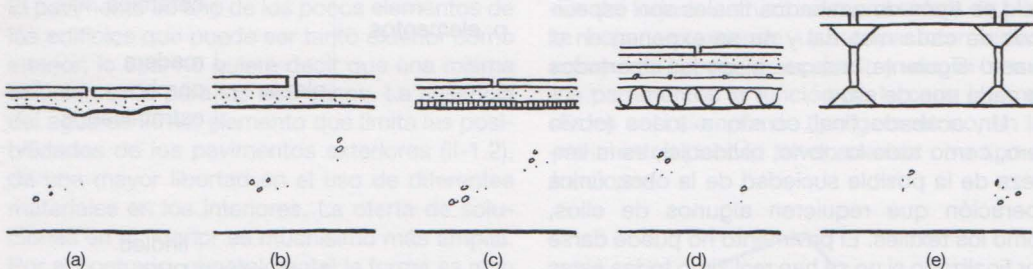
La diferencia entre pesados y ligeros tiene consecuencias importantes cuando se trata de edificios de alturas elevadas, ya que la repercusión en la estructura y la cimentación puede ser relevante.

La diferencia entre húmedos y secos tiene consecuencias claras en los procesos de obra. En general, los amorfos y pequeños elementos tienen unos procesos con fuerte presencia de agua, al contrario que los semiproductos y componentes. Veamos cada uno de los tipos al detalle.

## DESCRIPCIÓN DE TIPOS

### Capas intermedias

Sus posibles funciones son:



• si el pavimento final es delgado, aportar la cota de nivel y la planeidad global (a),

• compensar los diferentes niveles si en una misma planta se utilizan diferentes pavimentos con diferentes gruesos, como puede ser un terrazo y un pavimento de cerámica (b),

• independizar los posibles movimientos diferenciales con el forjado (c),

• organizar una losa flotante aislante del ruido aéreo y de impacto en conjunción con el forjado, del tipo de las expuestas en II-7 (d),

• ubicar conductos de instalaciones, embebidos en mortero u hormigón (ver figuras más adelante) o formando una cámara con piezas de soporte del pavimento (e).

Las soluciones más habituales son las siguientes:

### Chapas de nivelación y alisado

Resuelven los casos (a) (b) y el empotramiento de instalaciones.

La solución básica es la chapa de mortero, con una composición de 1:4 o 1:3 de cemento portland, extendida sobre el forjado en fases avanzadas de la obra. Su acabado superficial es el que le proporciona el paso de la regla, que, si no dispone de un mecanismo vibrante, es una superficie bastante rugosa.

En general, los pavimentos laminados requieren una superficie más lisa y sobre la chapa anterior se ha de extender una nueva chapa todavía más delgada denominada chapa de alisado. Se realizan con productos industriales de composiciones complejas cuyos fabricantes han de garantizar la calidad e idoneidad de sus productos mediante un D.I.T.

Tres alternativas simplificadoras se presentan a esta operación:

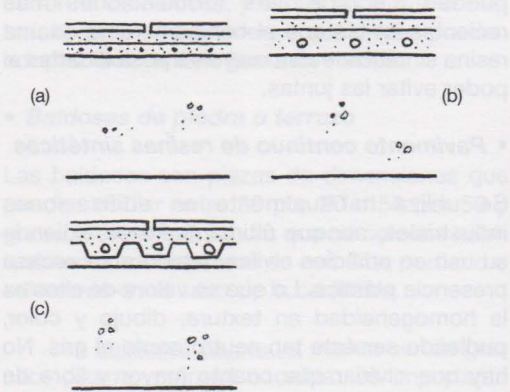
• colocación de un terrazo de tercera categoría incluso con piezas de diferentes colores; si bien una vez revestido es imposible advertirlo, no es una solución demasiado elegante, pero sí útil en determinados casos,

• colocación de paneles de yeso laminado, formando la denominada solera seca, cuyo uso está todavía en nuestro país en sus inicios, pero que en otros países europeos es más común,



- evitar la necesidad de capas intermedias consiguiendo que la capa de compresión del forjado tenga ya sus cualidades de nivel, planitud y finura de textura desde el momento de la realización de la propia estructura.

La tercera estrategia, la más racional, plantea muchos problemas de ejecución, ya que los hábitos de la construcción de estructuras distan mucho de ser tan delicados como para conseguir esas precisiones. Sin embargo, una buena organización de la construcción permite conseguirlos mediante técnicas que incluyen el fratasado mecánico mediante helicóptero. Si el revestimiento final tiene poco cuerpo, será necesaria la capa de alisado.



Las chapas añadidas de mortero son necesarias para calefacción por suelo radiante (III-2.2), tanto en su versión eléctrica como de agua caliente. En el primer caso, el débil grosor de los cables no requerirá apenas espesor (a), pero sí en el segundo caso (b). El mercado ofrece semiproductos en forma de paneles en poliestireno expandido con relieves ajustados para la ubicación de los tubos de agua que se tienden sobre el soporte, y sobre ellos se tiende la chapa de mortero (c).

### Losas flotantes

La versión más usual consisten en una losa de hormigón ligeramente armado, de entre 4 y 5 cm de grosor, que se extiende sobre las capas de aislante de la vibración. El éxito de la operación requiere:

- obviamente, que el aislante realmente lo sea de la vibración o específicamente del ruido de impacto, cosa que ha de certificar un laboratorio homologado,
- una cuidadísima disposición del aislante sobre el forjado y la junta de desolidarización perimetral, de manera que sea imposible que ninguna parte del hormigón pueda entrar en contacto con el forjado, y
- una correcta ejecución de la losa en sí misma como elemento de hormigón armado; se han de prever las juntas de construcción y de retracción habituales haciéndolas coincidir con la separación entre locales.

Una vez endurecido el hormigón, que tendrá unas características superficiales equivalentes a la chapa de mortero, podrá recibir cualquiera de los tipos de pavimentos de acabados finales, desde los delgados hasta los gruesos.



Losa flotante de hormigón sobre aislante de poliestireno expandido elasticado en proceso de realización.



La complejidad de estas operaciones promueve que los fabricantes de productos ofrezcan soluciones alternativas, como la solera seca de yeso laminado sobre aislante, que sustituye la losa de hormigón. La prestación de aislamiento puede ser razonable, aunque la ligereza del yeso laminado no puede compensar la masa de la losa. En cualquier caso, los resultados deben estar garantizados por un laboratorio.

En los países europeos en los que todo este tipo de soluciones tiene una tradición de muchas décadas, se están desarrollando procedimientos para realizar todo tipo de chapas, flotantes o no, mediante productos nuevos como la anhidrita. Estos productos tienen capacidades de autonivelación y su puesta en obra presenta menos problemas, pero requieren un instrumental técnico muy específico.

## Capas de acabado y uso

### Materiales amorfos

#### • Terrazo in situ

Las soluciones de acabado con materiales amorfos extendidos in situ sobre algún soporte de los citados anteriormente no es una práctica común. El denominado terrazo in situ no es más que unas sucesivas capas de morteros de cemento, con la particularidad de que la final está hecha con áridos escogidos con cemento portland blanco y con los pigmentos necesarios en función del color escogido. Véase el ejemplo expuesto en I-p. 195.

Por las razones expuestas en I-11, es necesario dividir esta última capa en zonas o cuadrículas de unas dimensiones de entre 1 m hasta como máximo 2 m, mediante juntas que se deberán organizar de acuerdo con la intención sobre la definición final del espacio, como el ejemplo expuesto en I-p. 195. Una vez endurecido el mortero, el acabado final se realiza mediante el pulido con máquina de disco horizontal empleándose lechada de cemento, piedra de carborundo de grano fino y esparto o fieltro pulido. Al igual que el terrazo en baldosas, podrá utilizarse ácido sálico o un producto similar.

Si el terrazo in situ está bien hecho, su durabilidad puede ser alta. Pero, precisamente, el problema es que no es fácil hacerlo bien. En su formulación tradicional con morteros hidráulicos, son muchas y delicadas las variables que condicionan su éxito final. La más importante de todas es conseguir controlar la retracción del mortero que, por fuerza, ha de ser rico en cemento para poder aportar el mínimo exigible de resistencia a la abrasión. A lo largo de los últimos años han sido muchos los intentos para conseguirlo de manera industrial y también los fracasos, aunque no siempre atribuibles al producto, sino a su soporte. Como todo pavimento delgado y rígido, si el soporte es muy flexible, sus deformaciones pueden afectarle. Las formulaciones más recientes en las que el conglomerante es una resina sintética le dan mayores posibilidades al poder evitar las juntas.

#### • Pavimento continuo de resinas sintéticas

Se utiliza habitualmente en edificaciones industriales, aunque últimamente se extiende su uso en edificios civiles debido a su escasa presencia plástica. Lo que se valora de ellos es la homogeneidad en textura, dibujo y color, pudiendo ser éste tan neutro como el gris. No hay que olvidar que cuanto mayor y libre de obstáculos es la superficie a tratar, mayor es la adaptación de los procedimientos habituales. Si se trata de espacios de pequeñas dimensiones, los rincones siempre tiene una solución más difícil.

Se realiza sobre una superficie de hormigón, de forjado o solera en planta baja, a la que previamente se debe de haber eliminado la lechada superficial mediante chorro de arena.

El mortero está constituido por un ligante a base de resinas sintéticas y áridos minerales. Existen dos variantes: el mortero autonivelante, que se aplica con espátula dentada hasta lograr un espesor de no menos de 2 mm; y el mortero no autonivelante que se extiende mediante llana o espátula sobre impregnación previa hasta lograr un espesor no menor de 4 mm.

El pavimento continuo más sencillo es el que se obtiene mediante un tratamiento de la



superficie del hormigón, que por sí misma ya debe tener las características de nivelación y planeidad requeridas. Se extienden mediante brocha, cuchillo, rodillo o pistola, y son productos a base de fluosilicatos, resina de epoxi, poliuretanos, o brea de epoxi que sellan los poros y confieren una moderada resistencia al desgaste, antipolvo y estanquidad. Pueden presentarse con colores por adición de pigmentos y, de hecho, actúan como si fueran pinturas de la superficie de hormigón.

### Pequeños elementos

Se presentan dos grupos, uno el de las piezas en forma de baldosa, y el otro en el que el material básico es la madera y sus piezas pueden adoptar una variada gama de formas.

#### • Baldosas de piedra o terrazo

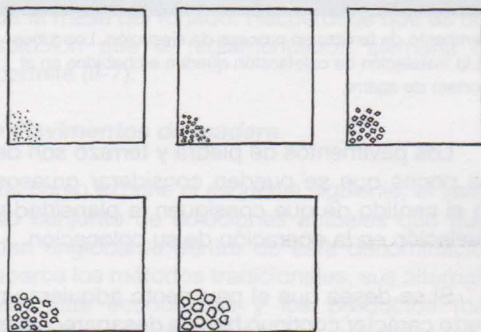
Las baldosas son piezas de dimensiones que pueden oscilar entre 20 por 20 o 50 por 50 y gruesos entre 2, 3 y 4 cm que se colocan habitualmente con morteros de cemento portland o adhesivos en el caso de la cerámica.

Las baldosas de piedra suelen ser de granito, pizarra, mármol o caliza; es importante que su espesor no sea menor de 2 cm si la arista de la cara menor es de 40 cm, y si ésta es mayor el grueso no menor de 3 cm. Las cargas a las que están sometidos los pavimentos, en general, pueden llegar a romper las piezas por flexión porque, por mucho cuidado que tengan los operarios, siempre se produce algún fallo en la colocación y las baldosas pueden llegar a actuar como placas o vigas. Su resistencia a flexión depende entonces del canto aportado por el espesor.

La cara interior no vista puede quedar cortada a sierra, pero la superior vista puede ser acabada mediante el pulido brillante o mate, el apomazado, el abujardado a corte de sierra granulado o rugoso. Normalmente el acabado para interiores es pulido brillante y en exteriores o zonas donde pueda existir agua, los acabados han de ser más rugosos.

El terrazo no es más que un producto de hormigón, por supuesto de un hormigón escogido y muy elaborado, que también, como lo denominan los franceses, se puede considerar "piedra reconstituida".

La baldosa de terrazo está formada por una capa base de mortero de cemento y una cara de huella o vista formada por otro mortero de cemento con cualidades visuales mucho mejores debidas a la utilización de una arenilla de mármol o unos áridos escogidos de un cemento portland blanco con la adición de pigmentos. Sus dimensiones oscilan entre 20 por 20 y 50 por 50 cm, y los espesores van de 20 a 30 mm.



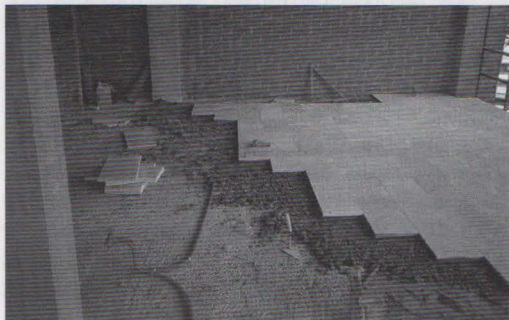
Según la medida máxima del árido se consiguen diferentes aspectos de las baldosas. En función de esta variable, las denominaciones son las siguientes: micrograno 2,5 mm, árido fino 6 mm, grano medio 15 mm, grano grande 20 mm, aglomerado 35 mm y encachado con trozos grandes de mármol. El micrograno es el que permite más la imagen de pavimento continuo y neutral en cuanto a la definición del espacio.

La tecnología industrial con la que se produce la baldosa mediante un vibrado y un fuerte prensado consigue que su hormigón tenga unas altísimas prestaciones mecánicas que le dan una alta resistencia a la abrasión.

Tanto la piedra como las baldosas de terrazo se colocan habiendo extendido primero una capa de arena de un espesor máximo de 3 o 4 cm que actúa como capa intermedia de nivelación. Sobre esta capa se extiende el mortero de agarre, también con espesor de unos 2 cm



y de una dosificación entre 1:5 y 1:6. Una vez extendido, se espolvorea cemento sobre él y se pasa a colocar la baldosa comprimiéndola sobre el mortero hasta conseguir su colocación definitiva en planta y a nivel.



Pavimento de terrazo en proceso de ejecución. Los tubos de la instalación de calefacción quedan embebidos en el mortero de agarre.

Los pavimentos de piedra y terrazo son de los pocos que se pueden considerar gruesos en el sentido de que consiguen la planeidad y nivelación en la operación de su colocación.

Si se desea que el pavimento adquiera un cierto carácter continuo han de desaparecer las juntas entre baldosas. Esto se consigue mediante la operación de rejuntado con lechada, es decir, una mezcla de cemento portland, agua y pigmentos del mismo tipo de los utilizados en el terrazo o similares a la piedra, con lo que queda lo más desapercibida posible. Es una operación conveniente también desde el punto de vista de su conservación y desgaste.



Tendido de la lechada de cemento sobre el embaldosado de terrazo.

Al cabo de tres, cuatro o cinco días se procede a la operación final de rebaje y pulido y finalmente se realiza la operación de abrillantado en que mediante líquidos y ceras se le da ese aspecto final continuo y brillante. Si se desea simplificar estas operaciones es posible utilizar baldosas pulidas en fábrica, pero, al no poder igualar totalmente las piezas una vez colocadas, es más difícil conseguir la continuidad total.

A la larga tradición de productos englobados bajo la denominación genérica de piedra artificial, mosaico hidráulico y terrazo, se suman piezas en las que el conglomerante deja de ser el cemento y pasa a serlo las resinas de poliéster que, gracias a sus propiedades, permite espesores mucho menores y que su peso no exceda del 8 %, siendo lo restante auténtica piedra, aunque, desde luego, no consiguen auténticos pavimentos de piedra.

### • Baldosas de cerámica

Las baldosas de cerámica utilizadas en pavimentos se diferencian de los azulejos (II-9.4) por ser muchísimo más resistentes, lo cual se consigue mediante la utilización de pastas muy compactas cocidas a temperaturas mucho más superiores y esmaltes más resistentes.

Los tipos básicos surgen de combinar las siguientes variables:

- porosidad de la pasta, formando tres grupos, los que están entre 3 y 6 %, los que están entre 3 % y 1 %, y el denominado gres porcelánico con porosidad inferior al 1 %.
- la producción por extrusión o por prensado, generalmente mucho más usual este último, y,
- el esmalte de la pasta; si la pasta no queda esmaltada, el acabado puede ser rústico, y si es gres porcelánico puede ser pulido, adquiriendo una textura y un brillo similares a la piedra.

Sus procesos de producción, mediante la selección de las materias primas, la mejora de la cocción y los acabados superficiales han llevado a un material con un brillante pasado artesanal a un producto industrial de altísimas prestaciones. La propiedad física clave, la porosidad de la pieza, ha pasado de alrededor del 5 % a inferior a 0,5 % en el gres porcelánico.

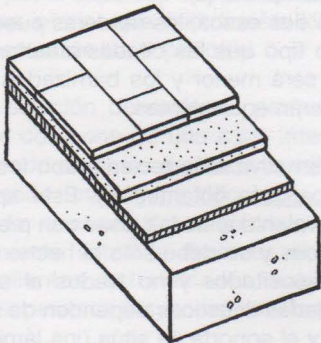


Otra propiedad clave, el formato, alcanza valores impensables hasta hace poco tiempo, aunque el menor formato posible, el del mosaico, sigue siendo una posibilidad muy valorada. Las propiedades que inciden en el aspecto también han variado desde las de los esmaltes opacos hasta las del pulido de la pasta alcanzando una imagen que hasta hace poco tiempo sólo podían aportar las piedras más duras. Todo ello, junto con las garantías de un buen comportamiento frente a los agentes de alteración de las superficies, no sólo desde la pérdida de material sino de aspecto, configuran un grupo de soluciones de pavimentos de alta calidad, aunque, quizá, con una imagen de producto no muy vanguardista.

El método de colocación tradicional es similar al expuesto en el terrazo. Sin embargo, en la actualidad está mucho más extendida la colocación mediante una capa muy fina de mortero cola sobre una capa intermedia de nivelación.

Salvo el gres porcelánico, cuyo calibre y perfección de dimensionado permite las juntas muy finas, en la mayoría de los casos es conveniente dejar unas juntas entre baldosas de 2 o 3 mm o más, que pueden absorber sus posibles imperfecciones geométricas y posibles movimientos posteriores, tanto del propio pavimento como del soporte. La operación de rejuntado mediante lechada pasa a ser, en consecuencia, muy importante.

El dibujo que forman las piezas y las correspondientes retículas de sus juntas pasan a tener una influencia determinante en la definición final del espacio. Véase el último apartado.



La influencia en el aislamiento del ruido de impacto de todas estas soluciones, como puede deducirse, es nula. Sin embargo, en Francia, la industria ofrece productos que pueden conseguir un revestimiento cerámico con una reducción del ruido de impacto equivalente a unos 15 dBA. Todos ellos se basan en una capa aislante de poco espesor, 5 o 6 mm, sobre la que se extiende el mortero cola elaborado por el propio fabricante, que permite fijar las baldosas cerámicas.

Se han de tener toda la serie de precauciones ya comentadas para evitar transmisiones indirectas, pero, en cualquier caso, la débil masa de las baldosas no supone una mejora del aislamiento del ruido aéreo, que sólo depende de la masa del forjado. Recuérdese que es una solución que la reglamentación alemana no permite (II-7).

• Pavimentos de madera

Tal como expone el esquema siguiente, el variado conjunto de soluciones actuales que pueden englobarse dentro de esta denominación abarca los métodos tradicionales, sus alternativas más económicas y los productos más recientes, denominados suelos estratificados.

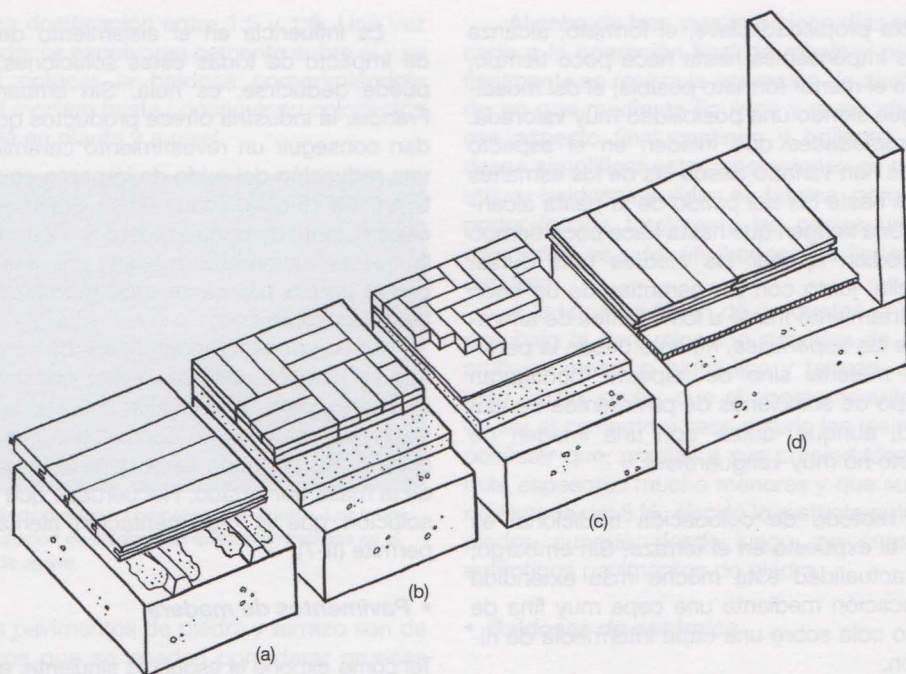
Procedimientos — entarimado sobre rastreles tradicionales



Además de la forma y los materiales de las piezas y sus dibujos, se ha de incluir dentro de la combinatoria tipológica el acabado final. Al igual que ya se ha dicho en algunos pavimentos anteriores, es imprescindible un último acabado, que será el que le confiera las cualidades propias del fácil mantenimiento cotidiano y la apariencia definitiva.







El procedimiento más tradicional, el denominado entarimado, se basa en la utilización de la tarima, pieza de madera con sus cantos machihembrados que se fija mediante clavado sobre unos rastreles fijados también mediante clavado o con morteros sobre el soporte. Las dimensiones son del orden de 1 m por 70 mm y un espesor de alrededor de 20 mm (a).

Las maderas pueden ser frondosas, de las que la más habitual siempre ha sido el roble, o bien resinosas, de las que la más habitual es el pino, aunque en la actualidad la oferta es más amplia. Los tipos finales presentan aspectos muy variados, ya que pueden adoptar diversidad de dibujos.

Dadas las características de la madera ya vistas en I-13, es imprescindible que antes de la colocación se haya adaptado su humedad a la del ambiente, ya que, si no, se producirían movimientos de los descritos en ese tema.

Una vez colocadas las piezas, se procede a su acuchillado y lijado y posterior extensión de una o dos manos de barniz, que puede ser desde la cera tradicional, que requiere renovación frecuente y, por tanto, es un acabado de mantenimiento costoso, hasta barnices actuales en poliuretano o, más recientes, al agua.

El nivel y la planeidad definitivos se consiguen mediante la colocación de los rastreles, que desde este punto de vista adquieren un carácter de capa intermedia.

Por ser un pavimento costoso, ya hace bastantes décadas que han surgido alternativas que buscan soluciones más económicas con un aspecto similar. Una de ellas es la baldosa de mosaico hidráulico, poco difundida, cuya colocación es similar a la de cualquiera de las baldosas citadas anteriormente (b).

Más extendido es el uso de las tabillas de madera encoladas sobre una chapa intermedia a nivel y bien plana (c).

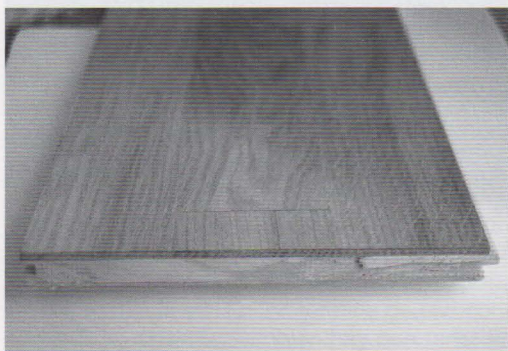
En los dos casos, las maderas pueden ser del mismo tipo que las citadas anteriormente, el grueso será menor y los barnizados finales también serán equivalentes.

La alternativa más reciente son los denominados parqués flotantes (d). Este apelativo no es equivalente al de las losas con prestaciones acústicas y se debe sólo al hecho de que quedan depositados y no fijados al soporte. Sus cualidades acústicas dependen de si entre el parquet y el soporte se sitúa una lámina que



pueda tener características resilientes eficaces como aislante de la vibración, similares a las indicadas para las baldosas cerámicas.

Las piezas habitualmente tienen unas dimensiones de 1,20 m a 2 m por unos 20 cm y unos 8 mm de espesor y llevan sus bordes machihembrados. La colocación consiste en montar una pieza sobre la siguiente depositándolas sobre el suelo. Sus grandes dimensiones y su correcta factura geométrica permiten que, una vez colocado todo el conjunto con unos bordes perimetrales fijos, permanezca inamovible. Comparada con las soluciones anteriores, es una solución bastante más rápida y sencilla.



Detalle de una pieza de parquet flotante.

Su éxito se basa en el carácter industrial de la pieza. Como no existe ningún impedimento a sus movimientos, la utilización de madera sola sería absolutamente inviable, de manera que las piezas tienen una configuración interna que neutraliza por completo los movimientos. Normalmente se componen de tres o cuatro capas: la capa intermedia que da cuerpo, la capa superior de acabado y uso, y la capa inferior que contrarresta los posibles movimientos de las superiores.

La solución denominada parquet estratificado se compone de una capa intermedia de aglomerado de fibras de madera, sobre la cual se extiende una lámina decorada con resina protegida con un film incoloro y prensado directamente sobre la fibra. Es similar a los revestimientos estratificados habituales en paredes, pero con mayor resistencia al roce y la abrasión.

Normalmente son pavimentos totalmente acabados, de manera que son innecesarias las operaciones de acuchillado, lijado y barnizado, lo cual simplifica extraordinariamente la colocación y de ahí su difusión actual.

Si se desea alcanzar una prestación exigente frente a ruido de impacto es imprescindible interponer, entre el parquet flotante y el soporte, láminas que pueden ir de 3 a 5 mm, realizadas con productos de síntesis y espumados que pueden llegar a aportar una disminución del ruido de impacto de 20 dBA.

Al igual que se ha dicho anteriormente en la cerámica, se ha de insistir en que no suponen ningún incremento del aislamiento del ruido aéreo, que depende exclusivamente de la masa del forjado y en que tampoco cumplen la normativa alemana.

El pavimento de corcho o bien se presenta en forma de baldosas de corcho comprimido que se adhieren a un soporte mediante adhesivos, o bien forma parte de las soluciones del parquet flotante, en el que la última capa de las tres es un aglomerado de corcho. La otra utilización del corcho en pavimentos es a través del linóleo, que se ve en el próximo apartado.

### **Semiproducos**

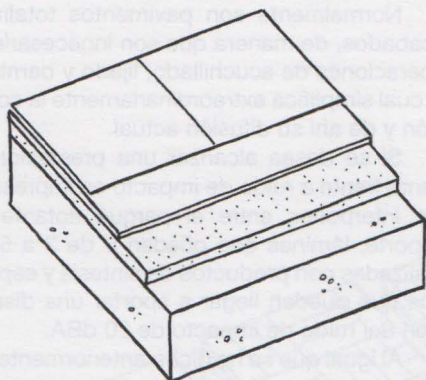
Dentro de este grupo se pueden incluir dos grandes tipos muy diferentes:

- los que podemos denominar de manera genérica pavimentos laminados, que con unos espesores de 2 o 3 mm extendidos sobre una capa de soporte nivelada plana y fina proporcionan una superficie totalmente lisa,
- los revestimientos textiles, cuya capa de acabado corresponde a las diferentes maneras de realizar el tejido.

#### **• Pavimentos laminados**

Entre los laminados, el más antiguo es el linóleo, una mezcla de aceite de linaza, corcho, yute o harina de madera; las diversas combinaciones dan lugar a diferentes productos ofrecidos por la industria, habitualmente en rollos de un ancho de 1,50 a 2 m que se colocan adheridos sobre una capa de nivelación alisada.





Un producto surgido en el mercado más recientemente es el pavimento de caucho o de goma, con un aspecto y una colocación muy similares.

El material que alcanza mayor difusión para la realización de estos pavimentos es el PVC. El mercado ofrece diversas posibilidades. Generalmente es PVC flexible, suministrado en rollos o losetas de tamaños de a  $60 \times 60$  cm aproximadamente que se extienden y se fijan con adhesivos sobre el soporte. El PVC puede ser homogéneo en todo su espesor o formado por capas, aunque siempre con un grosor máximo de 2 mm. Las juntas pueden ir a tope o soldadas. Si se quiere obtener una mayor resistencia al agua, es conveniente soldarlas. El mercado también ofrece baldosas o rollos con reversos resilientes.

Generalmente todos los tipos necesitan un acabado final que facilite su mantenimiento similar al encerado. La oferta más reciente del mercado ya incluye esa capa de protección mediante poliuretano.

Lógicamente, la inclusión o no de un reverso resiliente depende de si es necesario o no un pavimento que inhiba el ruido de impacto. El mercado francés ofrece una enorme variedad de soluciones que pueden alcanzar una reducción de 30 dBA.

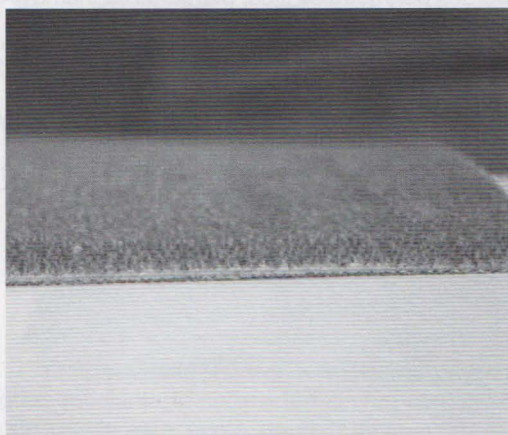
### • **Revestimientos textiles**

Los revestimientos textiles son en la actualidad la respuesta de la industria a las alfombras tradicionales realizadas en lana. Si bien la moqueta de lana sigue existiendo en el mercado, la dis-

minución de los costes se han conseguido utilizando fibras sintéticas, de las cuales las más utilizadas es la poliamida.

Los tipos existentes son combinaciones de:

- las diferentes fibras, lana, poliamida, etc.,
- la manera de unir las fibras a su propio soporte textil, que puede ser tejida, tuftada, encolada o punzonada, y
- la forma final que adquieren las fibras: en bucle, en pelo cortado o terciopelo, estructurada o frisada.



Detalle de una pieza de moqueta de terciopelo encolado de fibra sintética.

Su colocación, siempre sobre una superficie lisa, generalmente se realiza mediante adhesivo, pero también es posible la colocación en tensión fijada sobre una banda claveteada perimetral.

Constituye casi la mitad del mercado mundial de pavimentos, pero casi todo distribuido en el ámbito de la decoración o de bricolaje del propio usuario. Los edificios nuevos en pocas ocasiones se finalizan en moqueta y, por ello, no se le dedica más atención aquí.

Tampoco se desarrollan aquí los sistemas de soportes y pavimentos sobre alzados, solución muy ligada a determinados tipos de edificios de oficinas, ni otros complementos imprescindibles de los pavimentos que son los que se sitúan en las zonas de acceso que limpian de suciedad las suelas de los usuarios que provienen del exterior del edificio.



## PRESTACIONES Y CRITERIOS DE ELECCIÓN

### Adecuación del espacio

De las variables consideradas desde el espacio (I-1), el cómodo desplazamiento de los usuarios es el factor que más incide en el diseño de los pavimentos, especialmente en sus aspectos formales generales. Pero como, obviamente, ese desplazamiento ha de ser seguro (I-8), las consideraciones sobre la integridad de las personas se suman a las de la simple comodidad.

### Adecuación del ambiente

#### Comodidad térmica

No es preciso destacar la importancia de la relación de los usuarios con el pavimento. Es la parte del edificio con la que se está en permanente y total contacto. Por ello, todas las variables que inciden en ese contacto son importantes. Podemos considerar especialmente la penetración térmica que, tal como se expone en I-4, regula la sensación térmica de ese contacto. Pero además, también hay que tener en cuenta la textura del contacto, si es lisa o con los diferentes tipos posibles de rugosidades.

Los materiales pétreos y densos son los que tienen el contacto más frío; en el otro extremo tenemos los materiales textiles como los más cálidos.

Es una consideración imprescindible cuyo olvido puede llevar a errores crasos como proponer moquetas en una ciudad de Andalucía, por razones, por ejemplo, de aislamiento del ruido de impacto o de absorción de ruido aéreo.

#### Comodidad acústica

La influencia del pavimento en la comodidad acústica se concreta en sus efectos sobre el propio local y sobre el vecino inferior.

Sobre el propio, puede producir:

- ruido aéreo por impacto, es decir, el ruido de pisadas en el mismo local,
- actuar como absorbente del ruido existente.

El primer efecto no está suficientemente estudiado y deberemos guiarnos por la experiencia, por ejemplo, un parqué es más sonoro que un pavimento blando, etc. Sobre la absorción, sólo las moquetas aportan un papel relevante. Su efecto se mide por el coeficiente  $\alpha$  (I-7), que en una moqueta espesa oscila entre 0,3 y 0,5.

Sobre la influencia en el local vecino inferior y con relación al ruido aéreo, se ha de insistir en que los pavimentos suponen un incremento de las capacidades propias del forjado sólo en el caso de que se consiga una doble hoja a través de una losa flotante. Un pavimento colocado directamente sobre el forjado sin losa flotante puede actuar inhibiendo el ruido de impacto sólo si es blando, es decir, textil o laminado con reverso blando, o duro sobre una lámina resiliente, como ofrecen algunos fabricantes de baldosas cerámicas o parqué. En estos casos, el aislamiento del ruido aéreo sólo depende de la masa del forjado. En II-7 ya se han expuesto las razones por las que el CTE-HR no acepta estos pavimentos sin losa flotante para la separación entre vecinos, aunque nada impide que se utilicen en los forjados de una misma vivienda de varias plantas.

### Contaminación

Una de las características que diferencian el pavimento del resto de elementos constructivos es que ha de recibir cuidados de mantenimiento cada día. Y esto ocurre por tener dos características también únicas: por su posición horizontal, se ensucia (se contamina) con sorprendente rapidez y, además, todos estamos en contacto con él todo el día. Son cuidados que tenemos ya tan asumidos desde la infancia, la vieja escoba, el mocho..., que parece que sólo pertenecen al mundo de lo doméstico y no a los factores que influyen en su elección al proyectar un edificio. Pues no es así: todo lo que influye en la cualidad de limpiable del pavimento se ha de considerar como un factor más de adecuación a su uso. Para convencernos, es importante aprovechar las raras ocasiones en que en los edificios públicos los empleados de la limpieza se declaran en huelga para observar el grado de suciedad que se acumula



cada día sobre un pavimento, y lo importante que puede llegar a ser que su limpieza sea lo más sencilla posible.

Al igual que ocurre con otras variables, es preciso considerar los diversos usos para valorar los diferentes niveles de exigencia, junto con las posibilidades de mantenimiento según los niveles económicos de los usuarios. No hay un estudio sistemático que permita evaluarlos; pero se puede afirmar, por ejemplo, que el nivel es máximo en las plantas bajas de los edificios de la Administración Pública, ya que, además, los costes de su limpieza deben ser mínimos. Imaginemos, por ejemplo, el error de escoger un pavimento para una escuela primaria que se tuviera que encerar cada día.

Está comprobado que el terrazo es el más apropiado para estos usos duros.

Por contra, si el uso es doméstico, los pavimentos pueden permitirse el lujo de ser tan delicados como la moqueta. Pero, para los pavimentos textiles tampoco sobra pensar ya en la fase de proyecto en su limpieza, máxime cuando el uso es algo más duro que el doméstico, como en un hotel, y dotar al edificio de una instalación de vacío específica (III-2.4.2).

En fin, las consideraciones sobre la limpieza de los pavimentos, dada su prolija casuística, requieren muchas más líneas de las que disponemos. Sea suficiente lo anterior para recordar al lector la existencia de esta exigencia, a veces inadvertida, pero siempre importante.

## Integridad

### Del usuario

El CTE-SU distingue dos tipos de causas en los pavimentos horizontales interiores que pueden afectar a la integridad del usuario: el resbalamiento y las discontinuidades del plano de marcha. Las exigencias que afectan a las escaleras se analizan en II-10.

Respecto al resbalamiento establece un sistema de exigencias y prestaciones según una gradación de la capacidad de un pavimento para evitarlo, que cuantifica de 0 a 3. Uno calificado como 0 es muy resbaladizo y otro calificado como 3 no lo es, incluso aunque esté mojado. La determinación de esa prestación

para un pavimento concreto se realiza siguiendo lo prescrito por la norma UNE-ENV 12633-2003.

La determinación de la exigencia depende del uso del lugar en el que se sitúa el pavimento. Para ello define los diversos tipos de uso, administrativo, comercial, docente, etc., de manera similar al CTE-SI (ver I-8 y I-9), al que añade el uso restringido que es el limitado a un máximo de usuarios habituales de 10 personas, que incluye las viviendas particulares.

Obviamente, todos los pavimentos exteriores (II-1.2) o que rodean piscinas, exteriores o no, deben tener una prestación máxima de 3.

En zonas interiores secas, para pavimentos con pendientes menores del 6 % la exigencia es de 1, y si la pendiente es mayor, pasa a 2. También es 2 en zonas húmedas y una pendiente menor del 6 %, tales como entradas a los edificios desde el exterior, terrazas cubiertas, vestuarios, baños, aseos o cocinas. La exigencia pasa a ser 3 si la pendiente es superior al 6 %. La limitación para las entradas a los edificios no afecta el uso restringido y las viviendas si es un acceso directo.

En aparcamientos, cocinas industriales, zonas con posible caída de grasas, etc., siempre es 3. Las escaleras (II-10) están calificadas siempre como 3.

Es aconsejable no olvidar que en el caso de vestuarios, gimnasios, etc., de carácter público y en los que es previsible esa presencia constante de agua, otra buena solución es la utilización de esterillas o pavimentos calados de algún tipo de plástico, colocados sobre cualquier otro tipo de pavimento, que evitan de raíz que el agua actúe como un elemento lubricante e impiden el resbalamiento.

Las rampas son superficies en pendiente (6-12 %) que también reciben una atención muy detallada por el CTE. Quedan fuera de estas páginas dada su extensión.

Para evitar discontinuidades que puedan suponer un tropiezo, los pavimentos, exceptuando los de uso restringido, deben cumplir las condiciones siguientes:

- no presentar irregularidades superiores a 6 mm,
- los desniveles inferiores a 50 mm se resolverán con pendientes menores al 25 %,



- no deberán contar con perforaciones por las que pueda introducirse una esfera de 15 mm de diámetro,

- no se podrá disponer un escalón aislado ni dos consecutivos, excepto en los accesos a los edificios.

El CTE-SU impone otras condiciones de menor incidencia que no quedan recogidas aquí.

El CTE-SI añade nuevas exigencias respecto a incendios que ya se han comentado en I-9 en la tabla correspondiente. Aquí conviene añadir datos sobre las prestaciones de los diferentes revestimientos de suelo.

Tal como se ha indicado en II-9.1, todos los revestimientos de suelos de piedra natural, terrazo o cerámica están clasificados como A<sub>FL</sub>; los tableros de partículas de madera normales, como D<sub>FL</sub>-s1.

Según documentación oficial de la Unión Europea (Diario Oficial de 16.3.2006), todos los pavimentos de madera maciza tipo entarimado o encolada, sea roble, haya o tipo composites estratificados con acabado de madera, se clasifican como C<sub>FL</sub>-s1, siempre y cuando el acabado superficial sea poliuretano acrílico, cera (50-100 g/m<sup>2</sup>) o aceite (20-60 g/m<sup>2</sup>). Si el acabado es otro, baja a D<sub>FL</sub>-s1. En el caso de que esté encolada, la base ha de ser como mínimo A2-s1, d0.

Según otro documento (Diario Oficial de 11.8.2005), todos los pavimentos laminados, linóleo, de caucho o de PVC, con cualquier tipo de reverso, colocados sobre una base de madera como mínimo D-s2, d0, cualquier otra A2-s1, d0, tienen una clase de E<sub>FL</sub>. Los textiles, sin un tratamiento específico tienen la clase E<sub>FL</sub>, sean moquetas de lana o poliamida, de pelo o tuftadas o punzonadas, colocadas o adheridas sobre base A2-s1, d0.

## Del pavimento

Las posibles causas de deterioro de los pavimentos se agrupan en las que son independientes del uso y las que provienen de los propios usuarios. Las primeras son consecuencia de posibles movimientos diferenciales entre el pavimento y el soporte.

## • Movimientos diferenciales

Por un lado, el pavimento puede estar sometido a movimientos de dilatación o de contracción propios, tal como se expone en I-13. El pavimento que puede llegar a tener mayores efectos en este sentido es la madera, si se coloca con un contenido de humedad muy diferente al que estará sometida durante su vida normal.

En cualquier caso, es recomendable la ubicación de una junta en su entrega con el perímetro, junta que es necesaria también para los pavimentos cerámicos con una cierta tendencia, a lo largo de un tiempo considerable, a aumentar de tamaño. Son imprescindibles, en consecuencia, esas juntas de dilatación, que en realidad nunca son debidas a diferencias de temperaturas, sino a propias expansiones del material. El resto de los materiales no tienen contraindicaciones acusadas en este sentido.

Una precaución imprescindible de los revestimientos colocados con adhesivos sobre una capa de mortero es el control de la humedad de éste, ya que si es superior al 4 %, valor que hay que comprobar antes de colocar adhesivo, se puede producir el descolado de los pavimentos.

Lógicamente, todos estos efectos se acrecientan si el forjado de soporte tiene los movimientos de deformación ya comentados en I-13 y II-5.2. La separación entre pavimento y forjado será una consecuencia inmediata. Los más afectados por este efecto son sin duda los pavimentos cerámicos, que pueden llegar a formar una especie de bóveda flexible hasta que se produzca su rotura. La solución pasa por hacer el forjado más rígido.

## • Resistencia al desgaste

Los pavimentos están claramente diferenciados del resto de los revestimientos interiores por estar sometidos a unas acciones de mucha mayor agresividad, a lo cual han de oponer:

- resistencia mecánica, fundamentalmente al impacto, a la flexión y a la compresión,
- resistencia al desgaste superficial y a la abrasión,
- resistencia al agua y/o a productos químicos.



Los pavimentos pétreos naturales o artificiales, en general dan una buena respuesta a estas exigencias, pero no así los laminados o textiles. Esto ha sido un problema intensamente estudiado por los fabricantes y los laboratorios de investigación sobre edificación desde hace décadas. No sólo interesaban las posibles prestaciones de los diferentes productos, sino evaluar lo más exactamente posible las exigencias según fuera la agresividad de los diferentes usos de los locales. Ya en la década de 1970 se desarrolló en Francia la denominada clasificación UPEC, y fue adoptada por las NTE de nuestro país, que evaluaba tanto exigencias como prestaciones según las cuatro variables siguientes:

- U, comprendía todas aquellas agresiones derivadas de los desplazamientos o movimientos de personas, que producen, o pueden llegar a producir, una abrasión en las zonas más concurridas. U es la inicial de la palabra francesa *usure*,

- P, eran las agresiones producidas por el punzonamiento de patas de mueble o calzados especialmente puntiagudos,

- E, medía la potencial agresividad del agua de los diferentes locales, y

- C, la potencial agresividad de productos químicos, que abarcaba desde los menos agresivos, como el vino o los refrescos, hasta los ácidos.

Según el grado de agresividad del local analizado, estas variables se valoraban de 1 a 4 o de 0 a 3. El CSTB de París elaboró (y las NTE la recogieron) una relación de diferentes usos posibles de los locales, asociándoles ese grado de agresividad. Así, por ejemplo, cualquier vestíbulo situado en planta baja tenía el máximo riesgo desde las cuatro variables, excepto la química, que era algo inferior. Una sala de estar tenía el mínimo en las cuatro.

Si un laboratorio certificaba que el pavimento aportaba las prestaciones para las cuatro variables en el mismo grado que la agresividad del local, era adecuado, por lo menos, durante los siguientes diez años después de colocado.

Pues bien, desde 2003 una nueva norma europea y española, la UNE EU-685, ha sustituido el método por otro parecido que se des-

cribe a continuación. Si se ha dedicado cierta atención al antiguo procedimiento es porque fue uno de los pioneros del esquema exigencias-prestaciones que rige nuestro CTE y porque aporta una descripción útil de las exigencias que afectan a los pavimentos.

La actual norma UNE EU-685 establece, siguiendo el esquema exigencias-prestaciones, seis niveles de exigencia: dos para doméstico, moderado o general, y les asigna los índices 21 y 22. Uno, el 23 doméstico intenso o 31 comercial moderado, que coinciden, y dos más para comercial, general 32, intenso 33. La norma establece los tipos de variables que deben analizarse y que son más o menos las establecidas por la norma UPEC, es decir, resistencia a la abrasión, al impacto, al manchado, al efecto de muebles o de sillas de ruedas. Según los resultados obtenidos por un producto concreto, se le atribuye la prestación correspondiente basada en los 6 indicadores anteriores, de 21 a 33.

### Definición del espacio y conveniencia estética

Además de las variables de color y textura la influencia del pavimento reside en:

- la presencia o no de juntas claramente visibles,

- el dibujo de las superficies de las piezas.

Las que mayor presencia tienen, en consecuencia, son las baldosas cerámicas cuyas juntas son difíciles de camuflar precisamente para que su colocación sea correcta.

Los pavimentos de piedra o terrazo, a pesar de ser baldosas, pueden llegar a constituir pavimentos prácticamente continuos. Paradójicamente, el terrazo continuo o in situ es el que difícilmente puede ocultar sus juntas de retracción.

Los pavimentos de resinas y los de superficie de hormigón endurecida son los únicos que pueden ser realmente continuos. Los de PVC dependerán de la presencia o contraste del material de soldadura de sus juntas.

Sirvan esta líneas para dejar constancia del cúmulo de exigencias que afectan a los pavimentos, y para convencer al lector de que la elección de este elemento, si se consideran a fondo todas ellas, es una de las más complejas.



9.3 Falsos techos (techos colgados)

UNA CUESTIÓN TERMINOLÓGICA

COMPOSICIÓN Y PARTES

COMBINATORIA TIPOLÓGICA

DESCRIPCIÓN DE TIPOS

Continuos

En piezas

PRESTACIONES Y CRITERIOS DE ELECCIÓN Y DISEÑO

Adecuación del ambiente

*Comodidad acústica*

Integridad

Relación con las instalaciones

Definición del espacio y conveniencia estética

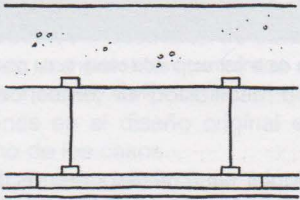
UNA CUESTIÓN TERMINOLÓGICA

La expresión “falso techo” denomina a un elemento constituido por piezas colgadas de un forjado que forman una cámara de aire de mayor o menor espesor. Su significado, es más amplio que el de “cielo raso” teóricamente equivalente. En realidad no lo es, ya que un falso techo no necesariamente ha de ser “raso” o continuo; es más, la mayoría de falsos techos actuales son discontinuos. En este libro no se utiliza la expresión “cielo raso”, y se adopta la expresión “falso techo”, a pesar de su ambigüedad.

El apelativo “falso” parece indicar que lo queda a la vista no es auténtico y sólo es verdadero lo que precisamente esconde, es decir, el trasdós del forjado, supuestamente, el auténtico techo. Pero, por definición, dentro de un edificio, “techo” es lo que tenemos encima de la cabeza, sea el elemento que sea, y, en consecuencia, no tiene sentido el calificativo de “falso”. Sería más razonable utilizar el término, por ejemplo, “techo colgado”; pero, dada la total aceptación de “falso techo”, éste es el que se ha adoptado definitivamente. Recuérdese que en II-9.4 se tratan los que están adheridos al paramento inferior del forjado.

Como ocurre con muchas de las expresiones de la edificación, la coherencia total es difícil de alcanzar y el valor semántico de los términos se basa en su uso convencional. Éste es un caso claro en ese sentido.

COMPOSICIÓN Y PARTES



Generalmente se componen de:

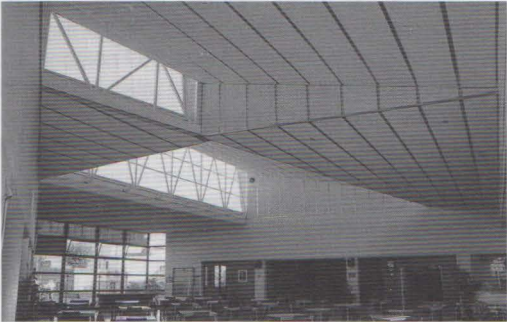
- paneles o placas, colgados del intradós del forjado (II-5.2) o de la estructura de una cubierta (II-5.3),
- un sistema de cuelgue que deja libre un cierto espacio o cámara de aire,
- en algunos casos, un acabado añadido a las placas.



Techo colgado de un forjado reticular en fase de montaje.



El techo es el lugar del interior menos sometido a limitaciones prácticas de orden geométrico; el pavimento debe ser forzosamente plano y horizontal, y las paredes como máximo pueden ser cilíndricas. Sin embargo, el techo puede resolverse mediante todo tipo de formas, especialmente tratándose de edificios de una sola planta en los que el techo está en conjunción directa con la cubierta y los posibles lucernarios.



Techo colgado de la estructura de cubierta de placas de virutas de madera sobre perfilera vista con cualidades absorbentes.

En cualquier caso, si disponemos de cierta altura entre forjados, las posibilidades formales del techo siempre son mayores que las del resto de los revestimientos.

No se desarrollan aquí estas múltiples posibilidades que se basan generalmente en la utilización de placas de escayola y enlucido de yeso, o semiproductos, como tableros aglomerados de madera o yeso laminado.

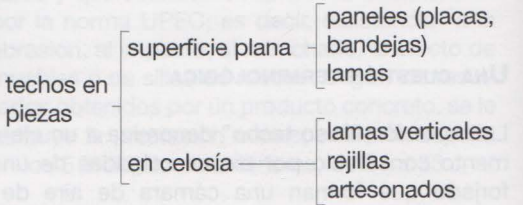
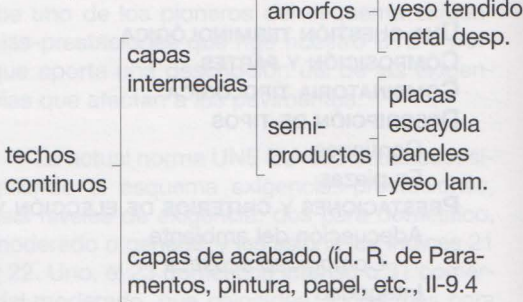
COMBINATORIA TIPOLOGICA

Los tipos más usuales se pueden clasificar en dos grupos según sea el tipo de superficie que determinan:

- continua y homogénea, equivalente a un paramento enyesado,
- discontinua, con piezas o placas cuyas juntas quedan vistas formando o una superficie plana o una celosía calada.

Los primeros se pueden descomponer en los elementos que forman la superficie y su acabado. A esos elementos los podemos considerar como capa intermedia ya que quedan

ocultos por el acabado, normalmente, de pintura.



El estudio de tipos se centra en los más habituales de los continuos y los de piezas se limitan a los de catálogo, es decir, productos industriales.

DESCRIPCIÓN DE TIPOS

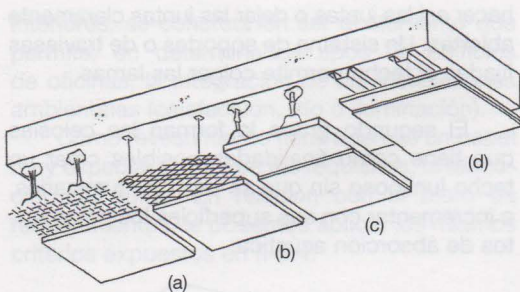
Continuos

La capa de acabado se hace con cualquiera de los revestimientos de paramentos ligeros, pintura o papeles pintados (II-9.4).

La superficie base puede ser de dos tipos: continua en sí misma o formada con placas con bordes diseñados para que sus juntas queden ocultas por el poder cubriente de la capa de acabado. Los tipos surgen de los procedimientos para conseguir esta superficie.

El más tradicional es un guarnecido de yeso tendido sobre un cañizo que cuelga del forjado mediante estopadas de yeso o de mezcla de pasta de yeso con esparto (a). Es un techo poco habitual en la actualidad, que se sustituye por alguno de los siguientes.





El que tiene mayor semejanza con el tradicional es el que se consigue tendiendo ese guarnecido sobre una malla metálica formada por varillas o por metal desplegado, siguiendo unos procedimientos poco usuales en nuestro país denominados Rabitz (b).

En la actualidad, los métodos más utilizados son:

- placas de escayola, con fijación metálica o con fijación de cañas o estopadas (c),
- paneles de yeso laminado (d).

El más usual sigue siendo el de las placas de escayola, denominadas *staff*. Una vez colgadas éstas, se tiende sobre ellas un enlucido de yeso o un emblanqueado muy fino que uniformiza su superficie, y sobre éste la pintura final de acabado.

Las prestaciones son prácticamente idénticas a las de un revestimiento adherido a la cara inferior de un forjado, excepto en el caso de la absorción acústica, que por el hecho de constituir una membrana con cámara de aire aumenta ligeramente el nivel de absorción de las frecuencias graves.

### En piezas

Son productos industriales de catálogo amparados por una patente que ofrece un determinado fabricante; la posibilidad de introducir variaciones en el diseño original depende de cada uno de los casos.

El tipo más habitual se basa en piezas diseñadas para conseguir una superficie horizontal plana que cierra más o menos de forma estanca la cámara de aire posterior.

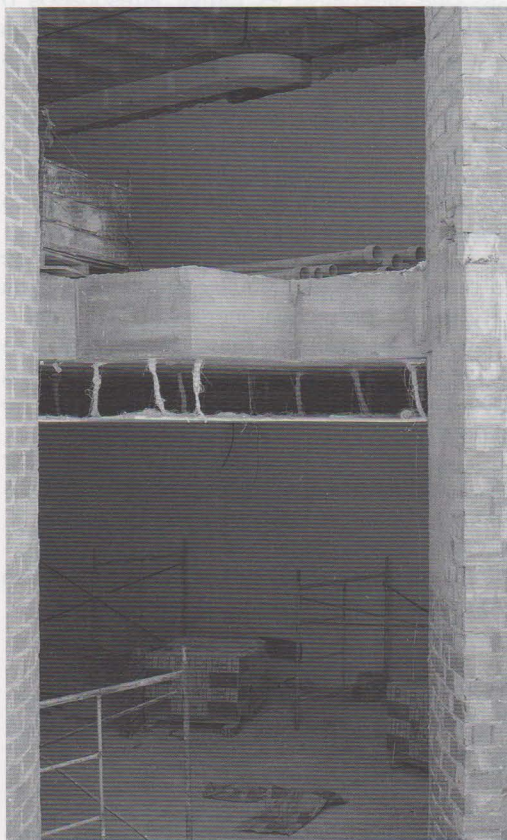
Su función puede consistir en:

- organizar la superficie inferior de una cubierta ligera a fin de configurar el espacio que por sí misma aquella no puede,
- aportar un acabado de unas determinadas características a un forjado horizontal o también inclinado,
- crear una cámara de aire.

Las piezas son rectangulares o cuadradas y se fijan sobre una retícula de perfiles que constituyen el soporte de todo el conjunto. Las variantes surgen de los diferentes materiales y el camuflaje o exhibición de esta estructura portante.

Los materiales más habituales son:

- la escayola, en placas o paneles, que pueden ser lisas, texturadas o perforadas,
- las fibras minerales aglomeradas, normalmente en paneles de 60 por 60 o 60 por 120,
- la lana de madera, con unas medidas similares a las anteriores, y

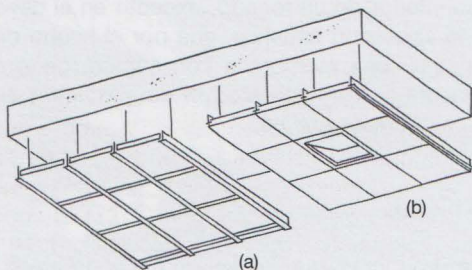


Vista lateral de un techo colgado de placas de escayola en un edificio en construcción.



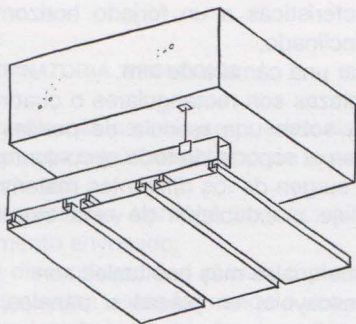
• los materiales metálicos, normalmente acero lacado o aluminio con sus diversos acabados, que forman placas con los rebordes levantados para dar inercia al conjunto, por eso, reciben el nombre de bandejas.

Las placas de escayola y las metálicas presentan la variante de estar perforadas a fin de, mediante la resonancia tipo Hemholtz, aumentar sus prestaciones de absorción acústica. Las de fibra mineral o lana de vidrio no lo necesitan, ya que por sí mismas, por su rugosidad, son absorbentes.



En todos los casos, se presentan las variantes de la perfilería vista (a) u oculta (b).

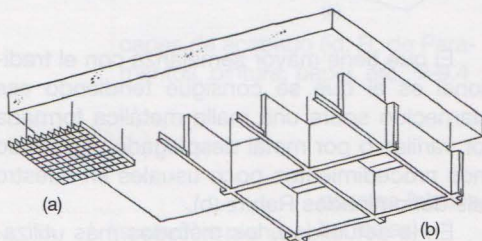
Normalmente, si la perfilería queda vista, las placas quedan depositadas sobre ella y, en consecuencia, son fácilmente removibles, lo cual aporta la ventaja de crear una cámara de aire para instalaciones fácilmente accesibles. Si por cuestiones de aspecto se prefiere ocultar la perfilería, esa accesibilidad queda limitada a unas cuantas placas con soluciones adecuadas para ello.



Los techos de lamas son una solución que exclusivamente se resuelve mediante acero o aluminio. Con ellas se pueden formar techos totalmente estancos si existe un dispositivo para

hacer así las juntas o dejar las juntas claramente abiertas. Un sistema de soportes o de traviesas fijadas al techo permite colgar las lamas.

El segundo grupo lo forman las celosías que tiene como finalidades posibles crear un techo luminoso sin que se vean las luminarias, o incrementar con sus superficies los paramentos de absorción acústica.



Una alternativa es formar artesonados o rejillas de diferentes medidas, según sean los materiales utilizados. Mediante materiales metálicos podemos hacer rejillas de cuadrados, de entre 2, 3, 4 o 5 cm, que buscan conseguir una iluminación homogénea al mismo tiempo que camuflan las luminarias; necesitarán tener un canto en altura suficiente como para que impidan su visión desde el piso (a).

Una solución ya bien experimentada es la que, además de camuflar las partes menos visibles de los techos, incrementa considerablemente la absorción acústica; es la que se resuelve mediante placas de fibra aglomerada puestas en vertical, formando casetones de unas medidas aproximadas de 60 por 60 (b).

Los sistemas de cuelgue tienen que estar concebidos para que permitan compensar diferencias de nivel de los elementos de soporte, normalmente un forjado de hormigón, y permitan la planeidad total que puede conseguirse con un techo fabricado industrialmente.

## PRESTACIONES Y CRITERIOS DE ELECCIÓN Y DISEÑO

### Adecuación del ambiente

La influencia de los falsos techos en la optimización final del ambiente, además de la que ejerce como cualquiera de los revestimientos



interiores, se concreta en ser el elemento que permite, en determinados tipos de edificios de oficinas, la integración de las instalaciones ambientales (calefacción, frío o iluminación).

Como revestimiento tiene además un papel muy especial en uno de los requisitos, la reducción del ruido. En relación con el resto de requerimientos, le podemos aplicar los mismos criterios expuestos en II-9.4.

### Comodidad acústica

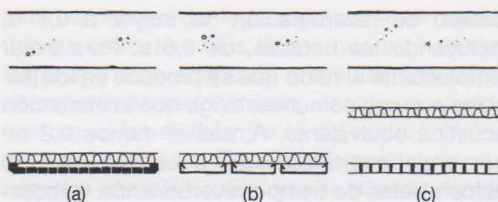
La razón por la que tiene ese papel especial es que su ubicación en una zona inaccesible, al abrigo de posibles acciones agresivas de los usuarios, permite situar en él los materiales y elementos con mayor capacidad de absorción acústica, generalmente muy vulnerables.

El mayor rendimiento se consigue cuando el falso techo organiza una membrana impermeable al aire, junto con la cámara de aire posterior, ya que incluso siendo una superficie absolutamente lisa, supone una absorción de determinadas frecuencias graves, dependiendo en cada caso del diseño concreto. Si esa membrana tiene unas cualidades superficiales rugosas o absorbentes, el conjunto puede llegar a tener un gráfico de absorción de las diferentes frecuencias relativamente homogéneo.

A lo dicho en I-7 y II-9.1, es preciso añadir que cada material tiene diferentes valores de absorción para las diferentes frecuencias. Si bien en esos dos temas se dan valores globales, es preciso al hablar de techos distinguir su comportamiento frente a las diferentes frecuencias.

Las superficies rugosas, como las que se pueden conseguir con las placas de lana mineral aglomerada o viruta de madera aglomerada, absorben preferentemente las frecuencias agudas e incrementan la absorción de medias y graves a medida que aumentan su grosor; un caso extremo puede ser una manta de fibra de vidrio de 10 cm de grueso que supone una absorción de frecuencias graves importante.

En los falsos techos es difícil aumentar los gruesos de estas placas, de manera que su capacidad queda determinada por su poco espesor. Ahora bien, el grosor de las capas de fibra de vidrio sí influye cuando utilizamos otros procedimientos como los siguientes.



El efecto de las perforaciones tanto en placas de escayola como en placas metálicas es el denominado Hemholtz, que por resonancia consigue absorber frecuencias muy concretas en función de la configuración formal o geométrica de la perforación y de las capas absorbentes que tengan detrás. Cuanto más gruesa sea ésta, mayor la absorción y más amplia (a).

Un caso particular se da en los techos de lamas, en los que si dejamos sus juntas abiertas, a pesar de que en sí mismas las lamas lisas no sean absorbentes, podemos producir la absorción a través de la abertura colocando en su parte posterior una manta de fibra de vidrio (b).

Los techos calados, metálicos, de lamas o de rejilla no aportan en sí mismos la más mínima absorción. Si en función de la iluminación se adopta esta solución, es posible colocar en su parte superior en un segundo falso techo, unas mantas absorbentes de fibra de vidrio, todo ello en función de la visión que se quiera dar al usuario situado en la parte inferior (c).

Los techos artesonados de placa de fibras consiguen incrementar la superficie absorbente, que puede reforzarse si en la parte superior colocamos también las placas.

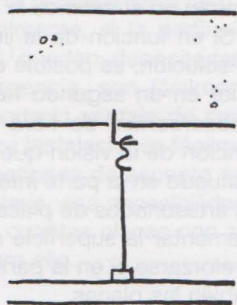
Los valores de absorción son imposibles de prever intuitivamente. Cualquiera de las soluciones antes expuesta puede tener un coeficiente  $\alpha$  entre 0,3 y 0,99, con efectos bien diferentes según sea el caso concreto. Es el fabricante del producto quien debe aportar documentación, garantizada por un laboratorio especializado, sobre la absorción que aporta para cada una de las diferentes frecuencias.

Una aplicación evidente de estos techos está en los edificios escolares, aquejados hasta la puesta en vigor del CTE-HR de un nivel sonoro excesivamente elevado (I-7). Tal como se ha indicado, para facilitar la inteligibilidad de la palabra en las aulas vacías, HR exige un



tiempo de reverberación no mayor a 0,7 s, incluyendo las butacas, de 0,5 s. Para evitar simplemente el ruido que se produce en los pasillos o zonas comunes, exige que la absorción acústica equivalente,  $A$ , sea al menos  $0,2 \text{ m}^2$  por cada metro cúbico. La consecución de estos niveles de tiempo reverberación y absorción es imposible sin la participación de un revestimiento absorbente, cuya única ubicación posible en una escuela es el techo.

Es relativamente frecuente, como ya se ha repetido en varias ocasiones, la confusión entre absorción y aislamiento. La picaresca habitual en cualquier actividad humana lleva en el mundo de la construcción a que algunos fabricantes, basándose en unos coeficientes de absorción documentados por laboratorio, dejen creer al usuario que suponen también un incremento del aislamiento. Se ha de insistir una vez más en que un falso techo que no actúe como una auténtica doble hoja con el forjado no supone ningún incremento del aislamiento de éste.



La realización de un falso techo que realmente forme una doble hoja ha sido muy poco frecuente hasta la puesta en vigor del CTE-HR, dado que, como ya se ha insistido en ello, a pesar de que suponen un incremento del aislamiento del ruido aéreo y de impacto del forjado, no pueden evitar las transmisiones indirectas que se producen indefectiblemente a través de los elementos estructurales verticales. Por ello, en la mayoría de los casos sus prestaciones reales no están a la altura de su coste. Pero, dado que el CTE lo propone como colaborador del entrepiso (II-7), es probable que su presencia aumente en el mercado de la edificación. En cualquier caso, es imprescindible

conseguir una superficie relativamente pesada, separada del forjado mediante un sistema de cuelgue elástico que evite la transmisión de las vibraciones. Además, esta membrana debe ser absolutamente impermeable al aire. Por supuesto, debe ser un producto industrial que asegure esta prestación con la garantía de un ensayo realizado en laboratorio.

## Integridad

La influencia sobre la integridad de las personas se concreta en la posible intervención del falso techo como elemento resistente al fuego, colaborando con el papel de sectorización de incendios que puede tener el forjado del que cuelga, tal como se expone en II-7.

A lo allí dicho se ha de añadir que los falsos techos que mayores prestaciones pueden alcanzar son las placas o paneles que cierran totalmente el techo y son de materiales especialmente útiles tales como yeso, yeso reforzado con fibra de vidrio, vermiculita expandida aglomerada y prensada, fibrosilicatos, y placas compuestas por yeso/perlita, yeso/vermiculita, cemento/perlita. Los valores de las prestaciones dependen de cada caso y es preciso que los aporte el fabricante con la garantía de un laboratorio homologado.

Sobre las exigencias y sus prestaciones como revestimientos en relación a la reacción ante el fuego, ya se han dado indicaciones generales en I-9 y II-9.1. Si son de yeso o vermiculita u otro material pétreo, está clasificado como de clase A1. Cualquier otro tipo de producto debe venir clasificado según documentación acreditada por un laboratorio.

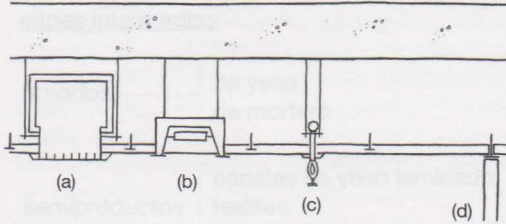
Otra contribución en el mismo sentido puede aportarla por la inclusión en él del sistema de detección y/o extinción automática de los incendios, tal como se describe en el apartado siguiente.

En relación con la integridad propia, probablemente es el elemento constructivo que tiene, metafóricamente, menos enemigos. Ni tan sólo una deformación del forjado excesiva puede llegar a afectar en su integridad, ya que su sistema de cuelgue y su articulación en placas le permiten deformarse sin romperse.



## Relación con las instalaciones

En los edificios de oficinas o en otros con parecidas exigencias, el falso techo resuelve, generalmente, varios problemas de diversa índole.



Además de la absorción acústica citada, es el lugar más indicado para que tres tipos de instalaciones sitúen los elementos que aportan sus fluidos al ambiente o al espacio, principalmente los de climatización (a) e iluminación (b), y si es necesario la de protección de incendios (c) (ver III-5.2).

Pero, además, la cámara permite la ubicación y camuflaje de los voluminosos conductos del aire acondicionado y de todas las demás. Estas razones y el hecho de que permite o incluso facilita los cambios de lugar de las particiones, son suficientes para que sea la solución más habitual en este tipo de edificios.



Techo de sala de usos administrativos. Se observa un difusor de aire acondicionado, un detector de incendios, unas luminarias integradas y, a través del hueco de la placa que se ha retirado, los perfiles donde se apoya ésta y la cámara con conductos de las instalaciones.

Pero la necesidad de conectar los equipos informáticos con una espesa red de cables, junto con la imprescindible flexibilidad, ha llevado ya hace bastantes años a desarrollar los suelos sobrealzados. Ambas soluciones com-

binadas pueden dar lugar a pensar en un nuevo tipo de estructura más liviana que las habituales (II-7) y más adaptada a ese limitado papel de soporte de suelo y techo, siempre que estos dos resuelvan el aislamiento del ruido.

Las salidas del aire acondicionado y las luminarias son elementos que se han de decidir simultáneamente con el tipo de techo. Normalmente, los fabricantes de falsos techos o se adaptan a los diseños existentes o desarrollan otros que se adaptan a sus modelos de techo.

## Definición del espacio y conveniencia estética

Dejando de lado los techos de libre configuración y centrándonos en los que son productos sencillos, artesanales o industriales, su influencia en la configuración final del espacio va desde la neutralidad de los techos continuos hasta la clara influencia que pueden tener, marcando una dirección, los techos de lamas. En una situación intermedia se sitúan los techos de placas en los que puede haber una dirección acusada si son rectangulares, dos direcciones equivalentes si son cuadradas y ambas coincidentes con los ejes principales del espacio, o bien giradas en un determinado ángulo hacia ellas. Si el techo es en celosía, las lamas marcarán una dirección, a menos que se organicen en recuadros con las direcciones perpendiculares, y las rejillas o artesonados tendrán una influencia similar a la de las placas cuadradas.

En los edificios de uso administrativo y, en general, con una presencia cada vez mayor en cualquier tipo de edificios, el diseño final de los falsos techos, y las características que influyen en la definición espacial, requieren el estudio simultáneo de cómo se incorpora la cada vez mayor cantidad de instalaciones.

Cuando la máxima flexibilidad de la distribución recomienda la utilización de mamparas de quita y pon, el falso techo puede tener un papel de elemento de fijación de la parte superior de la mampara. Esto obliga a una coordinación dimensional y a que el módulo de mampara sea exactamente igual al módulo de cuadrícula del falso techo [(d) en la figura anterior].



## 9.4 Revestimientos de paredes y techos

### COMPOSICIÓN

#### COMBINATORIA TIPOLÓGICA

#### DESCRIPCIÓN DE TIPOS

Capas intermedias

*Amorfos*

*Semiproductos*

Capas de acabado

*Amorfos*

*Pequeños elementos*

*Semiproductos y componentes*

#### PRESTACIONES Y CRITERIOS DE ELECCIÓN

Adecuación del ambiente

*Humedad*

*Comodidad acústica*

*Otras variables*

Integridad

*Del usuario*

*Del revestimiento*

Definición del espacio y conveniencia estética

### COMPOSICIÓN

Los revestimientos de paredes y techos tienen la misma composición general común a todos los revestimientos expuesta en II-9.1. Sobre el paramento que sirve de soporte, mediante un sistema de agarre variable de unos casos a otros y la interposición de capas intermedias, se tiende el acabado final. Tal como ya se ha comentado en otras ocasiones, en ciertos casos son necesarias cada una de estas partes y, en otros, mediante una sola operación conseguimos resolver las tres cuestiones: agarre, capa intermedia y acabado.

Las condiciones de agarre dependen tanto del revestimiento como del soporte. Así, por ejemplo, el tendido de yeso no tiene ninguna dificultad para fijarse sobre paramentos cerámicos; pero sí la tiene sobre paramentos de hormigón realizados con encofrados metálicos. En este caso, es necesario repicar el hormigón para darle mayor rugosidad.

En general, la función de las capas intermedias es aportar una regularidad geométrica que ni el paramento soporte ni el propio acabado son capaces de aportar. Su necesidad será

consecuencia, por un lado, de la mayor o menor irregularidad del soporte y, por otro, del poder cubriente del revestimiento de acabado y de la exigencia de planeidad final.

En pinturas, y en general para cualquier revestimiento, se denomina poder cubriente a la capacidad que tienen para cubrir la superficie a la que se aplican, de modo que ésta no pueda ser vista tanto desde el punto de vista del color como del de su textura.

En el caso del revestimiento de piedra, su consistencia hace innecesaria esa capa intermedia; pasa todo lo contrario en el caso de un acabado de pintura, que requiere en la mayoría de los casos una capa intermedia de yeso. Pero también puede ocurrir que la expresión final del paramento acepte o busque ser irregular, y sólo sea necesaria la pintura directa de los ladrillos o bloques del forjado.

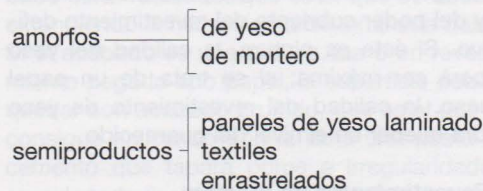
### COMBINATORIA TIPOLÓGICA

Los esquemas siguientes resumen la totalidad de las posibles combinaciones. En primer lugar aparecen las capas intermedias más usuales y,

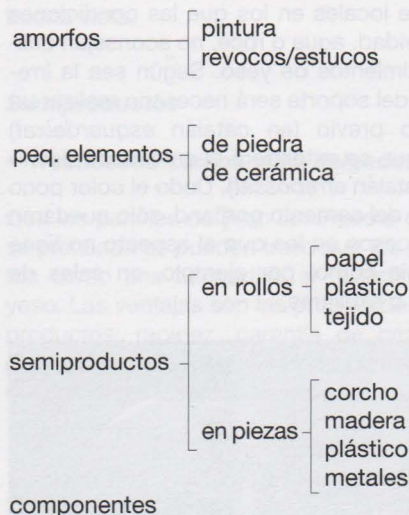


después, las posibles capas de acabado; por último, se clasifican las superficies de paramentos más usuales según si requieren o no la interposición de una capa intermedia.

### capas intermedias



### capas de acabado



El estudio de tipos puede complementarse con tres clasificaciones dicotómicas:

- según su peso, los revestimientos se pueden dividir en ligeros y pesados,
- según su espesor, se dividen en delgados y gruesos,
- según la presencia de agua en su puesta en obra, en húmedos y secos.

En general, los semiproductos y componentes son secos delgados y ligeros, y son los que facilitan más la obra. Cuanta más humedad y peso tengan más dificultades presentan.

### • Superficie de soporte

- 1) usualmente, necesitan capa intermedia:
  - tabiques o paredes (II-8.1) de pequeños elementos, ladrillos usuales o bloques,
  - intradós de forjados (II-5.2) de vigas y bovedillas, o reticular con casetones.
- 2) pueden no necesitar capa intermedia (depende del poder cubriente del acabado):
  - tabiques o paredes realizados con amorfos, pequeños elementos (ladrillos gran formato, ladrillos semiacabados, placas de escayola), semiproductos (paneles de yeso laminado) o componentes (paneles de hormigón),
  - intradós de forjado de losa de hormigón.

La tendencia en la evolución de los tabiques (II-8.1) apunta hacia la obtención de superficies propias cada vez más planas, con total desaparición de las posibles juntas entre las piezas. De este modo puede reducirse al mínimo la necesidad de las capas intermedias húmedas.

## DESCRIPCIÓN DE TIPOS

### Capas intermedias

#### Amorfos

### • Revestimientos de yeso

Una de las aplicaciones más extendidas del yeso (ver I-13, p.157) es el revestimiento de los paramentos interiores. Los diferentes tipos surgen de combinar los tres tipos de yeso —negro, blanco y escayola— y el número y composición de las capas. Según el lugar del país, la práctica se organiza de diferentes maneras: en ciertas regiones se realiza primero un enfoscado previo de cemento y después se aplica el enlucido de yeso blanco o escayola; en otras, se realiza un revestimiento en dos fases, primero un guarnecido con yeso negro y posteriormente un enlucido de yeso blanco. En Cataluña, las dos operaciones de guarnecido y enlucido se efectúan en una sola. En los casos en los que se requiera mayor dureza de la superficie se acaban también con escayola.

Hay que añadir otra variable derivada del nivel de exigencia de la planeidad del para-



mento acabado. Si la exigencia es alta y el paramento de soporte es lo irregular que acostumbra a ser las obras de albañilería, se requiere realizar unas maestras o fajas verticales previas para formar un apoyo preciso de la regla con la que el yesero va a extender la pasta. En este caso, se denomina la operación "yeso maestreado". Las maestras deben estar situadas en todas las esquinas y rincones y en los paramentos de mayor tamaño a distancias inferiores a 2 o 3 m.

Si los requerimientos no son tan altos o la economía de la obra no lo permite, se pueden evitar estas maestras y el yeso se tiende sobre el paramento sin ellas, llamándose entonces "a buena vista".

Si la irregularidad del soporte es notable y el revestimiento de yeso debe tener un espesor superior a 15 mm, se debe realizar siempre por capas sucesivas que no superen ese espesor. Será necesario en este caso que la capa previa tenga consistencia suficiente para no desprenderse, así como una superficie rugosa para facilitar el agarre de la última.



Revestimiento de yeso en proceso de ejecución mediante la técnica de proyectado.

En general, dada la poca resistencia del yeso a la humedad, no se revestirán con yeso las paredes y techos de locales en los que se prevea una humedad relativa alta ni en los que se puedan producir salpicaduras por el agua como lavabos o cocinas.

La elección de un tipo u otro dependerá de las exigencias de planeidad y lisura de la textura y del poder cubriente del revestimiento definitivo. Si éste es pintura, la calidad del yeso deberá ser máxima; si se trata de un papel grueso, la calidad del revestimiento de yeso podrá quedar en el nivel del guarnecido.

#### • **Revestimientos de mortero**

Generalmente con cemento portland (I-13, p.158) y en algunas ocasiones añadiendo cal, podemos realizar morteros para revestir paramentos de locales en los que las condiciones de agresividad, agua o roce, no aconsejan utilizar revestimientos de yeso. Según sea la irregularidad del soporte será necesario realizar un enfoscado previo (en catalán *esquerdeixat*) sobre el que se extenderá el enfoscado definitivo (en catalán *arrebossat*). Dado el color poco agradable del cemento portland, sólo quedaran vistos en casos en los que el aspecto no tiene importancia como, por ejemplo, en salas de máquinas o similares.



Enfoscado en proceso de ejecución mediante la técnica del tendido.

Normalmente, el enfoscado sirve de soporte a un acabado que puede ser de cualquiera de los que describiremos más adelante. Dependiendo del poder cubriente de éste, la superficie será más o menos rugosa.



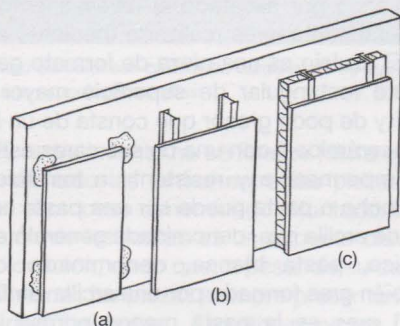
Cuando sirva de soporte a un revoco, estuco o alicatado de piezas mayores de 5 por 5 tomadas con mortero, deberá ser rugoso, tal como queda con el paso de la regla; cuando sirva como capa intermedia a un enlucido, una pintura rugosa o con alicatado con piezas menores de 5 por 5 recibidas con adhesivo, el acabado será fratasado, que es el que se obtiene extendiendo la herramienta denominada fratas. Si el acabado es una pintura lisa o un revestimiento pegado tipo papel, la superficie deberá quedar con acabado bruñido, que es el que se consigue aplicando con la llana una pasta de cemento que tapará poros e irregularidades, cuando todavía el enfoscado no esté endurecido, hasta conseguir la superficie lisa.

En todos los casos, según sea el requerimiento de planeidad, al igual que en el caso del yeso, el enfoscado podrá ser maestreado o a buena vista.

### Semiproductos

#### • Trasdoso con paneles delgados

Con los paneles de yeso laminado o de celulosa prensada se pueden trasdosar los paramentos como una alternativa al revestimiento de yeso. Las ventajas son las propias de los semiproductos: rapidez, garantía de propiedades geométricas y de resistencia superficial, carencia de tiempo de secado, etc.



Se pueden realizar mediante la misma perfilería metálica de los tabiques (b) y si se coloca un panel o manta de material absorbente en la cámara (c) se consigue un notable incremento de aislamiento del ruido aéreo (I-7, II-8.1).

También se pueden adherir directamente sobre el soporte mediante pelladas de pasta de yeso mejorado que suministra el propio fabricante del panel (a). El mercado también ofrece paneles de yeso laminado que llevan incorporada una manta de fibra de vidrio que se coloca también con pelladas y con buenos resultados acústicos.

En todos los casos, el acabado de las juntas entre paneles es exactamente el mismo que el comentado en el caso de tabiques.

### Capas de acabado

#### Amorfos

Una vez tendidas las capas intermedias, se tienden las capas de acabado. Las primeras a considerar son las de materiales amorfos: pinturas y revocos. En las pinturas, tenemos unos gruesos que se miden en décimas de milímetro, y en los revocos, no sobrepasan los 3 mm. Es obvio que por sí mismos no tienen suficiente poder para rectificar los errores de planeidad del soporte. Es importante destacar que, como ocurre con todos los materiales amorfos, sus cualidades finales están muy influidas por la habilidad del operario, especialmente en el caso de los estucos, y que en su valoración es preciso incluir de una forma destacada las variables que determinan su contribución a la conveniencia estética, tales como el color y sus texturas.

#### • Pinturas

Los acabados de pintura interiores surgen de combinar los tres tipos de materiales utilizados con sus respectivos posibles acabados de texturas finales. Los materiales pueden ser: la pintura al temple o a la cola, las pinturas plásticas y los esmaltes.

Las pinturas al temple o a la cola han sido las que han permitido realizar todos los acabados interiores de los edificios históricos hasta hace pocos años. Se componen de una cola de origen animal o vegetal disuelta en agua y de pigmentos o colorantes. En la actualidad, se obtienen mediante la disolución en agua de colas celulósicas o amiláceas con pigmentos a base de sulfato cálcico o carbonato cálcico.



Las pinturas plásticas se obtienen por emulsión en agua de ligantes formados por resinas acrílicas o vinílicas y pigmentos resistentes a la alcalinidad, y aparecieron en el mercado hace relativamente pocas décadas.

La pintura al esmalte sintético está compuesta de resinas sintéticas obtenidas por la combinación de aceites con resinas sintéticas duras disueltas en disolvente de hidrocarburos, tipo aguarrás y pigmentos adecuados.

Los acabados pueden ser generalmente de dos tipos: liso y texturado o rugoso. Si es liso, puede ser a su vez: brillante, satinado o mate. En los esmaltes, el acabado prácticamente siempre es liso y brillante. En el caso de las colas, si el acabado es liso, siempre es mate. En las plásticas, el acabado liso puede dar a su vez mate o satinado.

El acabado rugoso, tanto las colas como las plásticas, se obtiene por la utilización de rodillos o herramientas de pintor que proporcionan esas irregularidades; generalmente son raspados a la gota.

Los colores dependen de la posibilidad de disolver pigmentos de cada uno de los tipos de disolventes. Las que tienen menor gama son las pinturas al temple y las que más, las pinturas al esmalte.

El proceso de pintado siempre incluye como mínimo dos capas sucesivas de la misma pintura. Según los casos y las características del soporte será necesaria una imprimación o un plastecido de sus irregularidades.

### • **Revocos-estucos**

Los revocos, también conocidos por estucos o estucados, históricamente se han realizado con morteros de cal y pigmentos térreos en la actualidad se utiliza el cemento portland blanco o ciertas resinas sintéticas. El árido no puede ser una arena común, sino un granulado a base de polvo de mármol u otros áridos con colores adecuados. Su espesor habitualmente no sobrepasa los 2 o 3 mm, y se tiende habitualmente sobre un enfoscado.

Permiten diversos acabados finales, en los que intervienen el color y las texturas, rugosas o lisas. En el caso de ser rugosas, según las herramientas con las que se acaba se denomina

pétreo, con la terminación que da la propia llana; raspado, que se consigue cuando se rasca con una rasqueta metálica la superficie todavía no endurecida; lavado, cuando el mortero levemente endurecido se lava con brocha y agua hasta retirar la lechada de cemento quedando los granos del árido en superficie; y picado, cuando se realiza el lavado con la superficie ya endurecida y se pica con la martillina.

En Cataluña ha sido muy utilizado, y se sigue utilizando en algunos casos, un acabado con una textura extraordinariamente lisa, brillante y resistente, que se consigue mediante el proceso denominado en caliente, aplicando sobre el revestimiento de cal todavía no endurecido una plancha calentada en un hornillo; el calor produce una cristalización de los componentes de la cal hasta conseguir una primera conversión en mármol de la capa más superficial.

Otro tipo actual lo constituyen los estucos conseguidos mediante la proyección de fibras sobre paramento liso, que tienen unos coeficientes de absorción acústica relativamente elevados. Si se colocan sobre una membrana que tiene detrás una cámara, el coeficiente de absorción aumenta considerablemente.

### **Pequeños elementos**

#### • **Alicatados**

Se entiende por alicatado el revestimiento de paramentos interiores realizado mediante azulejos. El azulejo es una pieza de formato generalmente rectangular de superficie mayor de 90 cm<sup>2</sup> y de poco grosor que consta de un bizcocho cerámico y con una de sus caras esmaltada, impermeable y resistente a los ácidos. El bizcocho o pasta puede ser una pasta coloreada de arcilla roja, denominada generalmente mayólica, pasta blanca, denominada loza, o también gres formado por una arcilla vitrificable. El gres es la pasta menos porosa y la menos susceptible de embeber agua.

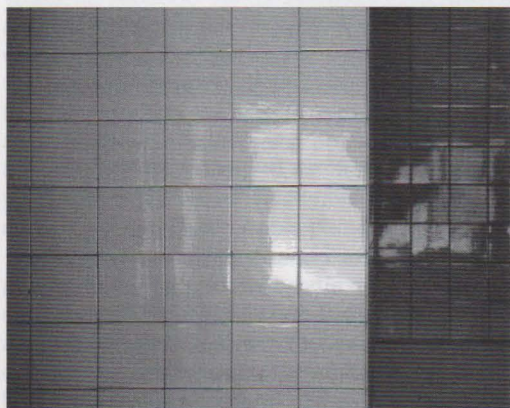
Si el tamaño es menor, se denomina mosaico y preferentemente está realizado con gres.

En el mercado, existen multitud de productos, cuyas variables fundamentales son el formato y el aspecto. El primero, en el caso de los



azulejos, es de 10 por 20, de 15 por 15, de 20 por 20 cm, y en el caso de los mosaicos es de 2 por 2, 3 por 3, 4 por 4, etc. Las variables del aspecto son las que realmente proporcionan una extraordinaria variedad, combinando los colores y texturas que proporcionan los esmaltes.

El sistema de agarre al soporte se basa en la utilización de morteros, que según sea la planeidad de aquél serán morteros de agarre tradicionales o morteros-cola. El primero se utiliza cuando el soporte es un enfoscado con unas características no excesivamente perfectas. Si el soporte es una placa de escayola o un panel de yeso laminado con características de planeidad de mayor perfección, el mortero puede ser mortero cola; éstos son productos industriales obtenidos añadiendo resinas a los morteros normales que les confieren una especial capacidad adhesiva.



Alicatado de baldosas cerámicas esmaltadas de blanco, con junta estrecha entre ellas.

El revestimiento no se finaliza hasta que se han rellenado las juntas entre las piezas mediante el proceso denominado rejuntado. La dimensión de las juntas es un aspecto clave en su colocación, dado que, a pesar de su calidad dimensional, las piezas siempre presentan ciertas irregularidades. Cuanto mayores sean éstas, mayor deberá ser la junta entre ellas para poder absorberlas.

En cualquier caso, las juntas son proporcionales a las dimensiones de las piezas, de manera que una pieza de 10 por 10 requerirá sólo una junta de 2 mm, y una de 20 por 30

puede requerir hasta 4 mm. El operario colocador las va formando a medida que sitúa las piezas sobre el soporte mediante el mortero de agarre, compensando sus posibles defectos con separadores que, en muchas ocasiones, el propio colocador se suministra de las maneras más variadas, como utilizando mondadientes.

No obstante, existen en el mercado separadores en forma de cruceta y cordones que facilitan más la operación.

El material de rejuntado pasa a ser uno de los aspectos clave del revestimiento. Generalmente se realizan con lechadas de cemento portland, es decir, con un mortero muy líquido sin arena, o bien productos industriales especialmente preparados para ello como mortero de cemento *dry-set* o con látex.

Tanto estos morteros especiales como los morteros cola son productos industriales que deben quedar sometidos a ensayos de control y su calidad avalada por un D.I.T.

#### • Chapados

Se obtienen mediante la fijación de placas de piedra natural sobre un soporte que deberá ser suficientemente resistente para mantenerse rígido ante su peso. Las placas deben tener un espesor mínimo de 20 mm y estar fijadas mediante anclajes al paramento. Las piedras podrán ser calizas, mármoles o granitos.

#### Semiproductos y componentes

Dentro de los semiproductos, encontramos una gama amplia y diversa de revestimientos interiores. La mayoría de ellos son utilizados en decoración o interiorismo en fases posteriores a la construcción; por lo tanto, no se desarrollarán aquí con tanta extensión como los anteriores. Con todo, es interesante hacer algunas referencias generales.

En primer lugar, podemos mencionar el papel pintado, que puede ser útil cuando el paramento base no tiene las juntas suficientemente bien resueltas como para que no aparezcan si el acabado final es pintura. Esto puede ocurrir con las placas de escayola o con las placas o paneles de hormigón aligerado que, por



pequeños movimientos, propios o del conjunto del edificio, acusan excesivamente sus juntas. Pero en general no son admitidos como acabado de edificios nuevos.

Caso parecido son los rollos realizados con laminados plásticos y, en menor proporción todavía, los revestimientos textiles.

Se ha de hacer una rápida mención del conjunto extenso de posibles revestimientos ligeros que van desde placas o piezas de madera colocadas sobre rastreles, laminados estratificados sobre paneles de aglomerados de madera, hasta componentes.

## PRESTACIONES Y CRITERIOS DE ELECCIÓN

### Adecuación del ambiente

#### Humedad

Tal como ya se ha citado en II-9.1, los revestimientos de paramentos pueden tener una influencia relevante en la fijación de los valores de la humedad relativa del ambiente interior. Por otro lado, su papel cuando revisten los paramentos interiores de las fachadas puede favorecer la migración del vapor hacia el exterior o puede contribuir a esa impermeabilidad. Todas estas consideraciones llevan a que, a grandes rasgos y desde este punto de vista, el revestimiento más aconsejable para el interior de los edificios con usos tales como vivienda, residencial, hospitalario o escolar, sea el revestimiento de yeso con pintura transpirable.

La utilización de revestimientos impermeables como los azulejos, las pinturas de esmalte, enfoscados o estucos de cemento portland o cal, sólo se justifica por su resistencia a una humedad excesiva, como ocurre en los locales húmedos.

#### Comodidad acústica

En relación con la absorción del ruido aéreo (I-7), los revestimientos textiles son los que pueden aportar un coeficiente de absorción relativamente elevado ( $\alpha = 0,2$  a  $0,5$ ); si se colocan sobre mantas de fibra de vidrio gruesas, puede aumentar hasta  $0,8$ . En cualquier caso,

el tendido de yeso tiene unas cualidades de absorción algo más favorables ( $\alpha = 0,2$ ) que los revestimientos más duros como estucos lisos o alicatados ( $\alpha = 0,05$ ) o paramentos de ladrillo u hormigón.

Como ya se ha indicado, se acostumbra a sobrevalorar las características estéticas de los paramentos lisos y a ignorar sus efectos reverberantes. Son conocidos varios casos extremos en los que se ha tenido que proceder a operaciones de corrección.



Los paneles colgados del techo (un sándwich de yeso laminado perforado y absorbente) se han añadido para compensar la intensa reverberación producida por las superficies pintadas de ladrillo en paredes y hormigón en techos.

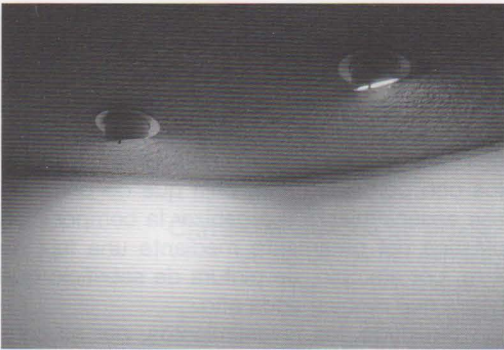
Los estucos conseguidos mediante la proyección de mortero con fibras suponen un incremento interesante del valor alfa, porque permiten conseguirlo manteniendo, en parte, la lisura y continuidad del paramento; no obstante, el valor de su alfa no puede ser muy alto.

La única manera de alcanzar las exigencias del CTE-HR (ver II-9.1) es utilizar falsos techos colgados (II-9.3).

Cuando se trata de un producto industrial, no es posible determinar ni aproximadamente el valor del coeficiente alfa y es el fabricante el que debe certificarlo.

En relación con el aislamiento que pueda proporcionar una pared, una vez más sigue siendo necesario deshacer un equívoco bastante extendido. La influencia de los revestimientos en el incremento del aislamiento del ruido de una pared es estrictamente nulo. Está especialmente extendida la curiosa creencia de que el corcho aumenta ese aislamiento; es una





Detalle de estuco absorbente, cuya textura rugosa queda destacada por la luz rasante. Fue añadido con posterioridad a la puesta en servicio del edificio debido a que las superficies de yeso originales, totalmente lisas, producían una reverberación excesiva.

creencia sencillamente errónea. La capacidad de aislar de las paredes reside en su masa, como ya se ha repetido varias veces, y los revestimientos sólo pueden incrementar esa capacidad a base de aumentar esa masa, lo que no tiene mucho sentido, ya que incluso doblándola sólo aumenta ese aislamiento del orden de unos 5 dBA. La única solución, si se pretende incrementar el aislamiento, es hacer otra pared y formar con la pared existente el mecanismo acústico denominado doble pared (I-7).

Desde este punto de vista, sólo un revestimiento trasdosado con fibra de vidrio incorporada, o bien la formación de la segunda pared alejada de la primera mediante medio tabique de yeso laminado, puede incrementar ese aislamiento.

Otras variables

Sobre el resto de las consideraciones del ambiente, nada hay que añadir a lo ya dicho; el calor y el frío están condicionados por la penetración térmica, variable para la cual el yeso tiene unos valores aceptables, que pueden conferir cierta calidez psicológica y real al revestimiento interior; en relación con la luz, todo viene condicionado por el color de la pintura o del acabado definitivo. En el cuadro se dan valores orientativos de los coeficientes de reflexión de la luz más comunes; 1 corresponde a una blancura perfecta y 0 a un agujero negro.

|                                              |         |
|----------------------------------------------|---------|
| revestimiento de yeso blanco, pintura blanca | 0,8     |
| pintura de colores muy claros                | 0,7-0,6 |
| pintura de colores claros                    | 0,6-0,5 |
| pintura de colores medios                    | 0,5-0,3 |
| pintura de colores oscuros                   | 0,3-0,1 |

Desde el punto de vista de la contaminación, ninguno de los materiales detallados en líneas anteriores presenta ninguna contraindicación, ya que todos están contrastados por su uso a lo largo de muchos años; sólo los nuevos materiales o tableros, sobre los cuales no nos hemos extendido excesivamente, pueden tener alguna contraindicación.

Integridad

Del usuario

Con relación a la protección al fuego, es necesario destacar la clara influencia positiva del uso del yeso en el revestimiento de aquellas particiones que cierran un sector de incendios. Tal como ya se ha indicado en II-9.1, una pared de ladrillo de 14 cm de espesor de ladrillo visto aporta un EI 120. Si se enfosca por ambas caras, sube a EI 180, y si se reviste de yeso, pasa a EI 240. El CTE-SI aporta amplia información sobre diferentes tipos de particiones y sus revestimientos.

En relación con la reacción al fuego de los diferentes revestimientos paredes o techos, en I-9 se indica su clasificación y las exigencias que les prescribe el CTE-SI. En relación con las posibles prestaciones ya se han proporcionado una serie de datos en I-9.1 a los que se añaden aquí los siguientes.

El Real Decreto 312/2005 facilita las dos informaciones siguientes.

Los tableros de yeso laminado con el núcleo de yeso, obviamente, de clase A1, y el cartón de las caras de un gramaje < 220 g/m², alcanzan A2-s1, d0; si el gramaje está entre 220 y 300 g/m², cambia a B-s1, d0.

Los tableros de partículas de madera normales como revestimientos de paredes corresponden a D-s2.



### **Del revestimiento**

Como les ocurre a todos los elementos del interior, estar protegidos de la intemperie es una gran ventaja para resistir con éxito el paso del tiempo. Si el revestimiento es de techo, el paso del tiempo prácticamente no le afecta en absoluto; si el revestimiento es de suelo, como se ve en II-9.2, la acción del usuario es más agresiva; en los revestimientos de paredes, esa agresividad es menor que en los suelos, pero mayor que en los techos, y se concreta en dos tipos de acciones: desperfectos por el roce o contacto directo o, en el caso de los locales húmedos, la posible acción del agua.

En la exposición de los tipos, ya se han mencionado las precauciones que hay que tomar cuando alguna de sus capas no es del todo resistente al agua, lo cual requiere la impermeabilización total de la capa de acabado.

La resistencia al roce es una cualidad que es necesaria, no tanto en el uso de vivienda, sino en locales de pública concurrencia como en hospitales o residencias y especialmente en los edificios docentes.

En este sentido, los revestimientos más resistentes son las baldosas de gres, que en realidad tienen la resistencia de un pavimento, los estucos de cemento o cal, con los que se ha ido revisitando tradicionalmente esas partes más afectadas como las escaleras de los edificios antiguos.

El yeso, aparentemente más débil, si el material es de buena calidad y la realización es correcta, puede aportar una superficie suficientemente dura para muchas situaciones.

Contrariamente a lo que se da en los pavimentos, no existe un estudio que permita valorar la agresividad de los locales y la correspondiente resistencia de los revestimientos. En el caso del yeso sí existe la medida de su dureza mediante el durímetro por escala Mosh.

La solución más económica es el revestimiento de yeso protegido por una pintura especialmente dura hasta una altura que se supone que ya no alcanzan los posibles roces o agresiones.

Desde el punto de vista del aspecto, también hay que considerar que, sin que se produzca una erosión, el contacto del calzado

puede ensuciar las partes más bajas, como se comprueba repetidamente en zonas donde se producen esperas o estancias prolongadas, donde en las paredes quedan claramente señales de las suelas de los zapatos. Hay dos caminos para corregirlo: o bien colocar revestimientos con porosidad muy baja que no permitan ese ensuciamiento u organizar la composición plástica del paramento mediante una faja de 1 m, por ejemplo, de pintura de sacrificio que habrá que renovar cada año.

Sin duda, los revestimientos, por su contacto directo con el usuario son los más afectados por su presencia y los que requieren, en mayor medida que otras partes del edificio, una renovación más frecuente. Ello es un factor a tener en cuenta, ya que no tienen porqué ser tan duraderos como las fachadas o las cubiertas.

### **Definición del espacio y conveniencia estética**

Determinados usos, como la vivienda exigen, en función de la neutralidad de los paramentos, la ausencia total de cualquier tipo de juntas, que obliga a resolver sus revestimientos mediante acabados continuos, pinturas sobre yeso o pinturas de cierto poder cubriente sobre paneles de yeso laminado o similares. La costumbre acepta en los locales húmedos, lavabos y cocinas, la utilización de alicatados, ya que domina en esta elección la necesidad de proteger los paramentos de la humedad existente. Pero en otras culturas también esos locales se resuelven mediante pinturas continuas resistentes a la humedad, tipo esmalte sobre revestimientos continuos, llevando también a estos locales esa neutralidad de los paramentos.



## TEMA 10. Escaleras

### COMPOSICIÓN Y PARTES

#### COMBINATORIA TIPOLÓGICA

Forma

Material

#### CRITERIOS BÁSICOS DE DISEÑO Y ELECCIÓN

Adecuación del espacio e integridad del usuario

*Recorrido general*

*Forma de los escalones*

*Material de los escalones*

*Barandillas*

*Estructura portante*

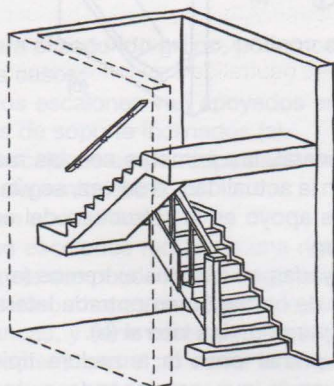
Adecuación del ambiente

*Aislamiento del ruido de impacto*

Conveniencia estética

### COMPOSICIÓN Y PARTES

“Nadie habrá dejado de observar que el suelo se pliega de manera tal que una parte sube en ángulo recto con el plano del suelo y luego la parte siguiente se coloca paralela a este plano para dar paso a una nueva perpendicular, conducta que se repite en espiral o en línea quebrada hasta alturas sumamente variables”. Nadie ha definido la escalera tan bien como Julio Cortázar ¡Qué gran libro de construcción hubiera podido escribir el autor argentino si no se hubiera limitado a la escalera en sus *Historias de Cronopios y de Famas!*



Pero no lo hizo y los que escribimos estas líneas no sabemos tanto como él. Seguiremos con nuestro lacónico estilo.

Las escaleras están formadas por escalones, por parapetos que evitan una posible caída y por elementos que le dan soporte estructural. Si tiene más de un tramo, hay que considerar los descansillos, también llamados rellanos o mesetas, y si deja un hueco entre los diferentes tramos se denomina ojo o hueco.

### COMBINATORIA TIPOLÓGICA

Los diferentes tipos de escalera surgen de combinar sus posibles formas básicas con los materiales con los que se pueden resolver sus diferentes partes —estructura, escalones y barandillas—, aunque, obviamente y como siempre, no todas las formas son compatibles con todos los materiales ni viceversa.

### Forma

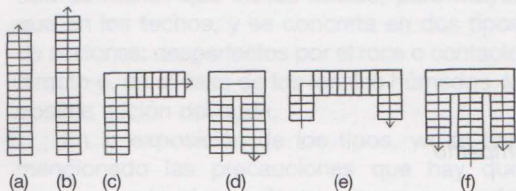
Las variables que se destacan en este apartado sobre la forma son las que sólo hacen referencia a los aspectos que determinan geomé-



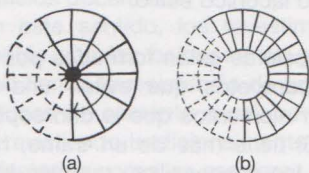
tricamente el recorrido por la escalera. Aspectos más concretos, como la forma de los escalones o de la estructura, sólo se pueden considerar teniendo en cuenta el posible material con los que se resuelven.

La forma del recorrido la definiremos por medio de su planta y de su alzado o sección.

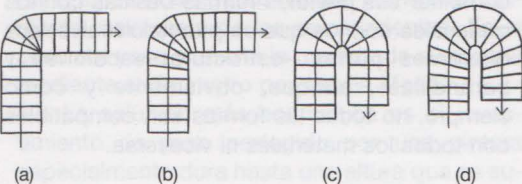
Según sea la planta, se deben distinguir las escaleras rectas de las curvas y las mixtas.



Las rectas serán diferentes según los tramos en los que estén descompuestas (a) y (b), y si estos tramos están en escuadra (c), en ida y vuelta (d) o en tres tramos (e). Cabe considerar además la escalera poco usual a la imperial (f).

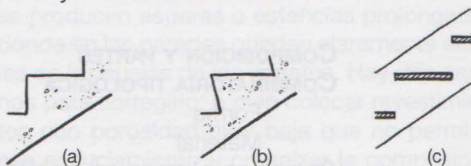


Las escaleras curvas en su mínima expresión son las escaleras de caracol, de espigón o de macho (a), y si éste desaparece y da lugar a un espacio o un hueco suficientemente grande se le llama escalera de caracol con ojo o escalera helicoidal (b).



Los tipos de escaleras mixtas serán diferentes según combinen tramos rectos y curvos; cabe considerar la diferencia entre la escalera de ida y vuelta sin compensar (a) y (c) y la compensada (b) y (d).

El alzado o sección depende de la pendiente y forma de los escalones.



Los escalones pueden ser macizos, de contrahuella vertical (a) o inclinada (b), o calados (c).

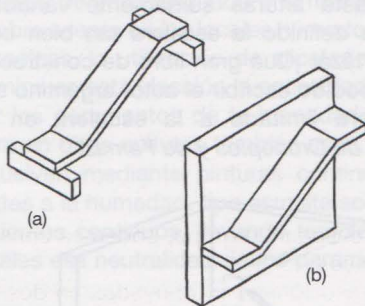
## Material

Se han de considerar simultáneamente los materiales con los que se da forma a la estructura portante y a los escalones.

La estructura portante de una escalera, cualquiera que sea la forma general adoptada, puede realizarse de diversas maneras, que podemos agrupar según estén realizadas con:

- losas o forjados de hormigón armado,
- zancas o elementos lineales resistentes.

En el primer grupo la losa o forjado asume el papel portante y los escalones sólo tienen el papel de pavimento. En el segundo, en cambio, hay que resolver al mismo tiempo la estabilidad y rigidez de los escalones.



En general, las primeras son las más frecuentes en la actualidad. A su vez, según sea el método de apoyo en la estructura del edificio, pueden ser:

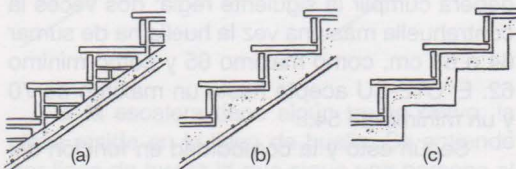
- apoyadas en sus dos extremos (a),
- losa de hormigón empotrada lateralmente en una pared o viga lateral (b).

En el primer caso la armadura típica del hormigón es la que corresponde a una viga



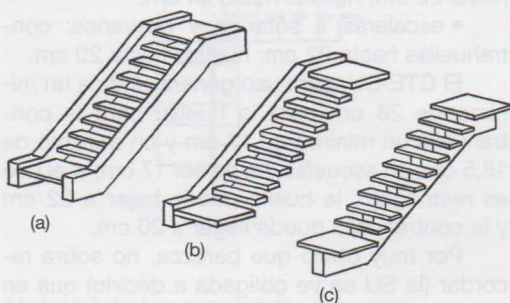
doblemente apoyada. Habitualmente, la losa discurre en forma de "z", incluyendo también las dos mesetas de giro de la escalera, si esta longitud es excesiva, quizá sea necesario situar algún apoyo intermedio.

En el segundo caso, el elemento de hormigón está empotrado en una pared o viga lateral y, en consecuencia, la armadura debe disponerse considerando que son los escalones y las mesetas elementos empotrados trabajando en ménsula.



Los escalones pueden formar parte de la losa (b) o bien realizarse posteriormente a ésta mediante obra de fábrica de ladrillo (a).

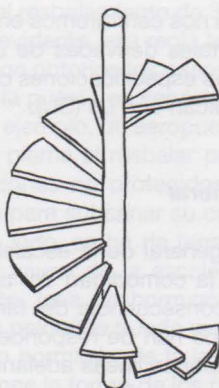
Cabe la posibilidad en la que la losa adquiere la forma del propio escalón, quedando el intradós de la losa como el negativo del escalonado (c).



Para el segundo grupo, podemos considerar tres casos:

- los escalones van apoyados en dos elementos de soporte inclinados (a),
- escalones empotrados cada uno de ellos en un elemento lateral (b),
- en uno central (c).

Los escalones requieren una rigidez y una resistencia que pueden darla en general la piedra, la madera o chapas de acero apoyadas en las dos zancas, y tiene como una de sus principales características el no cerrar la visión a través de ella durante el ascenso o el descenso.



Todos estos casos pueden combinarse y dar lugar a escaleras tipo caracol o helicoidal.

## CRITERIOS BÁSICOS DE DISEÑO Y ELECCIÓN

### Adecuación del espacio e integridad del usuario

De las variables consideradas desde el espacio (I-1), el cómodo desplazamiento de los usuarios es el factor que más incide en su diseño, especialmente en sus aspectos formales generales. Pero como, obviamente, ese desplazamiento ha de ser seguro (I-8), las consideraciones sobre la integridad de las personas se suman a las de la simple comodidad. Ahora bien, como resulta que los desplazamientos por las escaleras casi siempre forman parte de los recorridos de evacuación en caso de incendio (I-9), su diseño formal está inicial y totalmente condicionado por este papel fundamental en la salvaguarda de la vida de los ocupantes del edificio.

A este respecto, antes de tomar la más mínima decisión de diseño sobre una escalera de un edificio, es imprescindible considerar todas las prescripciones específicas del CTE-SI y de las ordenanzas municipales, que imponen elevadas exigencias a las escaleras por formar parte fundamental de los recorridos de evacuación de los usuarios en caso de incendio. Su enorme complejidad y el hecho de que son exigencias que se refieren a cuestiones dimensionales, lleva a que no se traten en este texto. Sí se considerarán más adelante algunos aspectos relacionados con los materiales.



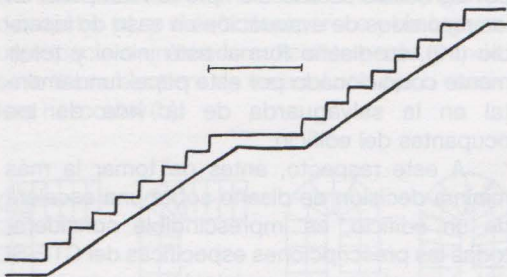
En estas líneas nos centraremos en las cuestiones fundamentales derivadas de una comodidad segura. Las especificaciones concretas del CTE-SU se indican con un (SU).

### Recorrido general

La pendiente general de la escalera está condicionada por la comodidad del usuario al recorrerla y es consecuencia del tamaño de los escalones; éstos han de responder a unas reglas que se exponen líneas adelante.

El tramo que puede ser considerado como escalera mínima es el de 3 peldaños (SU). Es conveniente, por ejemplo en un pasillo largo, evitar cualquier desnivel inferior a 3 peldaños, porque habitualmente pasa inadvertido. En caso de pocos peldaños, deben iluminarse y revestirse de manera que queden bien contrastados con el resto de pavimento.

Los tramos deben dividirse por medio de un descansillo si tienen más de 16 o 18 peldaños [máximo 3,20 m; 2,50 para uso sanitario; 2,10 para escuelas infantiles (SU)]. Los descansillos en los que no cambia la dirección de la escalera se denominan descansillos rectos; si la escalera forma un ángulo de 90 grados tendremos un descansillo en cuarto de vuelta. Cuando la escalera está formada por dos tramos de ida y vuelta, el descansillo será de media vuelta.



El descansillo recto debe tener la suficiente extensión para que la persona no se vea obligada a alterar su paso normal.  $L = N \cdot 64 + a$ , siendo "a" la huella del escalón.

En el dimensionado general de la escalera, especialmente su anchura, debe tenerse en cuenta siempre que ha de permitir el paso de un mueble, de un ataúd o, peor todavía, el de

una camilla que no puede ponerse vertical, si es que no se ha previsto otro sistema de acceso o evacuación [ancho mínimo uso sanitario 1,4 m; docente y pública concurrencia, 1,2 m; otros, 1 m; uso restringido, 0,8 m (SU)]. Ver también apartado 4 de la Sección SI 3 del CTE-SI].

### Forma de los escalones

La proporción entre la huella y la contrahuella deberá cumplir la siguiente regla: dos veces la contrahuella más una vez la huella ha de sumar 64 o 63 cm, como máximo 65 y como mínimo 62. El CTE-SU acepta hasta un máximo de 70 y un mínimo de 54.

Según esto y la comodidad en función del uso, las medidas de los escalones generalmente son:

- escaleras de salas de reuniones, teatros, escuelas o edificios públicos: contrahuellas entre 16 y 17 cm; huellas entre 32 y 30 cm;
- escaleras principales de casas de vivienda: contrahuellas entre 17 y 18 cm; huellas entre 30 y 28 cm;
- escaleras de servicio: contrahuellas hasta 20 cm; huellas hasta 24 cm;
- escaleras a sótanos y desvanes: contrahuellas hasta 22 cm; huellas hasta 20 cm.

El CTE-SU, para uso general, indica un mínimo de 28 cm para la huella; para la contrahuella un mínimo de 13 cm y un máximo de 18,5 cm; en escuelas, ha de ser 17 cm; si el uso es restringido, la huella puede bajar a 22 cm y la contrahuella puede llegar a 20 cm.

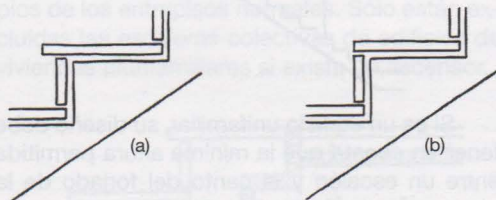
Por muy obvio que parezca, no sobra recordar (la SU se ve obligada a decirlo) que en una misma escalera recta todos los escalones han de ser iguales. En los tramos curvos, la huella cambia pero la contrahuella ha de ser siempre igual.

Es siempre más difícil bajar una escalera que subirla; con huellas de más de 32 cm es fácil tropezar con el tacón en el borde del escalón anterior al bajar; en las de menos de 25 cm ya no puede apoyarse todo el pie.

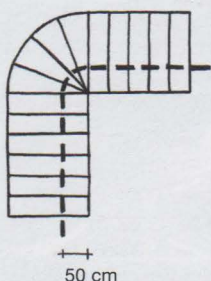
Con tal de agrandar la superficie o la longitud de la huella y evitar dar con la punta del pie en la contrahuella en las subidas, se acostumbra, y es casi necesario, hacer sobresalir la huella o entrar la contrahuella (a).



No obstante, en los tramos de escalera que constituyan un recorrido de evacuación de incendio ascendente, es decir, de un sótano a la planta baja, la SU obliga a una tabica maciza y prohíbe el vuelo de la huella (b).



Si la escalera tiene algún tramo curvo, la clave reside en la línea de huella. Se entiende por línea de huella la que sigue una persona al ascender o descender por una escalera, y se considera paralela al pasamano o a la zanca de la escalera y situada a 50 cm de distancia. En ella se deben cumplir las condiciones de los peldaños expuestas anteriormente. El SU añade algunas condiciones más.



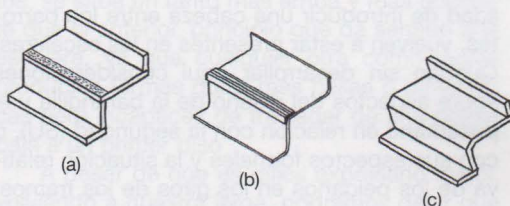
### Material de los escalones

Determinada la forma por todos los parámetros anteriores, el material utilizado como acabado de los escalones ha de estar en relación con el resto de los pavimentos con los que está en contacto.

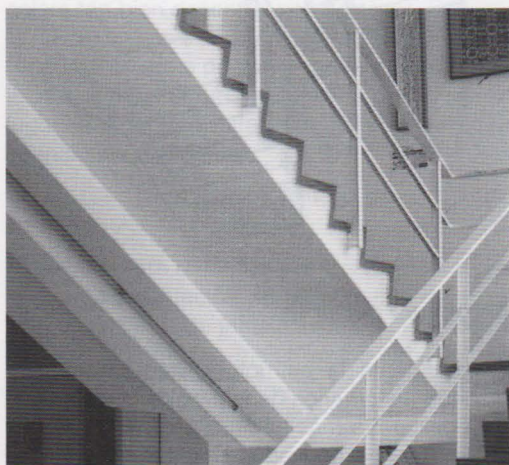
La condición previa imprescindible es que el peldaño ha de ser seguro para el usuario y la solución adoptada ha de impedir con seguridad absoluta el resbalón sobre ellos. Si existe posibilidad ocasional de agua esa precaución ha de ser más extrema. Tal como ya se ha indicado en II-9.2, el CTE-SU obliga a una presta-

ción contra el resbalamiento de 3. Como ocurre con todo lo evidente, esa regla también es fácil de olvidar. Son notorios los casos en que, poco después de la puesta en servicio de un edificio público, por ejemplo, un aeropuerto, un usuario se rompe la pierna al resbalar por una escalera con escalones no protegidos, y ha de ser reconstruida para subsanar su carencia.

Por otro lado, se ha de tener en cuenta el sistema estructural de la escalera. En el caso más corriente, losa de hormigón inclinada, la forma de los peldaños puede venir dada o bien por el propio hormigón de la losa, cuyo encofrado ya recoge la forma de los peldaños o una vez realizada la losa inclinada se realizan con obra de fábrica. Tanto en un caso como en otro se han de revestir.



Para los suelos pétreos y de cerámica, la solución más habitual es revestir mediante las baldosas del mismo material la huella y la contrahuella. En los dos casos es importante disponer de un dispositivo de borde que impida el resbalón (a).



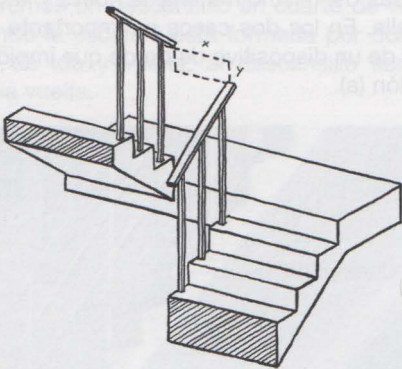
Peldaño prefabricado de terrazo con el borde acabado para quedar visto.



Si el pavimento es terrazo, la solución pasa por las piezas que subministra habitualmente el fabricante con forma ya de peldaño, que puede ser recto o con la contrahuella inclinada (c). Las soluciones para pavimentos delgados siempre pasan por revestir la huella y la contrahuella del mismo material, pero protegiendo el canto con un material más resistente y que evite el resbalón (b).

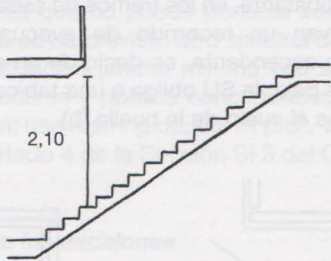
**Barandillas**

Sobre las barandillas, el CTE-SU exige el mismo tipo de prestaciones que a los parapetos de balcones, tal como se indica en III-7.1.3. Las exigencias de seguridad frente a los empujes horizontales, a su escalabilidad o a la imposibilidad de introducir una cabeza entre los barrotes, vuelven a estar presentes en las escaleras. Quedan sin desarrollar aquí consideraciones sobre aspectos del diseño de la barandilla y el pasamano en relación con la seguridad (SU), o con sus aspectos formales y la situación relativa de los peldaños en los giros de los tramos. Son muchas las cuestiones que hay que completar en libros más especializados.

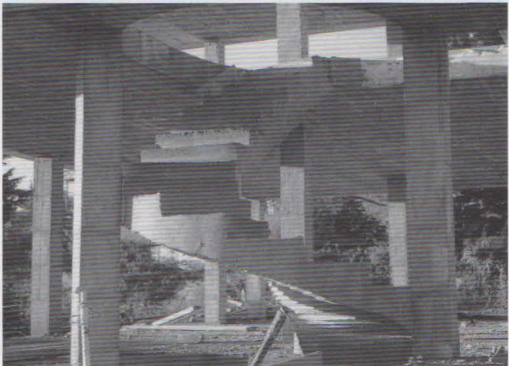


**Estructura portante**

Generalmente la estructura está resuelta siguiendo los criterios generales de la estructura del edificio. Lo más habitual son losas de hormigón armado apoyadas en los sucesivos forjados. La solución final es, lógicamente, consecuencia de la forma en planta de la escalera.



Si es un edificio unifamiliar, su diseño debe tener en cuenta que la mínima altura permitida entre un escalón y el canto del forjado de la planta superior es 2,10 m. El hueco de la escalera que se abre sobre el forjado comporta diversas soluciones tipo embrochalamiento, que habrá que considerar en cada caso. No obstante, si se aplica, por norma o por decisión del promotor, una exigencia acústica alta, la estructura se debe organizar de manera algo diferente, tal como se ve en el apartado siguiente.



Escalera mixta con losa y peldaño de hormigón armado.

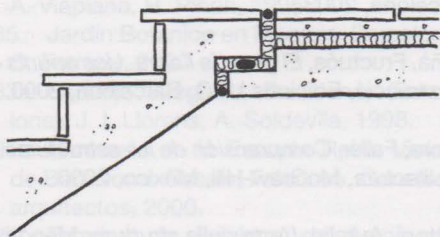
**Adecuación del ambiente**

**Aislamiento del ruido de impacto**

El ruido producido por las pisadas de los usuarios sobre los escalones de una escalera, dada la mayor energía del impacto, puede ser más molesto que el de las pisadas sobre pavimento plano, tanto para los vecinos como en el interior del mismo espacio. El CTE-HR especifica claramente que esta exigencia, aplicable a los entrepisos, incluso de los rellanos de las esca-



leras de vecinos, no es de aplicación a los tramos de las escaleras. Pero, si se construye en Francia, la norma indica que, colocada la máquina de martillos sobre una escalera, el ruido de impacto producido en los locales vecinos tampoco ha de ser superior a los 61 dBA propios de los entresijos normales. Sólo están excluidas las escaleras colectivas de edificios de viviendas plurifamiliares si existe un ascensor.



En cualquier otro caso, es preciso evitar la producción de ruido mediante pavimentos blandos, poco adaptables a los escalones, o evitar su transmisión. La solución más sencilla, como siempre, es alejar la escalera de los locales que han de ser silenciosos.

Si no es posible, cabe una solución efectiva pero algo compleja: que la estructura de la escalera no sea solidaria con el resto de la estructura o la de los escalones de la estructura.

### Conveniencia estética

Tal como se expone en III-5.3, en la arquitectura clásica la forma y posición de las escaleras constituían ejercicios de composición espacial y un aspecto clave en la organización del proyecto arquitectónico. En la actualidad, al quedar las escaleras fijas relegadas por la seguridad contra incendios, todos los artefactos mecánicos de transporte de los usuarios pueden adquirir un papel semejante. Sin embargo, si se sabe interpretar esas limitaciones, la escalera puede seguir siendo uno de los pocos elementos del edificio con cierta autonomía como objeto singular con un claro potencial en valores simbólicos.

Claro que, a pesar de todo, su mayor limitación viene de su función utilitaria básica. Y nada mejor que volver a Cortázar para enun-



Escalera que expresa la voluntad de innovación tecnológica del edificio.

ciarlo; a continuación de la frase citada en el inicio del tema, añade: “cada uno de estos peldaños formados, como se ve por dos elementos, se sitúa un tanto más arriba y más adelante que el anterior, principio que da sentido a la escalera, ya que cualquier otra combinación produciría formas quizá más bellas o pintorescas pero incapaces de trasladar de una planta baja a un primer piso”.

A pesar de que es difícil expresarlo mejor, volviendo a nuestra jerga, podremos decir que la escalera seguirá siendo el elemento arquitectónico en el que con mayor intensidad se plantea la dialéctica entre la conveniencia estética y unas razones prácticas implacables. De momento, nadie, ni el más atrevido de los arquitectos transgresores de la convención, ha podido obviar los principios básicos de la escalera tan bien descritos por Cortázar.

Pero, como siempre, si se acepta el carácter de pacto entre posibles opuestos que ha de asumir la arquitectura, la escalera puede ser un lugar donde depositar las más depuradas intenciones expresivas.

...

Finalizado este recorrido por los elementos de la compartimentación, es el momento de estudiar el conjunto de instalaciones que permiten que vivamos mucho mejor en los espacios en los que la compartimentación ha subdividido el espacio que ha creado la envolvente.



## Bibliografía

Esta bibliografía no tiene intención de ser exhaustiva, sino que sólo pretende dar una cierta orientación al lector que desee ampliar los conocimientos que haya podido adquirir en este tomo II. Los textos de carácter general se citan en el tomo I.

### Espacio exterior

Gabancho, Patrícia, *Arbres de Barcelona*, Institut Municipal de Parcs i Jardins, Barcelona, 1999.

Karsenty, Gérard, *La fabrication du bâtiment. Le gros œuvre*, Eyrolles, París, 1997.

López Candeira, José Antonio, *Tratamiento del espacio exterior*, Munilla-Lería, Madrid, 2002.

### Estructuras

Alonso, Adolfo, *Introducción a las estructuras de edificación*, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, 2005.

García, David, et. al., *La estructura y el proyecto*, Col·legi d'Arquitectes de Catalunya/Demarcació de Barcelona, Barcelona, 2005.

Lavado, José, *Aplicación práctica de los conceptos estructurales en edificación*, Grupo Editorial Universitario, Granada, 2005.

Lozano, Gerónimo; Lozano, Alfonso, *Curso diseño, construcción y patología de cimentaciones y recalces*, Consultores Técnicos de Construcción, Gijón, 1998.

Lozano, Gerónimo; Lozano, Alfonso, *Curso diseño, construcción y patología de los forjados*, Consultores Técnicos de Construcción, Gijón, 1999.

Llorens, Josep Ignasi; Soldevila, Alfons, *Construcció amb bloc de formigó*, Edicions UPC, Barcelona, 2003.

Mañà, Fructuós, *El gros de l'obra. Uns apunts de construcció*, Edicions UPC, Barcelona, 2000.

Moore, Fuller, *Comprensión de las estructuras en arquitectura*, McGraw-Hill, México, 2000.

Muttoni, Aurelio, *L'arte delle strutture*, Mendrisio Academy Press, Mendrisio, 2006.

Sastre, Ramón, *Propietats dels materials i elements de construcció*, Edicions UPC, Barcelona, 2000.

Por su buen nivel conceptual y amplia conexión con la realidad reciente, recomendamos los siguientes números de la revista *Tectónica*: 3 (*Hormigón in situ*), 5 (*Hormigón prefabricado*), 9 (*Acero*) y 23 (*Encuentros con el terreno*).

### Compartimentación

Bedotti, Giancarlo, *Le partizioni interne*, BE-MA Editrice, Milán, 1988.

Blanc, Alan, *Internal Components*, Longman, Londres, 1994.

Espuga, Jaume, *Arrebossats i estucats. Teoria i pràctica*, Edicions UPC, Barcelona, 1997.

Pellicer, Domingo, *Pavimentos*, CIE-Dossat, Madrid, 2000.

Pellicer, Domingo, *Revestimientos y pinturas*, CIE-Dossat, Madrid, 2003.

Pizzi, Emilio, *Le pavimentazioni*, BE-MA Editrice, Milán, 1987.



# Identificación fotográfica

## De las obras fotografiadas

- p. 24. Explanada del Port Vell, Barcelona.  
A. Viaplana, H. Piñon, 1995.
- p. 35. Jardín Botánico en Monjuic, Barcelona.  
C. Ferrater, 2000.
- p. 83a. Escuela Jungfrau, Badalona, (Barcelona). J. I. Llorens, A. Soldevila, 1998.
- p. 91a. Gimnasio de la Escuela Reina Violant de Barcelona. Casals, Falcones, González, arquitectos, 2000.
- p. 91b. Terminal de pasajeros del Aeropuerto de Helsinki (Finlandia).
- p. 101. Iglesia de San Juan de Ávila en Alcalá de Henares (Madrid), Eladio Dieste, C. Clemente, J. de la Hoz, 1998.
- p. 102. Edificio de viviendas en Helsinki (Finlandia).
- p. 106. Facultad de Económicas de la Universitat Rovira i Virgili, Tarragona, P. Pérez, A. M. Pamies, A. Banús, 1999.
- p. 107. Edificio de viviendas en Sant Pol de Mar (Barcelona). Casals, Falcones, González, arquitectos, 1996.
- p. 154. Casal d'avis en La Maurina, Terrassa (Barcelona). Casals, Falcones, González, arquitectos, 1999.
- p. 166. Escuela de Arquitectura del Vallés (Barcelona). Lluís Nadal, 1985.
- p. 167. Ampliación de la Escuela de Arquitectura de Barcelona. J. A. Coderch 1980.
- p. 173. Escuela de Arquitectura de Barcelona. J. Segarra, 1962.
- p. 175. Terminal de pasajeros del Aeropuerto de Helsinki (Finlandia).

## De los autores de las fotografías

A. Casals, 48a, 49, 53a, 54; DCAI, 62, 67, 70, 78, 82, 83a, 88, 99, 103b, 105, 131b, 155; A. Falcones, 107, 119; J. Hernanz, 21, 64, 68, 87, 141, 144, 153, 162; J. L. González, todas las demás.

## Dibujos

Francesc Miguel Lacasa, arquitecto.



## Agradecimientos

Un libro como éste, que abarca tantos campos y extracta lo esencial de cada uno de ellos, requiere el concurso directo o indirecto de muchas personas. Los autores están en deuda con todas ellas, especialmente con las que a continuación se citan. En primer lugar, todos los profesores de los dos departamentos de Construcción Arquitectónica, I y II, de la Universitat Politècnica de Catalunya, que de diferentes maneras han influido o influyen, después de muchos años de trato, en nuestros conocimientos y mentalidades. Queremos citar personalmente, por su colaboración directa como profesores de Construcción I, a Antoni Carrió, Santiago Fuentes, Ignasi Sanfeliu y Javier Sanz, quien además ha realizado los nuevos dibujos de esta edición; por su predisposición al diálogo y debate productivo a Josep Ignasi Llorens, Jaume Avellaneda, Joan Lluís Fumadó, Francesc Daumal, Félix Pardo, Justo Hernanz, César Díaz y Josep M<sup>a</sup> González Barroso, especialmente a los dos últimos por su directa colaboración en diversos momentos de la elaboración del trabajo. Una especial mención se debe hacer de Francesc Miguel Lacasa, arquitecto, que ha realizado los dibujos de los tomos II y III durante sus últimos años de estudiante. Su colaboración ha ido más allá de la gráfica gracias a que su certera opinión ha servido extraordinariamente para adecuar los contenidos a lo que realmente necesita un lector novel. Por último, un especial recuerdo se debe hacer de Francesc Bassó, arquitecto, que fue el primer profesor de la asignatura *Introducción a la Construcción* en la ETSAB cuyos programas y apuntes, con su voluntad de exhaustividad, han servido de guía en muchas ocasiones.

## Notas biográficas

**José Luis González Moreno-Navarro** (1945), es doctor arquitecto y catedrático de Universidad. Es profesor de Construcción en diversas asignaturas de la Escuela de Arquitectura de Barcelona, desde las de introducción básica a las de Proyecto Final de Carrera y Doctorado, pasando por la colaboración con Talleres de Proyectos. En la actualidad es responsable de Construcción I. Ha desarrollado para la presente edición todos los cambios derivados de la aplicación del CTE. En el ámbito profesional ha colaborado con diversos arquitectos en trabajos que han merecido premios como el FAD, entre otros. En equipo con Albert Casals, realiza proyectos de nueva planta, además de obras y estudios para la restauración de edificios históricos.

**Albert Casals Balagué** (1941) es doctor arquitecto, aparejador y Profesor Titular de Universidad. Imparte clases de construcción en asignaturas obligatorias y optativas de 1<sup>er</sup> y 2<sup>o</sup> ciclo en la Escuela de Arquitectura de Barcelona. Su experiencia profesional abarca el proyecto y construcción de los tipos de edificios habituales, obras de urbanización, el planeamiento urbanístico y la restauración de edificios históricos.

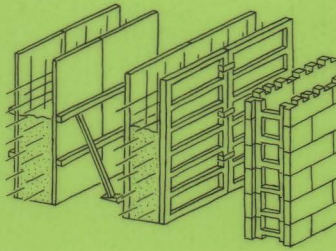
**Alejandro Falcones de Sierra** (1955) es arquitecto, aparejador y profesor titular de Escuela Universitaria. Imparte clases de Instalaciones en la Escuela Universitaria Politécnica de Barcelona y también de tutoría en Trabajos Final de Carrera. Su trayectoria profesional comprende la especialidad de instalaciones, que ha dado lugar a diversas publicaciones, y el proyecto y construcción de edificios usuales y la restauración de edificios históricos.



Biblioteca Pública de Valladolid



73649814 72 GON cla (V.2)



Los tres tomos de este libro (I. Principios y II y III. Elementos) estudian los aspectos esenciales del saber constructivo necesario para participar profesionalmente en el mundo de la arquitectura. Su objetivo principal es aportar un método que permita organizar y exponer ese saber que compense la actual tendencia hacia la fragmentación del conocimiento que, si bien es útil en muchos campos de la ciencia y la técnica, es especialmente nociva en una actividad de síntesis como la arquitectura. La superación de la división estanca entre lo "artístico" y lo "técnico" y, dentro de este último, entre los conocimientos de construcción, estructuras, acondicionamiento e instalaciones es uno de los objetivos prioritarios que debe asumir la enseñanza actual de la Arquitectura en todos sus niveles y orientaciones. Los autores desean que este libro sea una aportación en ese sentido y en el nivel básico de esos conocimientos, donde, obviamente, es más necesaria su integración.

Editorial Gustavo Gili, SL  
Rosselló 87-89. 08029 Barcelona  
Tel. 93 322 81 61 - Fax 93 322 92 05  
info@ggili.com - www.ggili.com

ISBN 978-84-252-1865-1



9 788425 218651