



PRINCIPIOS DE LA CONSTRUCCIÓN ARQUITECTÓNICA

Construcción arquitectónica I

Autora:

Mercedes Galiana Agulló

Colaboradores:

Ana Isabel Domenech García

Nuria Rosa Roca

Carlos González Sánchez

Grado en Fundamentos de la Arquitectura

Edita: SERVICIO DE PUBLICACIONES
UCAM UNIVERSIDAD CATÓLICA DE MURCIA
Campus de los Jerónimos, 135
30107 Guadalupe (Murcia)
Tlf: (+34) 968 27 88 11
Año: 2018
ISBN: 978-84-16045-36-5
D.L.: MU 795-2018

Mercedes Galiana Agulló
mgaliana@ucam.edu

Índice

Tema 1 - Conceptos generales. El terreno portante. Movimiento de tierras. Elementos de contención	9
1. Conceptos generales	9
2. El terreno portante. Estudio geotécnico	11
3. Acondicionamiento del terreno	15
3.1. Talud	15
3.2. Excavaciones o desmontes	16
3.3. Gestión del agua	21
3.4. Rellenos o terraplenes	23
4. Elementos de contención	25
4.1. Pantallas	25
4.2. Muros	36
4.2.1. Juntas	47
4.2.2. Impermeabilización	49
4.2.2.1. Láminas impermeabilizantes	49
4.2.2.2. Productos líquidos aplicados in situ	50
4.2.2.3. Revestimiento de mortero hidrófugo	51
4.2.2. Drenaje	51
4.2.3.1. Drenaje de gravas	51
4.2.3.2. Lámina drenante	52
4.2.3.3. Fábrica de bloques	53
4.2.3.4. Pozos drenantes	53
Tema 2 - Cimentaciones	55
1. Conceptos generales	55
2. Tipologías	57
2.1. Cimentaciones directas	57
2.1.1. Zapata Aislada	57
2.1.2. Zapata combinada	60
2.1.3. Zapata corrida	60

2.1.4. Pozo de cimentación	61
2.1.5. Emparrillados	61
2.1.6. Losas	62
2.2. Cimentaciones profundas	62
2.2.1. Por la forma de trabajo	64
2.2.2. Por el procedimiento constructivo	65
2.2.2.1. Pilotes prefabricados hincados	65
2.2.2.2. Pilotes hormigonados "in situ"	66
3. Criterios de diseño	75
4. Características constructivas	77
4.1. Cimentaciones directas	77
4.2. Cimentaciones profundas	80
<i>Tema 3 - Estructura porticada</i>	83
1. Introducción	83
2. Elementos constituyentes	85
3. Pórticos	87
3.1. Pilares	87
3.1.1. Pilares metálicos	87
3.1.2. Pilares de hormigón armado	91
3.2. Vigas	98
3.2.1. Vigas metálicas	99
3.2.2. Vigas de hormigón armado	101
4. Forjados	107
4.1. Funciones	107
4.2. Tipologías	108
4.2.1. Forjados unidireccionales	108
4.2.2. Forjados bidireccionales	116
5. Forjados unidireccionales con nervios y piezas de entrevigado	121
5.1. Elementos constituyentes	121
5.1.1. Nervios	121
5.1.2. Piezas de entrevigado	125

5.1.3. Capa de compresión	127
5.1.4. Armadura mínima longitudinal	127
5.2. Elementos singulares de un forjado	130
5.2.1. Zunchos de borde	130
5.2.2. Voladizos	131
5.2.3. Aberturas en el forjado	134
5.3. Proceso constructivo	135

Tema 4 - Escaleras _____ **143**

1. Introducción	143
2. Funciones	147
3. Partes de una escalera	149
4. Características técnicas y constructivas	153
4.1. Peldaños	153
4.2. Tramos	154
4.3. Mesetas	155
4.4. Barreras de protección	156
4.5. Pasamanos	156
5. Tipologías	157
5.1. Según la forma de su trazado	157
5.2. Según el material	158
5.2.1. Escaleras tabicadas o a la catalana	159
5.2.2. Escaleras de hormigón armado	163

Tema 5 - Muros de fábrica _____ **179**

1. Introducción	179
2. Fábricas de ladrillo cerámico	181
2.1. Ladrillos cerámicos	181
2.2. Disposiciones de los ladrillos	185
2.3. Formas de colocación	191
2.4. Aparejos	192
2.5. Tipos de muros de fábrica	197

2.6. Encuentros entre muros de fábrica	200
2.7. Fábrica armada	202
2.8. Fábrica confinada	202
2.9. Apoyo de forjados en muros de fábrica	203
2.10. Abertura de huecos	204
2.11. Recomendaciones constructivas	208
3. Fábricas de bloque de hormigón vibrado	211
3.1. Tipos de bloques	211
3.2. Formas de colocación	215
3.3. Encuentros entre muros	216
3.4. Fábrica armada	217
3.5. Abertura de huecos	220

Tema 6 - La envolvente del edificio I. Suelos en contacto con el terreno y cerramientos de fachada **221**

1. Introducción	221
2. Suelos e contacto con el terreno o espacios no habitables	223
2.1. Suelos en contacto con el terreno	223
2.2. Cámaras sanitarias	230
3. Fachadas	237
3.1. Tipos de muros de fachada	237
3.2. Requerimientos	237
3.3. Evolución del cerramiento vertical	238

Tema 7- La envolvente del edificio II. Cubiertas **263**

1. Introducción	263
2. Cubiertas planas	265
2.1. Aproximación histórica	265
2.2. Definición	266
2.3. Tipos de cubiertas planas	277
2.3.1. Cubiertas transitables	279

2.3.1.1. Cubiertas transitables calientes	279
2.3.1.2. Cubiertas transitables frías o ventiladas	284
2.3.2. Cubiertas no transitables	288
2.3.2.1. Cubiertas no transitables calientes	288
2.3.2.2. Cubiertas no transitables frías	295
3. Cubiertas inclinadas	297
3.1. Definición	297
3.2. Tipos de cubiertas inclinadas	324
3.2.1. Cubiertas calientes	325
3.2.1.1. Cubiertas calientes convencionales	325
3.2.1.2. Cubiertas calientes invertidas	326
3.2.2. Cubiertas frías	327
<i>Tema 8- Mampostería, sillería y arcos</i>	331
1. Fábricas de mampostería	331
1.1. Mampostería en seco	332
1.2. Mampostería a hueso	333
1.3. Mampostería enripiada	333
1.4. Paredes de cal y canto	335
1.5. Mampostería ordinaria	336
1.6. Mampostería verdugada	337
1.7. Mampostería historiada	337
1.8. Mampostería concertada	338
1.9. Mampostería careada y frenteadas	339
1.10. Mampostería por hiladas	339
1.10.1. Mampostería por hiladas irregulares (sillarejo irregular)	339
1.10.2. Mampostería por hiladas regulares (sillarejo regular)	340
1.11. Mampostería de rajuela	341
1.12. Mampostería mixta	342
1.13. Huecos en fábricas de mampostería. Formación de dinteles y arcos	343
2. Fábricas de sillería	345
3. Tipos de muros de piedra	348

4. Arcos	349
4.1. Despiece del arco de medio punto en un muro recto	351
4.2. Despiece del arco rebajado en un muro recto	352
4.3. Despiece del arco apuntado en un muro recto	353

TEMA 1 - CONCEPTOS GENERALES. EL TERRENO PORTANTE. MOVIMIENTO DE TIERRAS. ELEMENTOS DE CONTENCIÓN

1. CONCEPTOS GENERALES

Según la RAE, el término **construcción** hace referencia al arte de construir, de edificar una obra de arquitectura o ingeniería, un monumento o en general cualquier obra pública. La parte de la misma que se ocupa del estudio, desarrollo y dirección de las obras de arquitectura recibe el nombre de **Construcción Arquitectónica**. Se trata por tanto de un arte y una técnica, puesto que requiere del conocimiento de los materiales que se utilizarán en la realización de los trabajos constructivos, conocidos como materiales de construcción, así como de las técnicas de disposición de los elementos que integran el conjunto arquitectónico y de la tecnología aplicable a los mismos.

Se entiende por **edificación** aquella construcción de carácter permanente, ya terminada o en proceso de ejecución, tanto de nueva planta como resultado de la reparación, restauración, rehabilitación o demolición de otra ya existente, que **cubre necesidades humanas** de cualquier índole. La **edificación arquitectónica** engloba aquellos edificios destinados a uso residencial, comercial, administrativo, religioso, sanitario, social, cultural, docente y monumental.

Los distintos **elementos que integran una edificación** pueden diferenciarse, según su función, en dos grupos perfectamente diferenciados:

- Elementos estructurales: constituidos por los elementos resistentes que absorben y soportan las cargas del edificio, transmitiéndolas al terreno portante, entre los que se encuentran:

- Cimentaciones.
- Elementos verticales de sustentación: pilares y muros.
- Elementos horizontales de sustentación: vigas y forjados.
- Escaleras.
- Cubiertas.

- Elementos complementarios: que proporcionan los requisitos de habitabilidad, comodidad, funcionalidad y confort, entre los que se encuentran:

- Cerramientos de fachada.
- Tabiques de compartimentación interior.
- Carpinterías.
- Instalaciones: suministro de agua, saneamiento, suministro eléctrico, gas, telecomunicaciones, ascensores, bombas, etc.

2. EL TERRENO PORTANTE. ESTUDIO GEOTÉCNICO

El **estudio geotécnico** es el compendio de la información relativa a las características del terreno, que es necesario recabar en relación al tipo de edificación que vayamos a construir y el entorno en que se ubica, tanto para poder proceder a la elección del tipo más adecuado de cimentación, como para determinar los medios necesarios para realizar los movimientos de tierras necesarios al inicio de la construcción.

El conjunto de actuaciones que engloba son conocidas como **reconocimiento del terreno**, cuya intensidad y alcance se establece en la actual normativa, el **Código Técnico de la Edificación, Libro 3, Documento Básico SE-C, Seguridad Estructural: Cimientos**. Depende de la información previa existente, de la extensión del área a reconocer, de la complejidad del terreno y de la importancia de la edificación. Se determinan las peculiaridades del emplazamiento, la existencia previa de huertos, vertederos, hornos, etc., que puedan determinar ciertas incompatibilidades, la presencia de obstáculos enterrados (túneles, canalizaciones, etc.) las características constructivas de las edificaciones limítrofes, información sobre el agua freática y la pluviometría, así como la sismicidad del municipio, si procede según la Norma de Construcción Sismorresistente (NCSE).

El estudio geotécnico debe acometerse en la fase inicial de proyecto, **proporcionando** al proyectista algunos de los datos de mayor relevancia para el proyecto, destacando entre otros:

- la **profundidad de la capa freática**.
- la **agresividad del terreno y de las aguas** que contenga.
- la **estratigrafía del terreno**, ángulo de buzamiento (inclinación) y potencia o espesor de cada estrato, determinadas mediante la realización de sondeos mecánicos.
- su **capacidad portante**, a partir del análisis de muestras de suelo obtenidas mediante pruebas continuas de penetración y sondeos mecánicos.
- y la **cota de cimentación**.

El conjunto de esta información permite definir al proyectista la **cota del firme**, plano horizontal capaz de soportar las tensiones transmitidas por la cimentación, sobre el cual apoyaremos la misma, y el **tipo de cimiento** a utilizar, así como las **operaciones necesarias para acondicionar el terreno**, alcanzando la cota deseada.

La intensidad de los reconocimientos depende del **tipo de edificio** (Tabla 3.1 del CTE DB SE-C) y del **tipo de terreno** (Tabla 3.2 del CTE DB SE-C).

TIPO	DESCRIPCIÓN
C - 0	Construcciones de menos de 4 plantas y superficie construida inferior a 300 m ²
C - 1	Otras construcciones de menos de 4 plantas
C - 2	Construcciones entre 4 y 10 plantas
C - 3	Construcciones entre 11 y 20 plantas
C - 4	Conjuntos monumentales o singulares, o de más de 20 plantas

Clasificación de los tipos de construcción para establecer el grado de intensidad del estudio geotécnico a realizar. Basada en la Tabla 3.1 del CTE DB SE-C, Seguridad Estructural, Cimientos, pág. SE-C-11.

GRUPO	DESCRIPCIÓN
T - 0	Terrenos favorables: aquellos con poca variabilidad, y en los que la práctica habitual en la zona es de cimentación mediante elementos aislados.
T - 2	Terrenos intermedios: los que presentan variabilidad, o que en la zona no siempre se recurre a la misma solución de cimentación, o en los que se puede suponer que tienen rellenos antrópicos de cierta relevancia, aunque probablemente no superen los 3 m.
T - 3	Terrenos desfavorables: los que no pueden clasificarse en ninguno de los tipos anteriores. De forma especial se consideran en este grupo los siguientes terrenos: a) Suelos expansivos. b) Suelos colapsables. c) Suelos blandos o sueltos. d) Terrenos kársticos en yesos o calizas. e) Terrenos variables en cuanto a composición y estado. f) Rellenos antrópicos con espesores superiores a 3 m. g) Terrenos en zonas susceptibles de sufrir deslizamientos. h) Rocas volcánicas en coladas delgadas o con cavidades. i) Terrenos con desnivel superior a 15°. j) Suelos residuales. k) Terrenos de marismas.

Clasificación de los grupos de terrenos para establecer el grado de intensidad del estudio geotécnico a realizar. Basada en la Tabla 3.2 del CTE DB SE-C, Seguridad Estructural, Cimientos, pág. SE-C-11.

El **número mínimo de sondeos** a realizar es **igual a 3**, estableciéndose la **distancia entre los mismos y las profundidades** a alcanzar en función del tipo de construcción y del tipo de terreno (Tabla 3.3 del CTE DB SE-C).

TIPO DE CONSTRUCCIÓN	GRUPO DE TERRENO			
	T1 d _{máx} (m) P(m)		T2 d _{máx} (m) P(m)	
C - 0, C - 1	35	6	30	18
C - 2	30	12	25	25
C - 3	25	14	20	30
C - 4	20	16	17	35

Distancias máximas entre puntos de reconocimiento y profundidades orientativas a alcanzar en los mismos. Basada en la Tabla 3.3 del CTE DB SE-C, Seguridad Estructural, Cimientos, pág. SE-C-12.

Si las distancias superan las dimensiones reales del solar, se reducirán para poder realizar el número mínimo de sondeos establecido. Así mismo, si la superficie supera los 10.000 m², se podrá reducir al 50% el número de sondeos especificado en las tablas. En el caso de terrenos Tipo 3 o cuando el resultado del reconocimiento se considere insuficiente, se intercalarán puntos intermedios en las zonas más problemáticas.

La **prospección del terreno** se podrá llevar a cabo mediante las siguientes **técnicas**:

- **Calicatas**: se trata de excavaciones en forma de pozos, zanjas, rozas, etc., que permiten la observación directa del terreno, la toma de muestra y la realización de ensayos in situ. Son adecuadas en terrenos consistentes, excavables con pala manual

o mecánica en ausencia del nivel freático, cuando la profundidad de reconocimiento no supera los 4 m. Permite realizar ensayos como el penetrómetro de bolsillo, obteniendo datos orientativos sobre el comportamiento del terreno, pero no permite determinar valores cuantitativos de la resistencia del terreno.



Penetrómetro de bolsillo. Fuente: <www.pinzuar.com> [Consulta: 3 de febrero de 2012].
Calicata y medición de resistencia del terreno con penetrómetro. Fuente: <conceptosdemineria.blogspot> [Consulta: 3 de febrero de 2012].



- **Sondeos mecánicos:** son perforaciones de diámetro y profundidad variable que permiten reconocer la naturaleza del terreno y la existencia y localización de sus diferentes estratos. Permiten alcanzar gran profundidad, trabajar bajo el nivel freático y atravesar capas de gran consistencia, como las rocosas. Se pueden realizar **sondeos de rotación**, adecuado en terrenos rocosos o con masas cementadas de gran dureza, **sondeos por percusión**, especialmente indicados en suelos granulares gruesos, y **sondeos con barrena helicoidal hueca o maciza**, para terrenos blandos y cohesivos.



Ejecución de sondeos mecánicos con barrena helicoidal. Fuente: <www.sondgea.com> y <www.cpgeologics.com> [Consulta: 3 de febrero de 2012].

- **Pruebas continuas de penetración:** se trata de pruebas que proporcionan una medida, continua o discontinua, de la resistencia y deformabilidad del terreno en profundidad. Existen **penetrómetros estáticos**, adecuados para terrenos limosos o arcillosos y arenas finas sin gravas, y **penetrómetros dinámicos**, más adecuados en arenas y limos de consistencia media, así como en arenas y arcillas muy compactas o gravas.

Prueba de penetración continua. Fuente: <www.myv-sg.com> [Consulta: 3 de febrero de 2012].



- Métodos geofísicos: tales como la sísmica de refracción, resistividad eléctrica, Georadar, magnetometría, etc., aplicables a grandes superficies, con el objetivo de obtener información complementaria que ayude a distribuir los puntos de reconocimiento y la profundidad a alcanzar.

El **número mínimo de sondeos mecánicos** a realizar y el porcentaje de los mismos a sustituir por pruebas continuas de penetración, cuando el número de sondeos a realizar excede este número, se determinan según la tabla 3.4 del CTE DB SE-C.

TIPO DE CONSTRUCCIÓN	Número mínimo		% de sustitución	
	T - 1	T - 2	T - 1	T - 2
C - 0	-	1	-	66
C - 1	1	2	70	50
C - 2	2	3	70	50
C - 3	3	3	50	40
C - 4	3	3	40	30

Número mínimo de sondeos mecánicos y porcentaje de sustitución por pruebas continuas de penetración. Basada en la Tabla 3.4 del CTE DB SE-C, Seguridad Estructural, Cimientos, pág. SE-C-13.

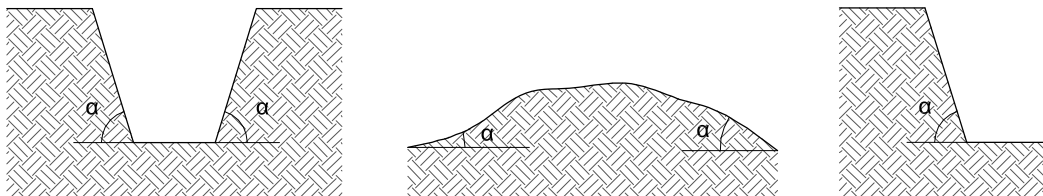
3. ACONDICIONAMIENTO DEL TERRENO

Por **acondicionamiento del terreno** entendemos todas aquellas operaciones que conllevan el movimiento o desplazamiento controlado de tierras, ya se trate de **excavaciones (desmontes) o rellenos (terraplenes)**, con el propósito de acomodar la topografía inicial del terreno en que se va a construir una edificación, para adaptarlo a las condiciones requeridas en el proyecto. Así mismo, comprende las operaciones de **control del agua freática**, con el fin de evitar su interferencia durante el desarrollo constructivo o, posteriormente, sobre las construcciones enterradas, control que la normativa actual aplicable, el **Código Técnico de la Edificación, Libro 3, Documento Básico SE-C, Seguridad Estructural: Cimientos**, denomina gestión del agua.

En el caso de existir edificaciones u otras obras colindantes a las que el movimiento de tierras pudiese afectar negativamente, se requerirá de un estudio detallado y específico de dichas operaciones.

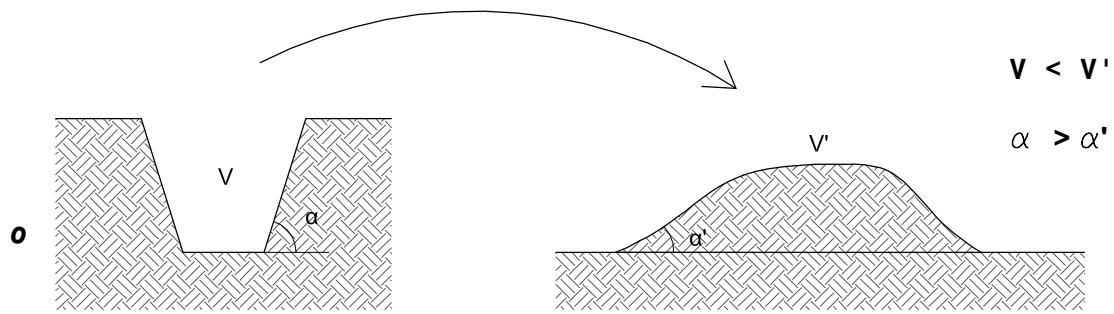
3.1. TALUD

El estudio de los movimientos de tierra conlleva el conocimiento previo del denominado talud natural de un terreno. Se entiende por **talud** el ángulo de inclinación que formaría un determinado terreno, al dejarlo caer sobre un plano teórico horizontal. Una mayoría de suelos poseen un determinado grado de cohesión entre sus partículas, más o menos elevado, sumado a un coeficiente de rozamiento específico entre las mismas, de modo que ante la acción de la gravedad, su superficie presenta una determinada inclinación intrínseca a los mismos. Esta característica podrá ser extraída de los datos aportados por el estudio geotécnico, realizado previo al comienzo de los trabajos.



Taludes naturales, de desmonte y terraplén.

Por otro lado, hay que tener en cuenta que este talud natural puede verse afectado por otros **factores externos**. El terreno se ve sometido a una compactación natural debido al paso del tiempo, a su peso propio, al efecto de la lluvia, etc., que eleva las fuerzas de cohesión entre las partículas. Ello conlleva que un mismo tipo de tierras, excepto los terrenos estrictamente granulares en los que las fuerzas de rozamiento entre las partículas son prácticamente las únicas existentes, posean un talud natural mucho más elevado en los casos de desmonte, dado que el talud lo compone parte del terreno natural que mantiene las condiciones iniciales, que en los casos de terraplén, donde la estructura del terreno se rompe al ser extraídas las tierras y trasladadas a su nueva ubicación. Estas tierras ocuparán además un volumen superior al extraído, fenómeno denominado **esponjamiento**.



Fenómeno de esponjamiento del terreno al realizar un movimiento de tierra.

3.2. EXCAVACIONES O DESMONTES

Se entiende por **excavación** aquellas labores destinadas a vaciar, rebajar o eliminar parte de un terreno por razones determinadas, limitado lateralmente por un talud, de modo que durante el periodo de servicio, ya sea transitorio o permanente, quede a cielo abierto y no sea necesario disponer ningún tipo de contención mecánica añadida. Implica el desmonte del terreno y el transporte de las tierras extraídas a otros lugares.

Se realiza con **medios mecánicos** que dependerán de las características y dureza del terreno. La amplia variedad de suelos sobre los cuales se deba trabajar determinarán los procesos y medios a utilizar, con el fin de conseguir los resultados requeridos en el proyecto. Se utilizarán desde palas excavadoras, manuales o mecánicas, hasta punteros de rotura o incluso explosivos en zonas puntuales o extensivas de terrenos de gran dureza, como los rocosos. Los terrenos se pueden clasificar en:

- Duros: atacables con martillos hidráulicos, pero no con el pico, como terrenos de tránsito, rocas descompuestas y tierras muy compactas.
- Medios: atacables con el pico, pero no con la pala, como arcillas semicompactas con o sin presencia de gravas.
- Blandos: atacables con la pala, como tierras sueltas, tierras vegetales o arenas.

Los trabajos manuales quedarán limitados a los recortes y ajustes de las excavaciones.



Maquinaria de movimiento de tierras: Izda. Martillo hidráulico. Fuente: <www.vialfe.com> [Consulta: 4 de febrero de 2014]. Dcha. Retroexcavadora.

Las **tierras extraídas** se acumularán en un emplazamiento cercano, en montones conocidos con el nombre de caballeros, que faciliten su posterior carga en los camiones para su transporte a los puntos de vertido, ya sea en zonas externas o en otros puntos de la obra en que las tierras sobrantes sean utilizadas para el relleno de los terraplenados. No se depositarán estas tierras ni otros materiales en el borde del vaciado, debiendo separarse del mismo al menos dos veces la profundidad del mismo en ese borde.

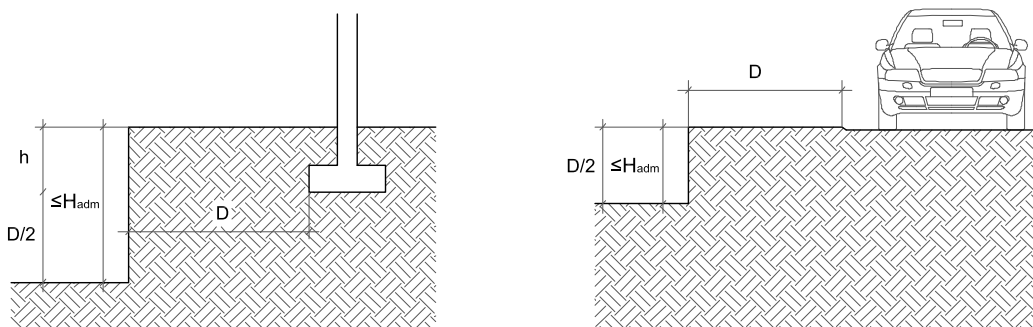


Traslado con camiones de las tierras extraídas durante la excavación.

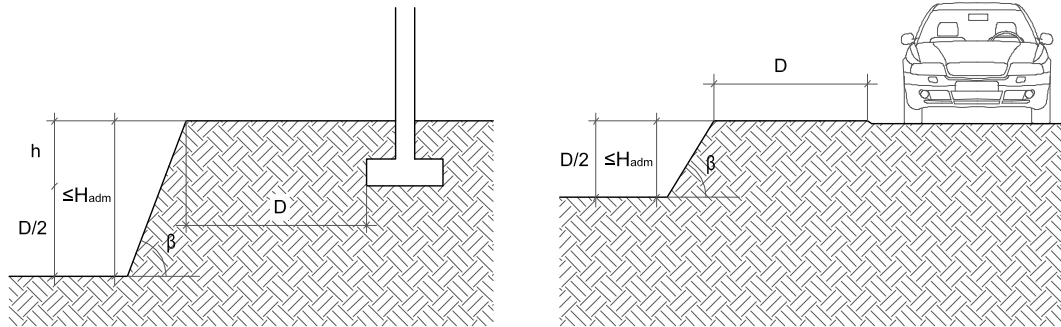
Los vaciados se pueden realizar de dos **formas** básicas:

- Construyendo previamente una **estructura de contención** de sus paredes (muros de contención o pantallas).
- Por corte vertical, talud o bataches, **sin** realizar previamente una **estructura de contención**, siempre que no se supere una profundidad máxima de excavación igual a:
 - $h + D/2$ junto a cimentaciones próximas.
 - $D/2$ junto a viales.

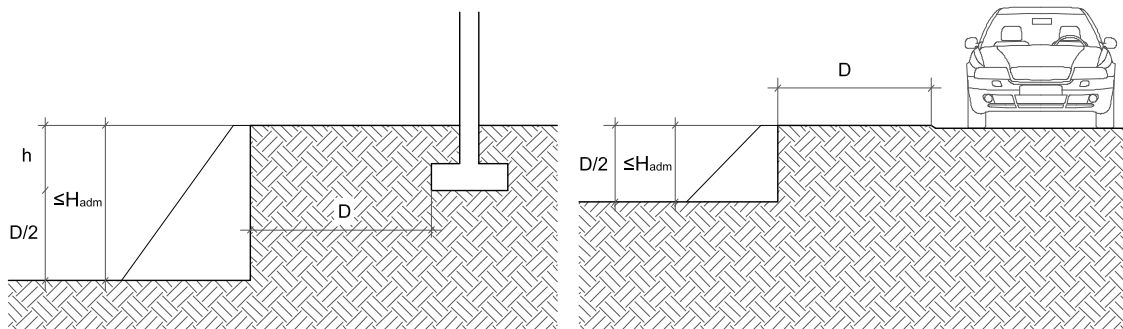
Siendo h la profundidad del plano de cimentación próxima y D la distancia desde el borde de la excavación a la cimentación o vial próximos. Además, la cota del nivel freático debe encontrarse mínimo a 1 m por debajo del nivel de la excavación.



Limitaciones en los vaciados por corte vertical. Dibujos basados en la NTE ADV, Vaciados.



Limitaciones en los vaciados por talud. Dibujos basados en 1a NTE ADV, Vaciados.



Limitaciones en los vaciados por bataches. Dibujos basados en 1a NTE ADV, Vaciados.

Los aspectos a considerar en este tipo de trabajos deben atender a las siguientes especificaciones:

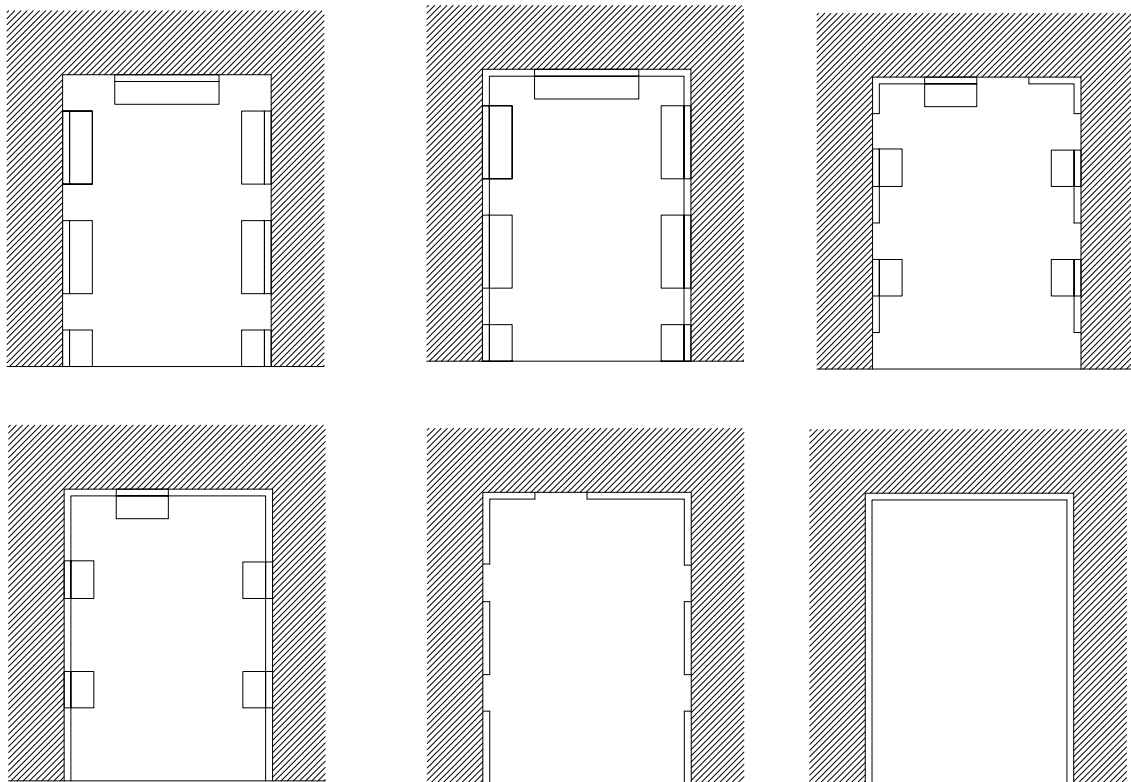
- Los **desmontes de grandes superficies** para la realización de sótanos de edificios, se realizarán por **franjas horizontales** de altura comprendida entre 1,5-3 m, no mayor a 1,5 m cuando se realice a mano, dejando zonas sin desmontar de un ancho no menor a 4,5 m, que puedan ser utilizadas para el acceso de la maquinaria y medios de transporte al fondo de la excavación, eliminándolas en último lugar.



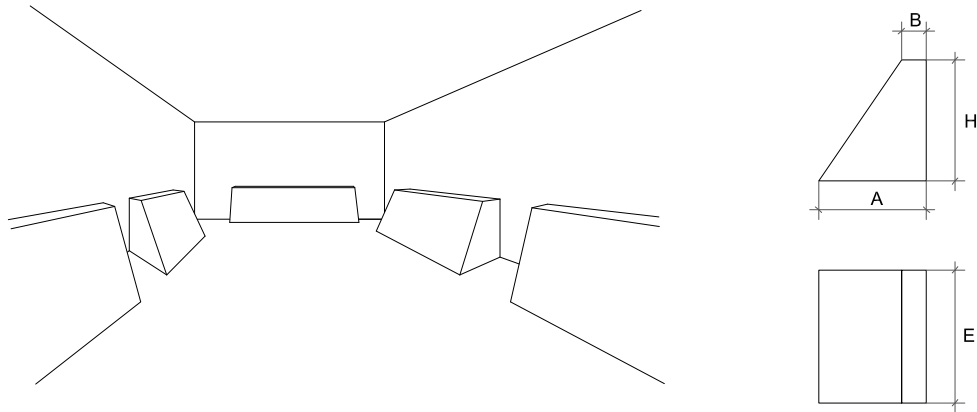
Vaciado de gran profundidad por franjas horizontales. Habilitación de rampas de acceso al tajo.

En los bordes contiguos a elementos estructurales vecinos, la máquina trabajará en una dirección no perpendicular a los mismos, dejando una zona sin excavar, denominada zona de protección, de ancho no inferior a 1 m, que se quitará posteriormente a mano.

- Las **excavaciones entre medianeras**, que conllevan la existencia de cimentaciones de las edificaciones colindantes, se realizarán **por bataches**. Se trata de un proceso de excavación paulatino que no elimina la totalidad de las tierras, sino que sectoriza la superficie, determinando una secuencia de excavación de modo que las paredes vecinas quedan sujetas en todo momento, por tramos de terreno que ejercen a modo de contrafuertes, mientras se construye el elemento de contención: muro de contención, muro de sótano, etc. Los bataches se replantean en función de las dimensiones A (dimensión de la base inferior del talud), B (dimensión de la base superior del talud), H (altura del talud), E (ancho del batache) y N (número de bataches). Una vez replanteados, se comienza la excavación del primer batache de ancho E, empezando por uno de los extremos, dejando entre los distintos bataches excavados macizos de una ancho igual a $N \cdot E$. Una vez ejecutados los tramos correspondientes del elemento de contención, se excavarán los bataches contiguos a los anteriores, cuyo muro de contención se unirá a los anteriormente ejecutados. Se repetirán estas operaciones un número total de N veces hasta quedar excavada toda la superficie.



Esquema del proceso ejecución de un vaciado por bataches.



Perspectiva del proceso ejecución de un vaciado por bataches. Dimensionado de un batache.



Ejecución del elemento de contención de la medianería (muro de sótano), por bataches. Unión entre las distintas partes del muro.

Antes de proceder a la realización de los trabajos se tendrán en cuenta las siguientes **especificaciones**:

- Se comprobará y aprobará por parte de la Dirección Técnica el replanteo de la excavación, así como los puntos de acceso tanto para los operarios como para la maquinaria, disponiendo de puntos fijos que no se vean posteriormente afectados por la excavación, que sirvan de referencia para la posterior lectura de distancias y cotas.
- Se recabará la información de todas aquellas instalaciones enterradas que se vean afectadas por la excavación, determinando y previendo con las distintas compañías las soluciones a adoptar en cada caso. Así mismo, se determinarán las distancias de - Se protegerán los elementos de servicio público que se puedan ver afectados: bocas de alcantarillado, sumideros, etc.
- Se dispondrán los medios necesarios para evitar la entrada de aguas superficiales al vaciado.

3.3. GESTIÓN DEL AGUA

La gestión del agua conlleva los trabajos de **agotamiento y rebajamiento del agua freática** en las zonas afectadas por las excavaciones destinadas a la construcción de un edificio.

Trabajar en **presencia de agua** genera una serie de **inconvenientes** tales como:

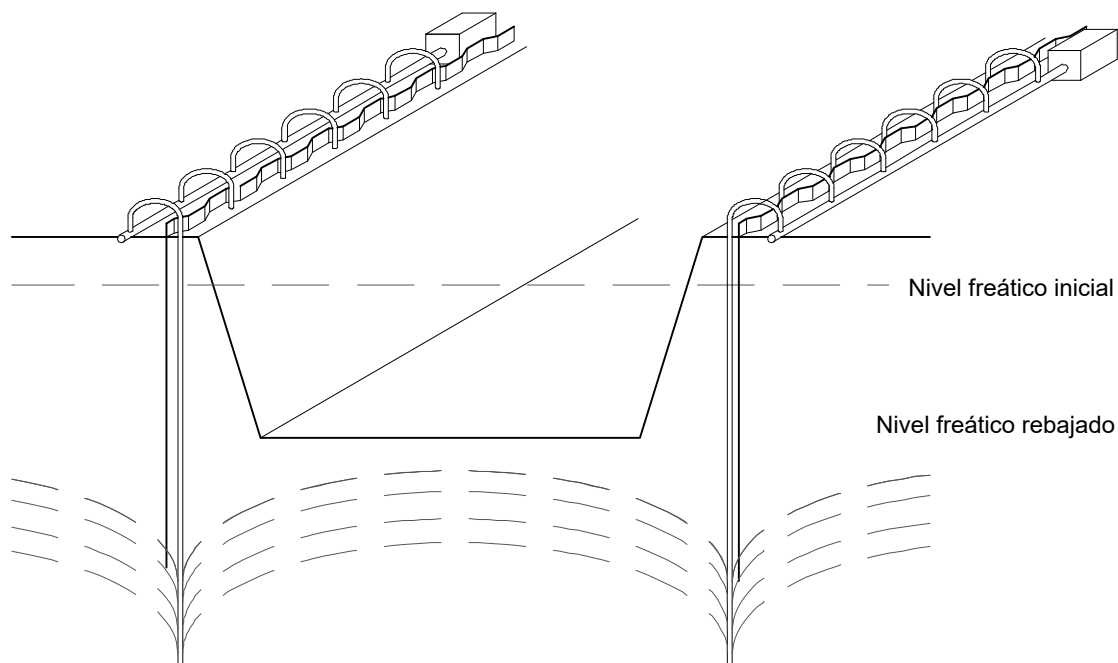
- dificultar o incluso imposibilitar el trabajo.
- modificar el equilibrio del suelo, provocando la inestabilidad del fondo de la excavación (sifonamiento) o el desmoronamiento de los cortes o taludes practicados.

Los trabajos de **rebajamiento del agua** freática están destinados a:

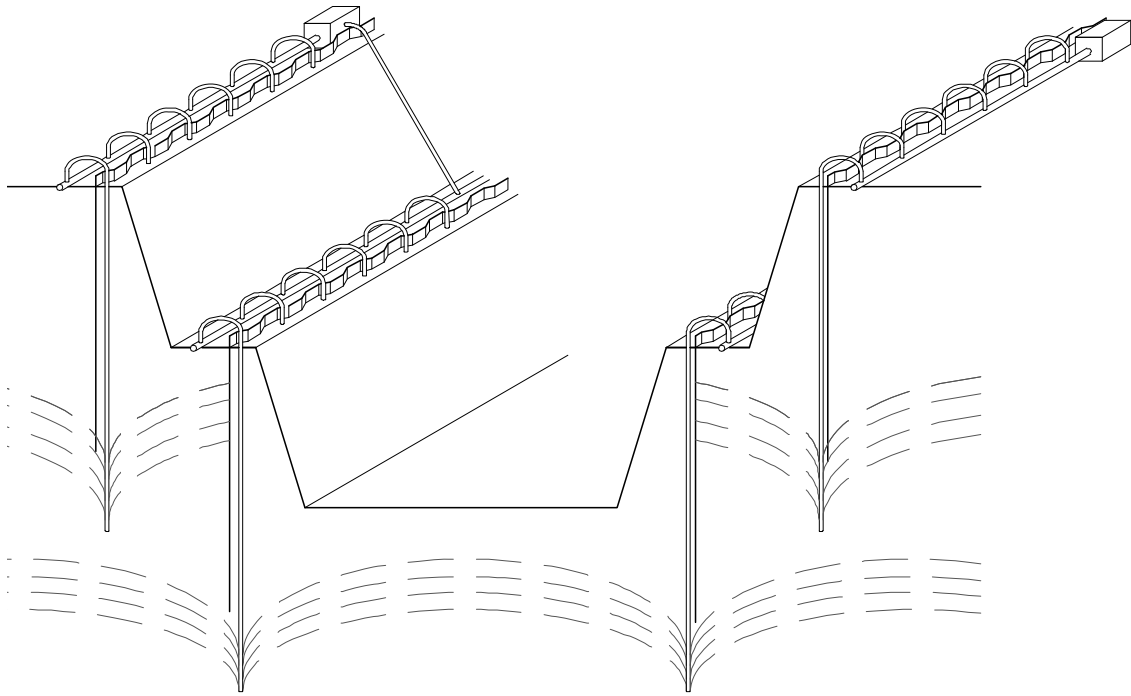
- permitir el trabajo en condiciones secas del terreno.
- evitar elevaciones y descensos de las presiones en el fondo de la excavación.
- reducir las presiones laterales de los soportes temporales.
- mejorar la estabilidad de los taludes.
- reducir el contenido de humedad en el terreno.

Algunos de los métodos más habituales son:

- **Wellpoint**: es el método más adecuado en **terrenos de baja permeabilidad**. Se trata de un sistema de **puntas filtrantes** introducidas en el terreno, que se unen al nivel de la superficie con una **tubería horizontal** conectada a una **bomba de aspiración**, que efectúa realmente el achique del agua. Se dispondrán de suficientes bombas de repuesto de modo que se asegure la continuidad del achique. Son efectivos hasta una profundidad cercana a los 7 m, de modo que si es necesario llegar a una profundidad mayor se recurre a un sistema escalonado.



Esquema de funcionamiento de rebajamiento de agua con puntas filtrantes o sistema Wellpoint y pantallas de tablestacas.



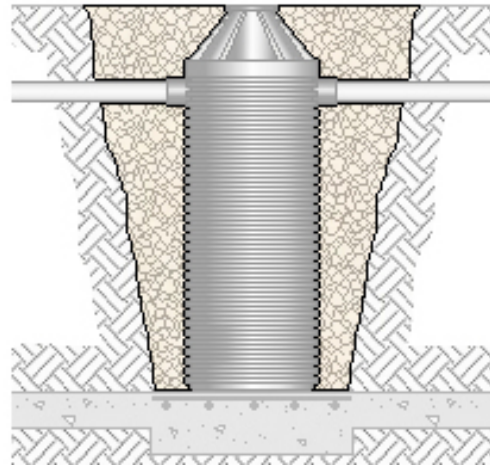
Rebajamiento de agua con puntas filtrantes con sistema escalonado para alcanzar mayor profundidad.



Rebajamiento de agua con puntas filtrantes y pantallas de tablestacas metálicas. Fuente: <procedimientosconstruccion.blogs.upv.es> [Consulta: 4 de febrero de 2014].

- Pozos profundos: es el sistema más adecuado para agotar recintos de grandes dimensiones en **terrenos de gran permeabilidad**. Se ejecutan pozos de drenaje con una separación determinada entre los mismos, donde se recogen las aguas, disponiendo de bombas de achique para la extracción y conducción de la misma hasta las redes de evacuación.

Puede tratarse de pozos ejecutados in situ o prefabricados, de hormigón o de polietileno de alta densidad.



Pozo drenante de polietileno de alta densidad. Fuente: <www.generadordeprecios.info> [Consulta: 3 de febrero de 2012].

El sistema de achique escogido **no debe promover asientos inaceptables** en las construcciones o servicios colindantes, así como **debe impedir las pérdidas de suelo** tanto en el trasdós como en la base de la excavación.

3.4. RELLENOS O TERRAPLENES

Se entiende por **relleno o terraplén** la operación contraria al desmonte, aportando terreno nuevo al preexistente debido a exigencias del proyecto, funcionales o constructivas: elevar el nivel, regularizar y nivelar terrenos irregulares y accidentados, crear taludes artificiales, etc.

Los aspectos a considerar en este tipo de trabajos deben atender a las siguientes **especificaciones**:

- Antes de proceder al relleno, se debe **eliminar la primera capa del terreno** natural que ejerce de base, de un espesor igual al de la capa vegetal, no menos de 15 cm, con el objetivo de eliminar la vegetación existente así como cualquier otro material orgánico o de desecho, que pueda resultar perjudicial al correcto asiento del nuevo material sobre el terreno de soporte.

- Si el relleno se produce sobre un terreno en pendiente, con una inclinación superior a 1:5, se crearán bancadas o **mesetas entre 50-80 cm de altura y ancho no menor a 1,5 m**, para proporcionar una base horizontal para las tierras aportadas. Las mesetas tendrán una pendiente del 4%, hacia el interior en terrenos permeables y hacia el exterior en terrenos impermeables.

- El **material** de relleno será seleccionado de modo que tras su compactación, alcance las **condiciones de resistencia, rigidez y permeabilidad** requeridas en el proyecto.

- Los **materiales que pueden ser utilizados** para rellenos engloban una mayor parte de los terrenos granulares, incluso algunos resultantes de la actividad industrial (escorias y cenizas pulverizadas). Algunos productos manufacturados como los agregados ligeros pueden ser utilizados en casos determinados. Los suelos cohesivos pueden ser aceptados, cuidando las condiciones de colocación y compactación.

Puede utilizarse el terreno autóctono procedente de los desmontes efectuados en otra zona de la parcela, siempre que éste reúna los requisitos de proyecto. No se utilizarán suelos expansivos o solubles, ni susceptibles a las heladas.

- En general, el relleno se realizará por **tongadas de espesor uniforme, entre 20 y 40 cm de espesor**, compactadas mecánicamente hasta alcanzar el grado de compacidad establecido. Se creará una ligera pendiente hacia fuera para evitar encharcamientos y erosión. Si se han producido lluvias recientes, no se extenderá la siguiente tongada hasta el secado de la tongada previa.

- Si la **compactación** se realiza mediante rodillo vibrante, tras finalizar el trabajo se realizarán dos nuevas pasadas sin aplicar vibración.

- Se detendrá el proceso de terraplenado si la **temperatura** ambiental desciende de los 2° C.

- Se evitará el **tráfico de vehículos y maquinaria** sobre las tongadas compactadas.

- Debemos tener en cuenta los **asientos propios del relleno** para establecer las cotas iniciales y finales de la superficie del terraplén.

Se debe **evitar a toda costa el apoyo de edificaciones sobre rellenos** de cualquier tipo, dado que pueden dar lugar a asientos diferenciales incontrolados de la edificación.

4. ELEMENTOS DE CONTENCIÓN

Cuando las **condiciones de la excavación** no cumplen los requisitos exigidos, para que ésta pueda llevarse a cabo sin necesidad de realizar previamente el elemento definitivo de contención del terreno, se recurrirá a la ejecución de pantallas o muros que permitan realizar el vaciado en condiciones de seguridad, tanto para la propia excavación, como para las edificaciones, viales y demás construcciones colindantes a la misma.

4.1. PANTALLAS

Se denomina **pantallas** a los elementos verticales de contención de tierras, ejecutados cuando el terreno, los edificios vecinos o sus cimentaciones, no serían estables sin sujeción, o bien cuando se trabaje por debajo del nivel freático, siendo necesario eliminar las posibles filtraciones de agua al interior de la excavación, o de asegurar la estabilidad de la misma ante posibles fenómenos de sifonamiento.

Se realizarán en una **fase previa al vaciado** y trabajarán fundamentalmente a **flexión**, empotrando su base en el terreno por debajo de la cota de excavación establecida, desempeñando dos funciones básicas, la **contención de las tierras y la impermeabilización del vaso**. No se trata de un elemento terminado, puesto que sus condiciones de ejecución conllevan la necesidad de prever un **acabado final** para la superficie o incluso de la posterior ejecución de un muro de contención o de sótano.

Los tipos de pantallas que contempla la actual normativa, CTE DB SE-C, son:

- Pantallas continuas de hormigón: construidas in situ dentro de una zanja excavada previamente por módulos de un **ancho** entre **0,4-1,5 m** y una **longitud** entre los **2,5-4,5 m**, en función de la estabilidad del terreno, sus movimientos y deformaciones admisibles. Los terrenos cuya cohesión asegure la estabilidad de las paredes de la zanja no requerirán de ningún elemento de contención, mientras que en los suelos sin cohesión la entibación se llevará a cabo mediante **lodos tixotrópicos**. Se trata de suspensiones de arcillas tixotrópicas de alta plasticidad en agua, que rellenan la zanja estabilizando sus paredes verticales hasta el momento del hormigonado. Se introducen en cada paño las jaulas de las armaduras, que cubren toda la longitud del tramo, y se procede al hormigonado mediante mangas que rellenan la zanja desde la base, de modo que a medida que avanza el hormigón, va desplazando los lodos, que son recogidos en superficie.

- Pantallas de pilotes: habitualmente realizadas mediante pilotes perforados, admitiéndose en ocasiones los pilotes prefabricados hincados. Son adecuadas en aquellos casos en que **la pantalla no requiere ser estanca**, en cuyo caso se disponen los pilotes con una separación no superior a dos veces su diámetro. Si la excavación debe permanecer abierta mucho tiempo y el terreno es erosionable o puede variar fácilmente sus propiedades al encontrarse a la intemperie, se protegerá mediante hormigón proyectado.

- Pantallas de tablestacas: se trata de pantallas prefabricadas compuestas por paneles de hormigón armado, pretensado o acero. Se hincan en el terreno por golpeteo o vibración. Sus bordes suelen ir machihembrados, proporcionando la requerida impermeabilización de la excavación. Se usan habitualmente combinadas con el sistema de wellpoints para el achique del agua.

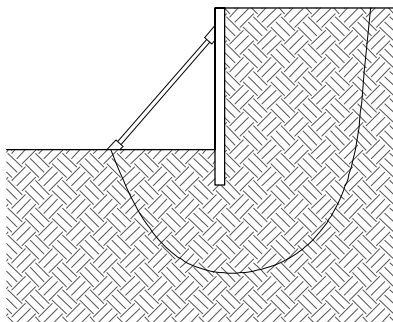


Ejecución de las pantallas y perfiles de las tablestacas. Fuente: <www.emgrisa.es> y <www.azendra.com> [Consulta: 3 de febrero de 2012].

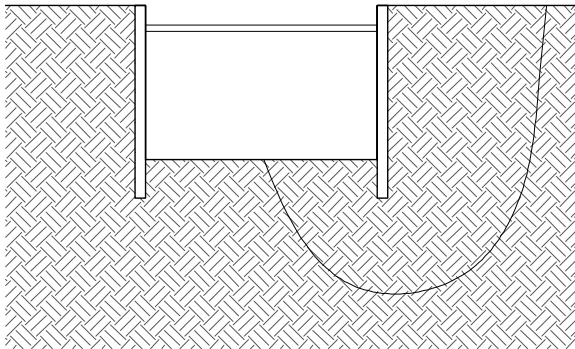
La **elección del tipo de pantalla** dependerá de las condiciones del terreno y de las edificaciones colindantes. Previamente a la ejecución de la pantalla es preciso asegurar **que no atraviese obstáculos**, como instalaciones enterradas, galerías de servicio, etc. Si se trabaja **bajo el nivel freático** se descartarán aquellos tipos que no aseguren una adecuada estanqueidad. Así mismo, en el caso de pantallas prefabricadas, se estudiará el posible **efecto de la hincada o las vibraciones** en las edificaciones vecinas, debido a posibles fenómenos de compactación del terreno.

En ocasiones será necesario disponer de **elementos de sujeción de la propia pantalla** para garantizar la estabilidad de la misma, de la excavación, así como de las edificaciones vecinas. En general suelen ser necesarios cuando la profundidad de la excavación es superior a 3-4 m, en edificaciones con más de un sótano. El tipo de sujeción a escoger depende de los factores económicos, de la viabilidad de su ejecución y de la influencia en los trabajos de vaciado y de construcción del edificio. En general se podrá optar por alguno de los siguientes **sistemas**:

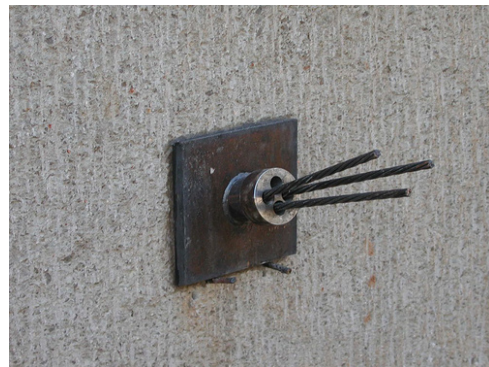
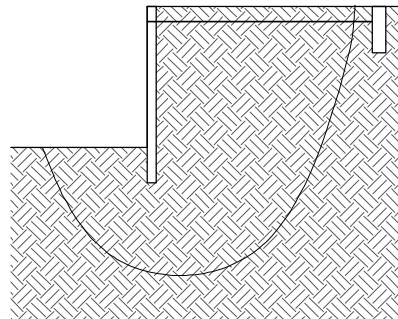
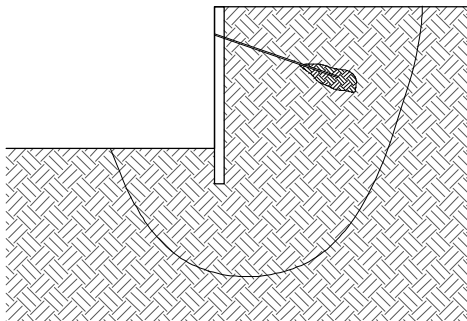
- apuntalamiento contra el fondo de la excavación (menos recurrido debido a que entorpece las labores de trabajo).
- apuntalamiento contra otras pantallas enfrentadas.
- anclajes al terreno o a otras estructuras de contención paralelas existentes en las inmediaciones.



Apuntalamiento contra el fondo de la excavación. Dibujos basados en el CTE DB SE-C-75. Fuente: <www.hotfrog.es> [Consulta: 4 de febrero de 2014].



Apuntalamiento contra pantallas enfrentadas. Dibujos basados en el CTE DB SE-C-75. Fuente: <www.hotfrog.es> [Consulta: 4 de febrero de 2014].

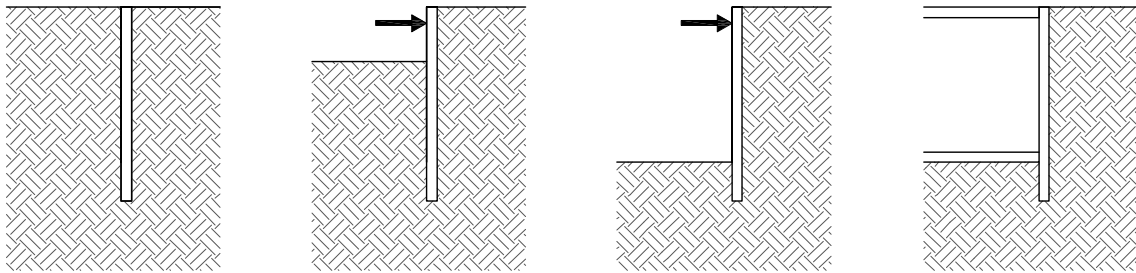


Anclajes al terreno. Dibujos basados en el CTE DB SE-C-75. Fuente: <www.geiker.com> y <www.construmatica.com> [Consulta: 4 de febrero de 2014].

En general, las **fases de ejecución** de una pantalla para la construcción de un sótano conllevan los siguientes pasos:

- ejecución de la pantalla.
- excavación hasta -1 m.
- disposición de los elementos de sujeción o anclajes provisionales.
- excavación hasta -3,2 m máximo.
- ejecución de la cimentación, la estructura y los forjados de las plantas de sótano, apoyo definitivo de la pantalla a -0,1 m aproximadamente.

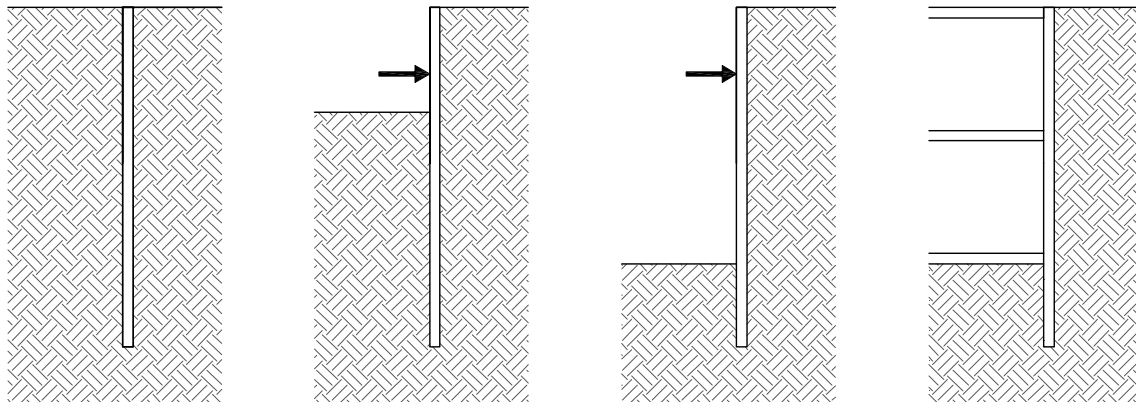
- construcción de la solera y eliminación de los elementos de sujeción provisionales.



Esquema de ejecución de pantallas de una planta sótano. Dibujos basados en la NTE CCP Pantallas.

En el caso de la construcción de **dos sótanos**:

- ejecución de la pantalla.
- excavación entre -0,5 m o hasta -2,5 m en zona de viales.
- disposición de los elementos de sujeción o anclajes provisionales.
- excavación hasta -5,9 m máximo.
- ejecución de la cimentación, la estructura y los forjados de las plantas de sótano, apoyos definitivos de la pantalla a -0,1 m y -2,3 m.
- construcción de la solera y eliminación de los elementos de sujeción provisionales.

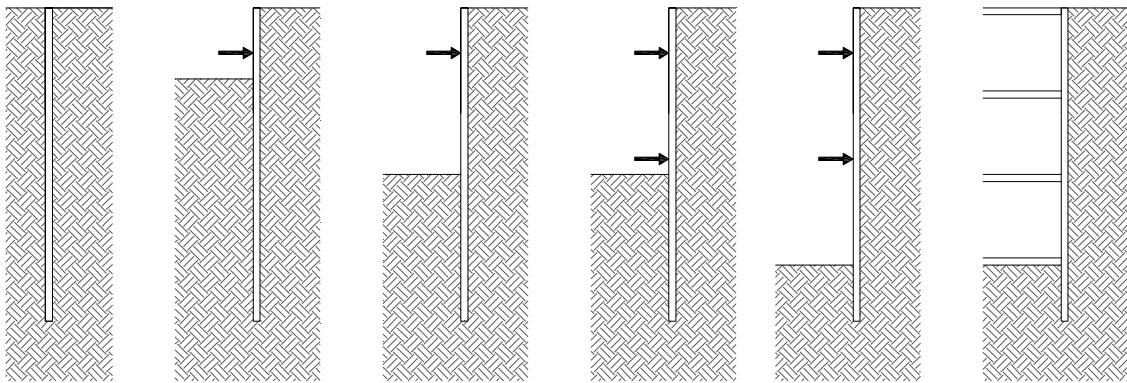


Esquema de ejecución de pantallas de dos plantas de sótano. Dibujos basados en la NTE CCP Pantallas.

En el caso de la construcción de **tres sótanos**:

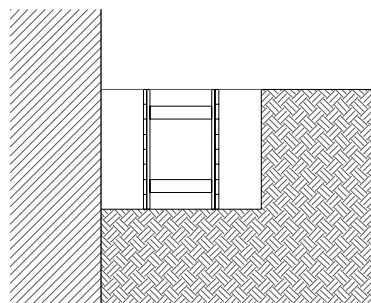
- ejecución de la pantalla.
- excavación entre -0,5 m o hasta -2,5 m en zona de viales.
- disposición de los primeros elementos de sujeción o anclajes provisionales.
- excavación hasta -6 m máximo.
- colocación del segundo grupo de elementos de sujeción o anclajes provisionales.
- excavación hasta -8,6 m máximo.
- ejecución de la cimentación, la estructura y los forjados de las plantas de sótano, apoyos definitivos de la pantalla a -0,1 m y -2,8 m y -5,5 m.

- construcción de la solera y eliminación de los elementos de sujeción provisionales.

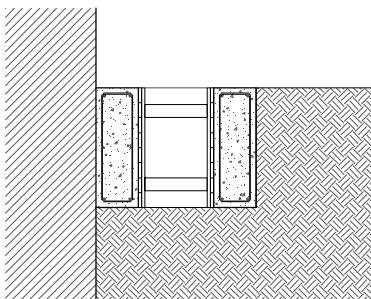


Esquema de ejecución de pantallas de tres plantas de sótano. Dibujos basados en la NTE CCP Pantallas.

La **ejecución de las pantallas continuas de hormigón**, una de las tipologías más habituales, se realiza mediante la disposición previa de **muretes guía**, cuya finalidad es garantizar la alineación de la pantalla, guiar los útiles durante la excavación, evitar el desprendimiento del terreno de la zanja en el interior de la misma y servir de apoyo a las jaulas de armaduras hasta que haya fraguado el hormigón. Se trata de pequeños muros de hormigón armado ejecutados in situ, encofrados y cimbrados, que alcanzan una profundidad entre 0,5-1,5 m, con una distancia entre los mismos entre 20-50 mm superior al ancho de la pantalla. La cara superior, habitualmente con un acabado horizontal, debe situarse al menos 1,5 m por encima de la máxima cota prevista para el nivel freático. Será conveniente que se encuentren apuntalados hasta que finalice la excavación del panel correspondiente.



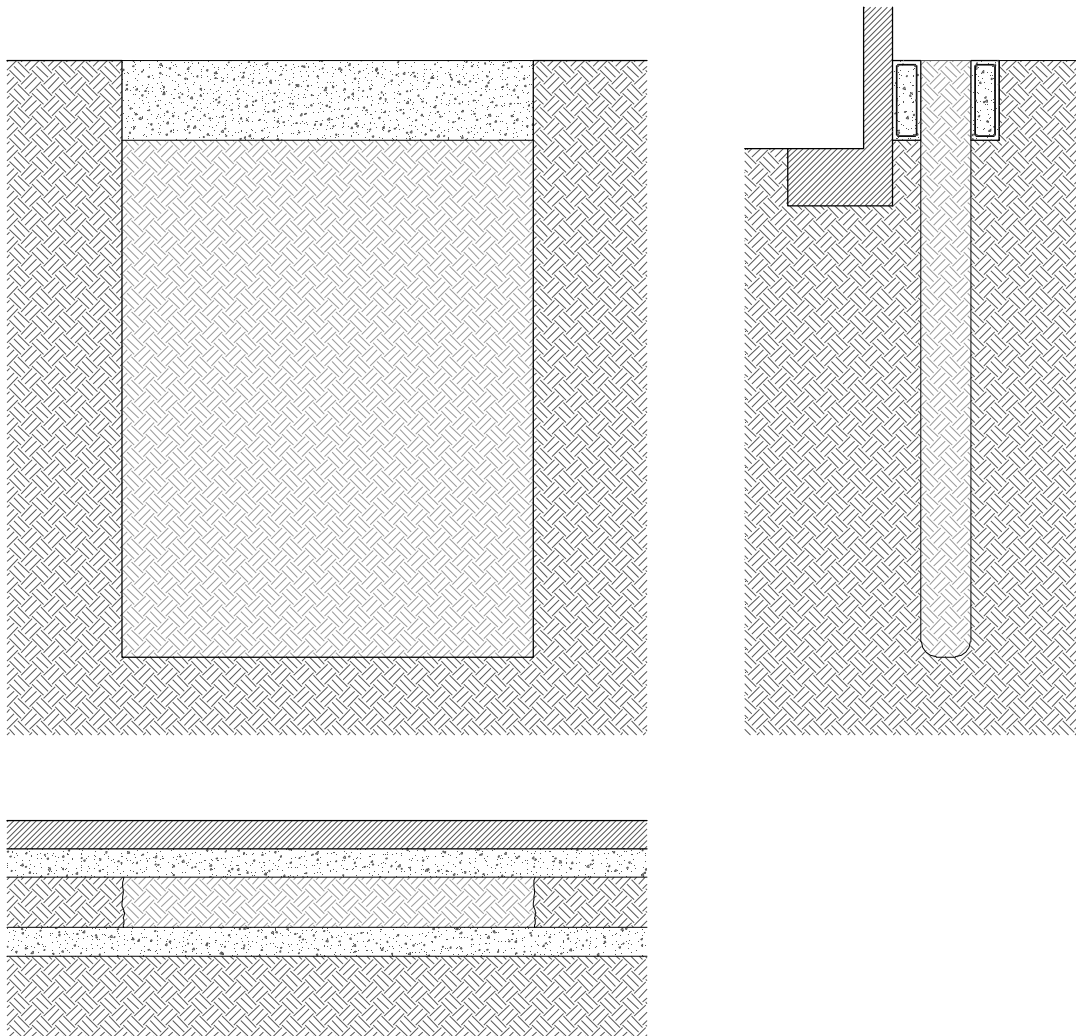
Encofrado y cimbrado



Armado y hormigonado



Esquema de ejecución de los muretes guía para la ejecución de las pantallas de hormigón armado. Dibujos basados en la NTE CCP Pantallas. Fuente: < www.pkmn.es > [Consulta: 4 de febrero de 2014].

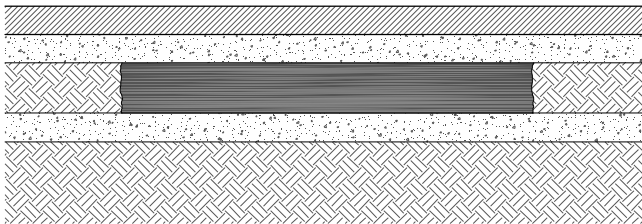
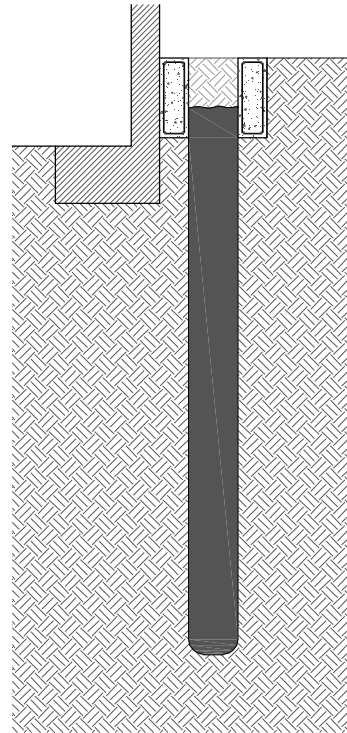
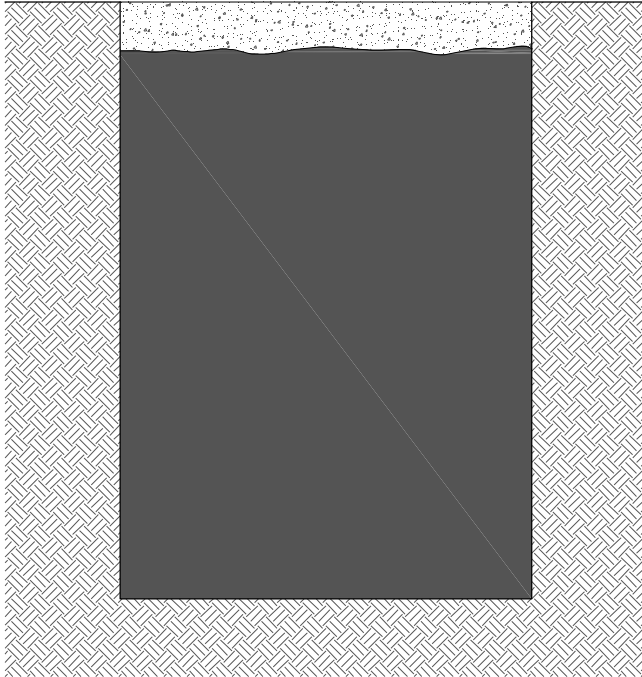


Excavación del panel hasta la cota requerida y retirada de las cimbras de los muretes guía para proceder a su ejecución.

A continuación se procederá al relleno de la zanja con los lodos tixotrópicos, encargados de evitar que se produzca el desmoronamiento de las paredes, principalmente en aquellos casos en que el terreno no tenga la suficiente consistencia.

Se procederá al **hormigonado** una vez colocados los encofrados laterales, que materializan las juntas entre paneles, y las jaulas de armaduras previstas en proyecto, cuya separación entre barras no será inferior a 5 veces el diámetro del árido, favoreciendo así una correcta colocación del hormigón y su adherencia a las armaduras. El proceso se realizará con el máximo cuidado, de modo que se rellene toda la longitud del panel, evitando la formación de vacíos, bolsas de aire, coqueras, etc.

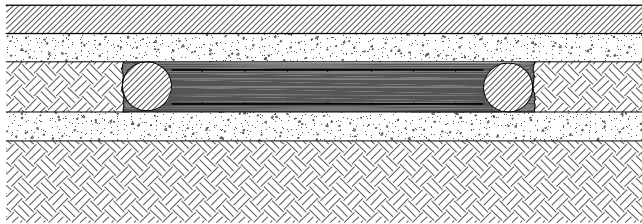
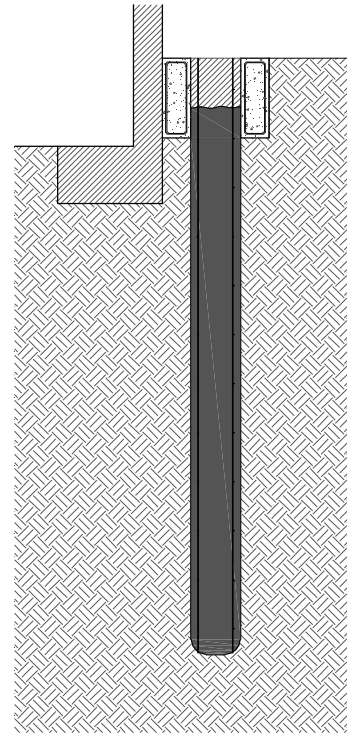
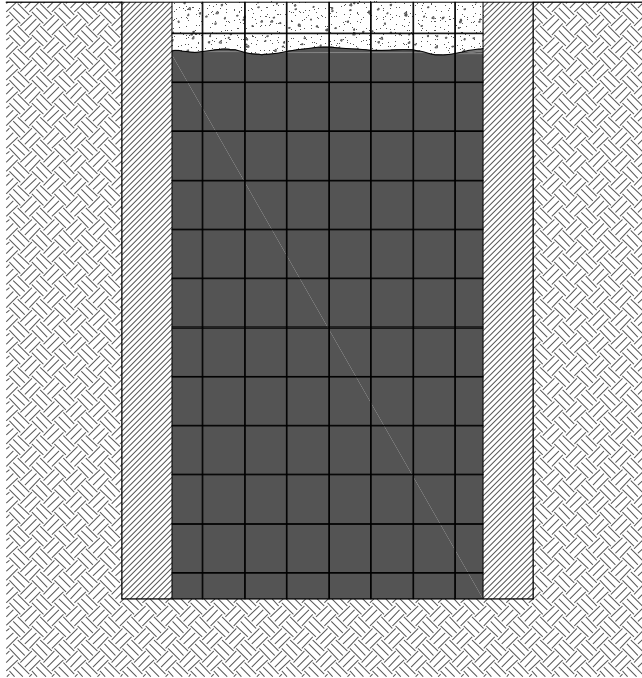
El procedimiento de vertido del hormigón en el interior de lodos tixotrópicos se realiza con **tubo Tremie**, que se introduce hasta el fondo de la excavación, levantándolo posteriormente 10-20 cm para proceder al hormigonado. En la boca se colocará un tapón de modo que se evite el lavado del hormigón de primera colocación. El tubo de encontrará inmerso en el hormigón durante todo el proceso unos 3 m y se colocarán tantos tubos como sea necesario para limitar el recorrido horizontal a 2,5 m.



Relleno de la excavación con los lodos para la estabilización de las paredes.



Relleno de la excavación con los lodos. Fuente: <www.pimosa.com> [Consulta: 4 de febrero de 2014].



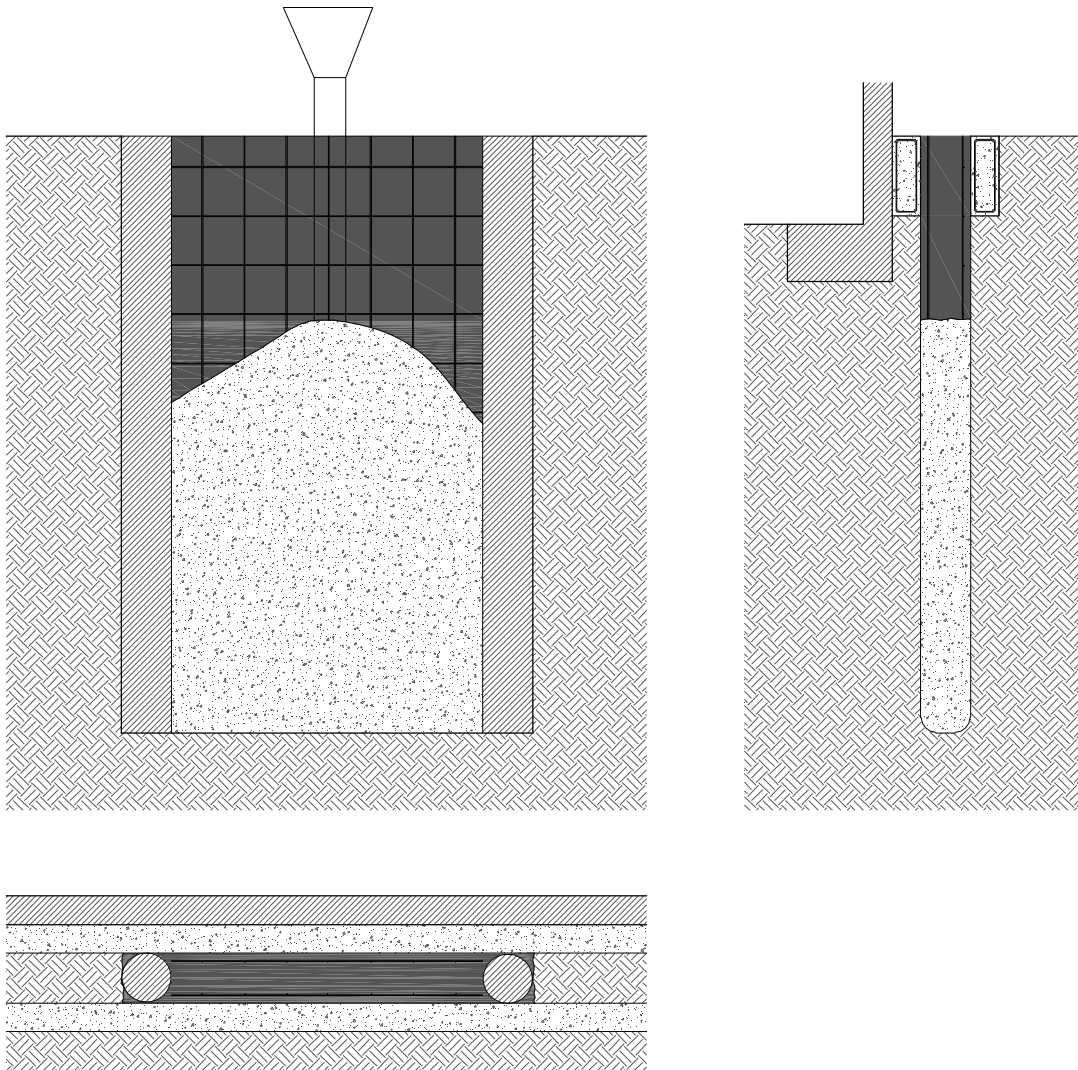
Colocación de los encofrados laterales y de las jaulas de armaduras.



Colocación de las jaulas de armaduras. Fuente: <www.pimosa.com> [Consulta: 4 de febrero de 2014].



Disposición de los encofrados laterales. Fuente: <<http://procedimientosconstruccion.blogs.upv.es>> [Consulta: 4 de febrero de 2014].



Hormigonado del panel con tubo Tremie.

El **hormigón** utilizado en la ejecución de estas pantallas debe reunir unas **características específicas** que garanticen la calidad del proceso y del producto terminado, atendiendo a las especificaciones de la Instrucción EHE. En general debe tener:

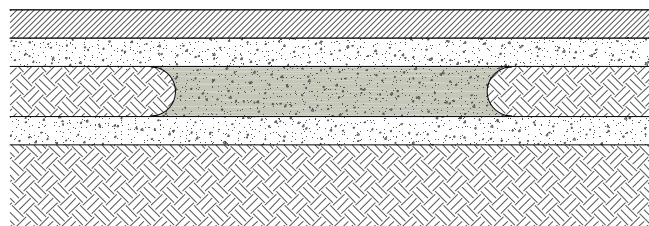
- alta capacidad de resistencia a la segregación.
- alta plasticidad y buena compacidad.
- buena fluidez.
- capacidad de autocompactación.
- buena trabajabilidad durante la puesta en obra.

El **contenido mínimo de cemento** para hormigón vertido en seco será de 325 Kg/m³ y de 375 Kg/m³ para hormigón sumergido (lodos tixotrópicos). Los valores de la relación agua/cemento estarán comprendidos entre 0,45-0,6.

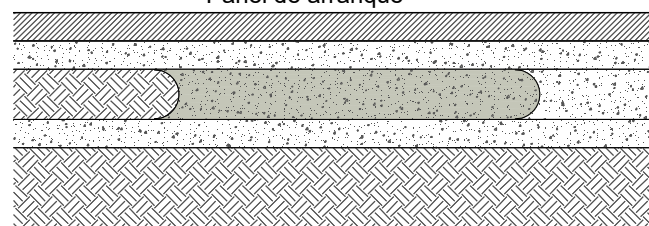
Una vez el hormigón alcance la resistencia suficiente para que la pared vertical se mantenga, se procede a la **extracción de los encofrados de juntas laterales**.

La **distribución de los paneles** que configuran la pantalla, el **tipo y el dimensionado** depende de la geometría del recinto que ocuparán los sótanos del edificio y de las características de la maquinaria a utilizar. En general podemos distinguir entre:

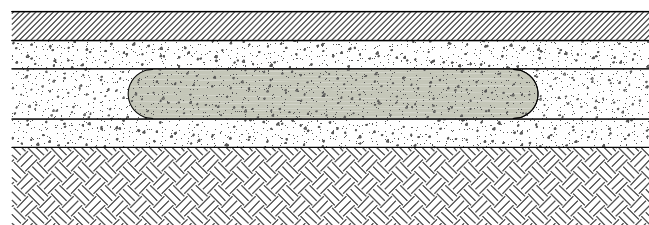
- **Panel de arranque:** construido aisladamente, no existiendo todavía ningún panel contiguo. Las juntas laterales son negativas.
- **Panel normal:** se construye junto a un panel contiguo, enlazado con el mismo mediante una junta positiva. Puede tratarse también de un panel en ángulo.
- **Panel de cierre:** construido entre dos paneles ya ejecutados, guiado por los mismos y enlazados con ellos mediante sendas juntas positivas.



Panel de arranque



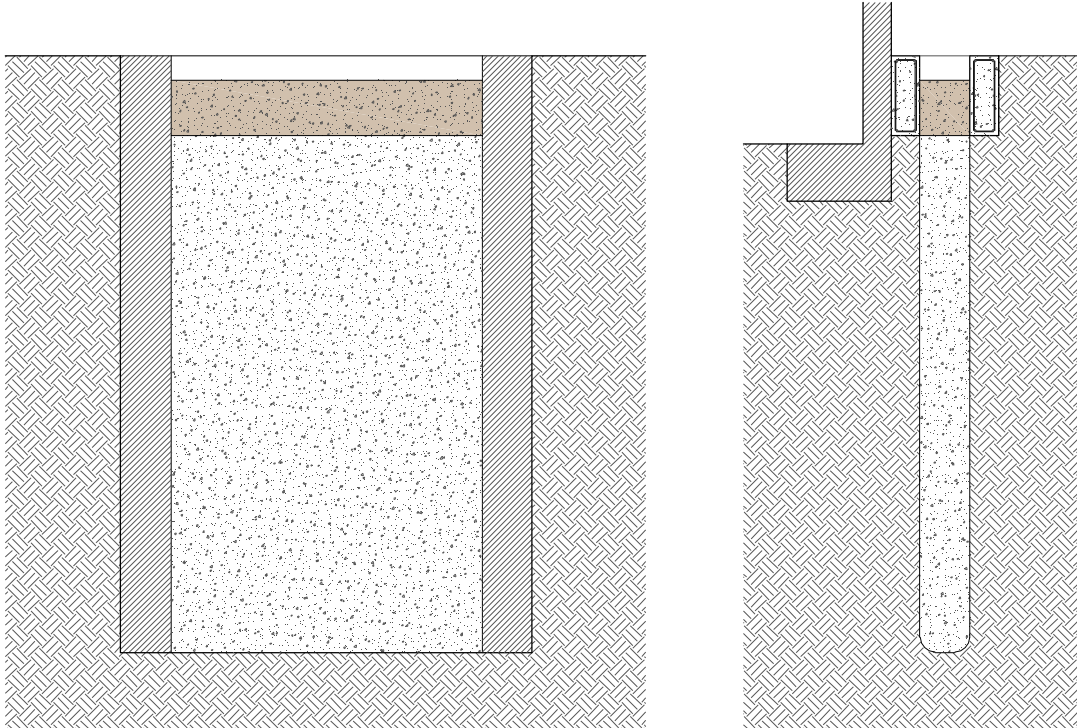
Panel normal



Panel de cierre

Tipos de paneles en función de la forma de la junta creada por requerimientos del proceso constructivo. Fuente: <<http://procedimientosconstruccion.blogs.upv.es>> [Consulta: 4 de febrero de 2014].

El hormigonado se prolongará hasta una cota superior a la prevista, de modo que el hormigón pobre, que queda en la parte superior por el arrastre de los lodos, pueda ser demolido, disponiendo una **viga de coronación** que atará todos los paneles.



Hormigonado hasta un nivel superior para posteriormente picar el hormigón contaminado con los lodos.

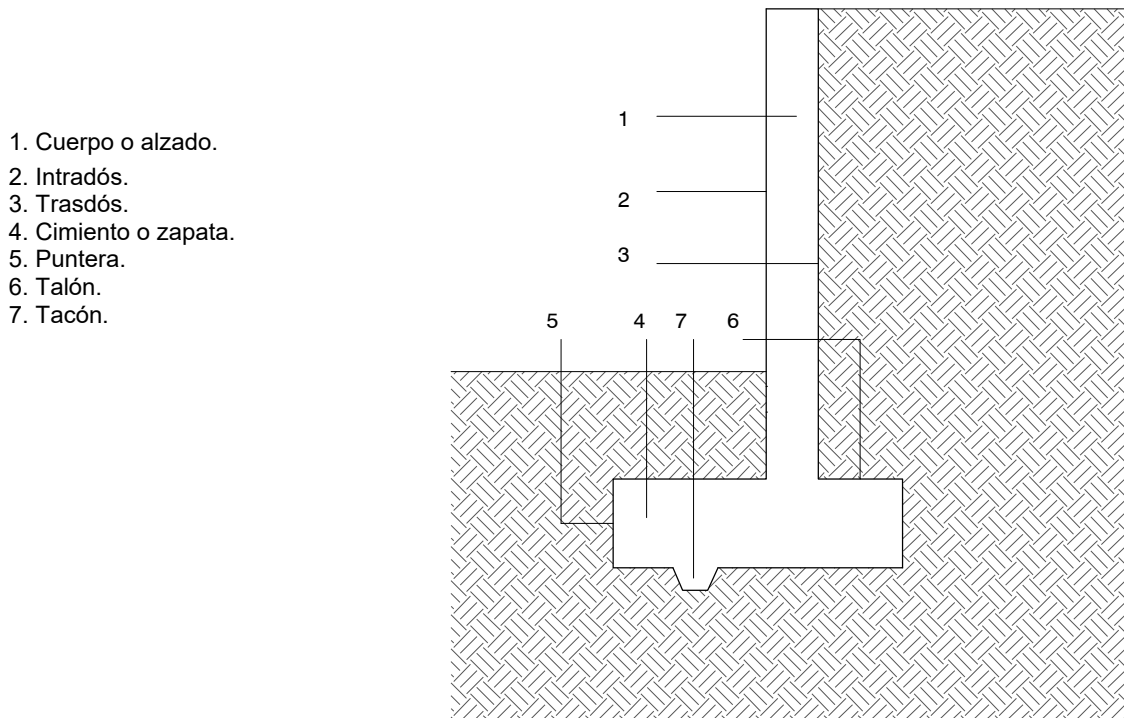


Picado del hormigón pobre y ejecución de la viga de coronación. Fuente: <<http://procedimientosconstruccion.blogs.upv.es>> [Consulta: 4 de febrero de 2014].

4.2. MUROS

Los **muros** son elementos de contención destinados a mantener una diferencia de niveles entre explanadas horizontales en el terreno, que no permitiría la resistencia del mismo sin disponer de elementos de sujeción de las tierras.

Los **elementos principales** que lo componen son el cuerpo o **alzado** del muro, elemento de contención propiamente dicho, y la **zapata**, elemento de apoyo horizontal sobre el terreno, compuesta a su vez por **puntera y talón**, que impiden el deslizamiento y el vuelco del muro debido a los empujes del terreno. En ocasiones puede disponerse de un **tacón** o resalte que ayude a minimizar los desplazamientos.

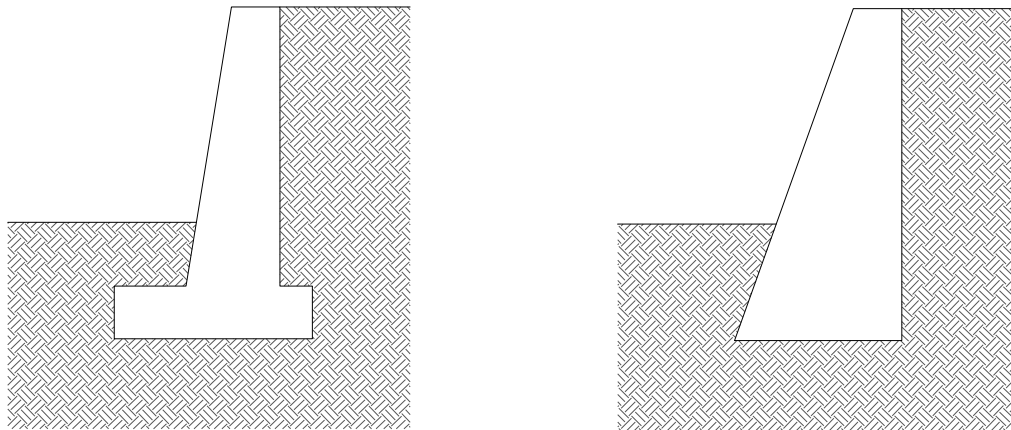


Partes principales de un muro de contención.

Según el material en que están realizados podemos distinguir entre: muros de hormigón, en masa o armado, muros de mampostería y muros de fábrica.

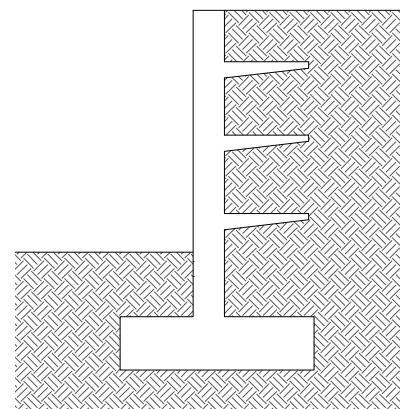
Según su función estructural, podemos distinguir entre los siguientes tipos de muros:

- **Muros de gravedad**: se trata de muros cuyas dimensiones, principalmente de un ancho considerable en relación a la esbeltez, permiten equilibrar los empujes del terreno sin que se produzcan tracciones, por lo que pueden prescindir de la colocación de armaduras. A su vez, pueden prescindir de la zapata propiamente dicha, cumpliendo las funciones de la misma la propia base del muro debido a su gran espesor. Pueden tener formas muy variadas.



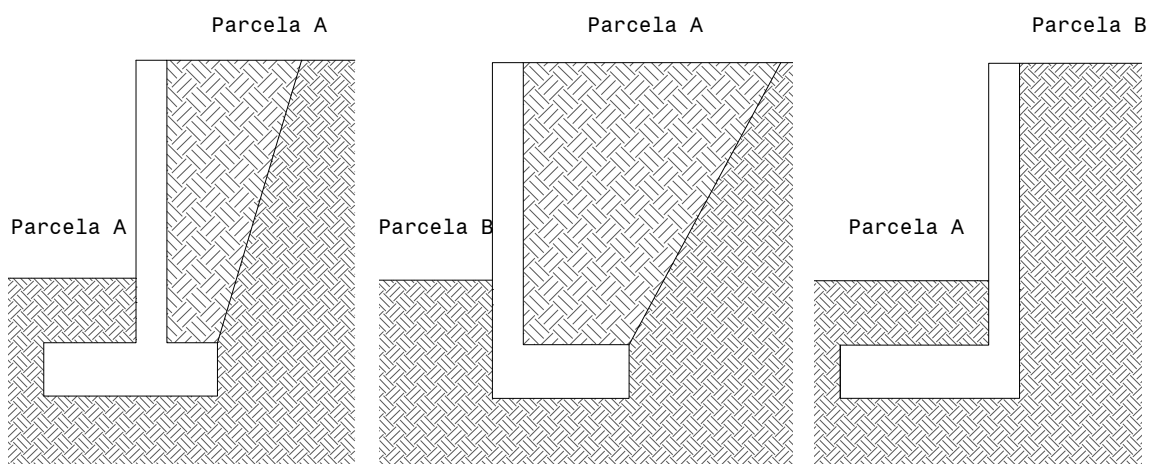
Tipos de muros de gravedad: con zapata o sin cimiento diferenciado.

- **Muros de bandeja:** son aquellos muros que disponen de placas o bandejas en ménsula en el trasdós del alzado, de modo que el peso del terreno no se transmite solamente al talón del muro, sino que se reparte entre las distintas bandejas. De este modo se alivian los empujes y se puede reducir la sección del mismo, así como permite realizar muros sin talón o con un talón muy reducido.



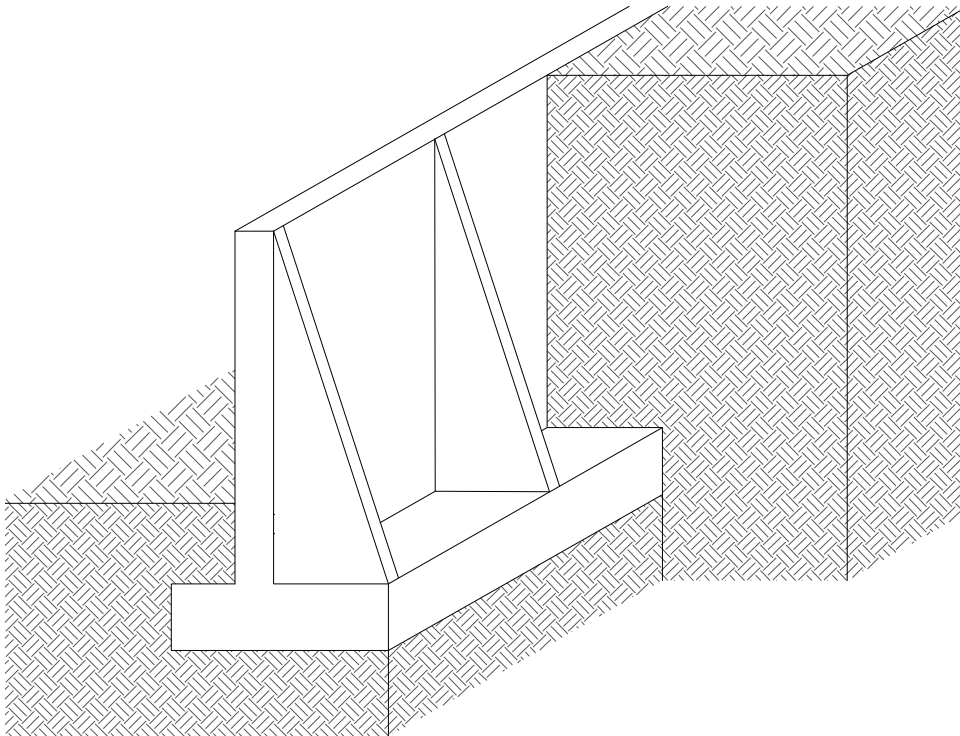
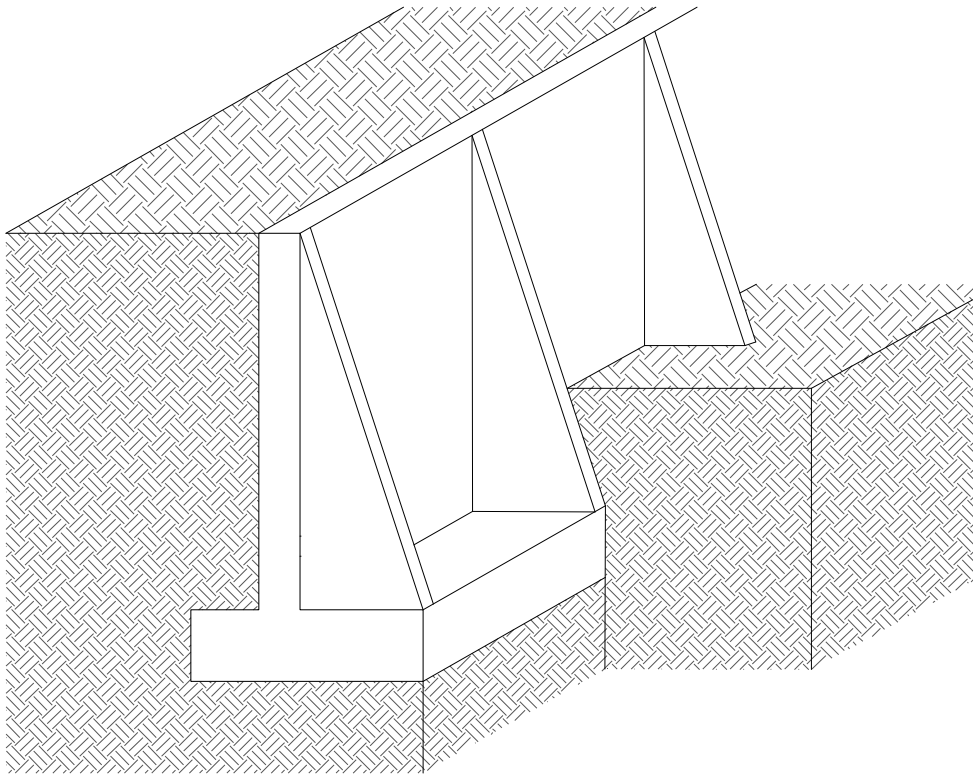
Esquema de muro de hormigón armado con bandejas en el trasdós.

- **Muros en L o en ménsula:** son muros con una sección de reducida dimensión, que disponen de una armadura, sencilla o doble, para absorber las flexiones. Se apoyan sobre una zapata que habitualmente dispone de pie y talón. En ocasiones, por condicionantes de la parcela, el edificio, etc., pueden proyectarse muros sin puntera o sin talón, siendo recomendable, siempre que sea posible, la existencia de ambos.



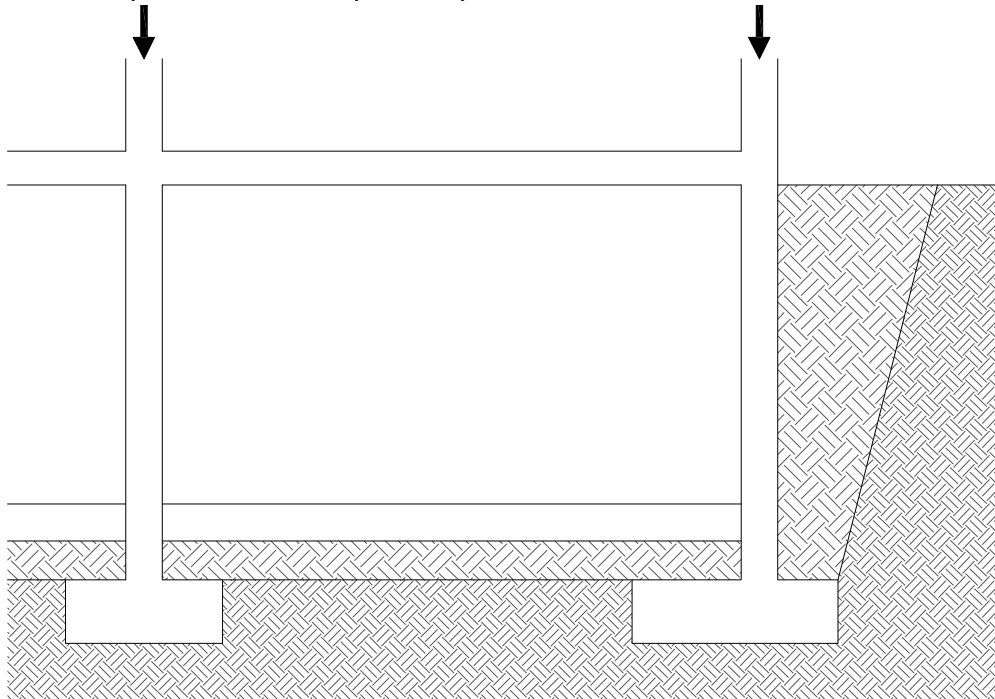
Tipos de muros de en ménsula: con puntera y talón, con puntera o con talón, en función del límite de la parcela en propiedad (A).

- Muros de contrafuertes: son una variante de los anteriores, en la que se refuerza el ancho del muro a intervalos determinados, reduciendo las flexiones y consiguiendo una orientación más favorable de los empujes. Existen dos posibilidades, que los contrafuertes se sitúen en el intradós o en el trasdós, caso en el que ejercen a modo de tirantes.



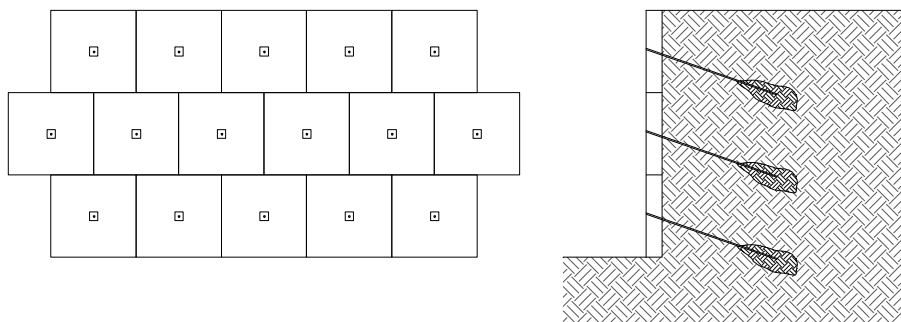
Arriba: muro con contrafuertes en el intradós. Abajo: muro con contrafuertes en el trasdós.

- Muros de sótano: son aquellos muros que ejercen de elementos de contención de tierras y a su vez reciben cargas procedentes tanto de los forjados, como de los pilares o muros de carga que descansan sobre ellos. Los forjados transmiten cargas al muro pero a su vez ejercen como elementos de arriostramiento, de modo que el muro trabaja como una losa apoyada en el cimiento en la parte inferior y en el forjado o forjados correspondientes en la parte superior.



Muro de sótano - contiene de tierras y recibe las cargas de los forjados y pórticos superiores.

- Muros de contención por bataches: son aquellos muros que se ejecutan de una manera progresiva a medida que avanza la excavación. Se trata de elementos constituidos por placas de hormigón armado de 3 x 3 m, cada una de las cuales se ancla al terreno una vez endurecido el hormigón. La excavación del batache inferior no se realizará hasta que la placa superior no se encuentre anclada. Se solaparán en sentido horizontal y vertical para dar continuidad a las armaduras. Estos muros no se empotran en el terreno en la parte interior, logrando su estabilidad exclusivamente por medio de los anclajes. No se trata por tanto de muros de sótano, ejerciendo de meros elementos de contención de tierras. Su uso estará justificado cuando se trabaje sobre el nivel freático y los anclajes no produzcan efectos negativos en las construcciones vecinas.

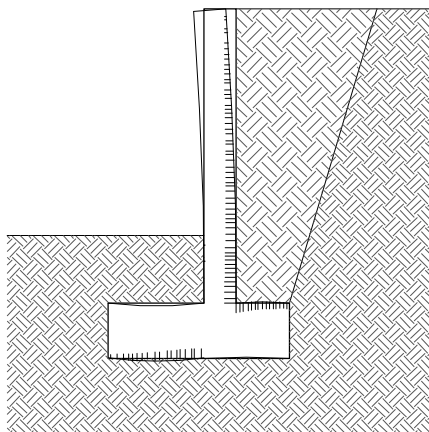


Muro de contención por bataches - muro anclado al terreno.

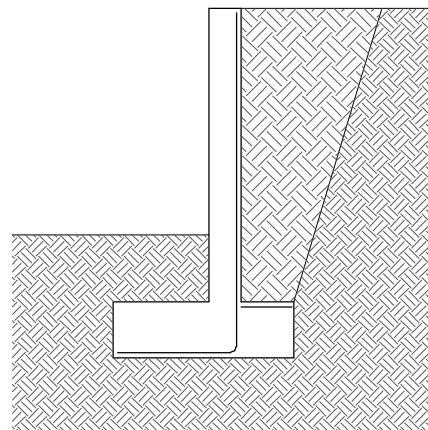


Muros de contención por bataches.

Los **esquemas de armado** de los principales tipos de muros, los muros en ménsula y los muros de sótano, son los que se muestran en las imágenes. Debemos tener en cuenta que la armadura se dispondrá en las zonas solicitadas a tracción, por lo que su ubicación atiende a las deformaciones que se producen debido a los empujes y cargas a los que se ve sometido.



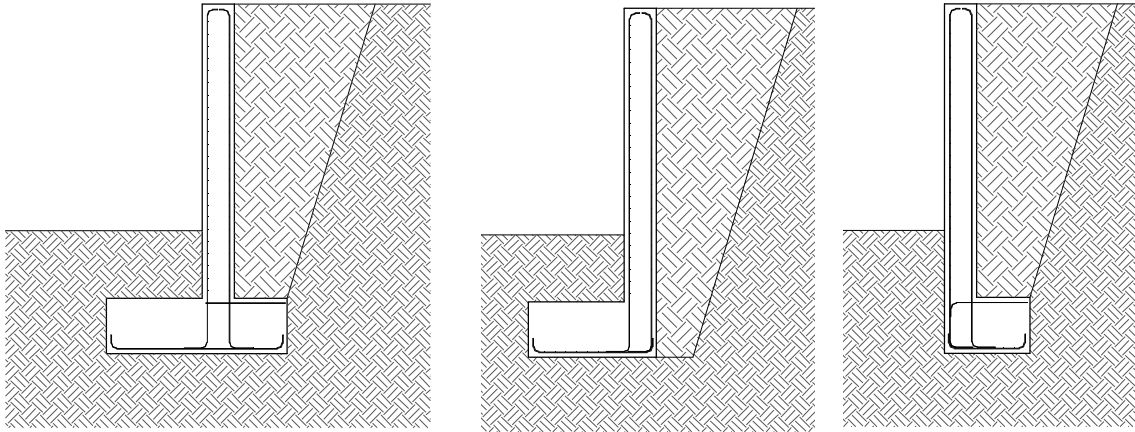
Deformada del muro



Armaduras en zonas traccionadas

Esquema de la deformada de un muro de contención y disposición de armaduras principales para absorber los esfuerzos de tracción.

Se dispondrán armaduras verticales en el trasdós del muro, con las cuantías mínimas especificadas en la EHE (Instrucción de Hormigón Estructural), que para facilitar la puesta en obra suelen recorrer toda la altura del muro, denominadas armaduras principales de tracción. Así mismo, se dispone un conjunto de armaduras horizontales con objeto de controlar la fisuración del hormigón por contracción y dilatación térmica. Por este mismo motivo, se dispondrá una cuantía mínima de armadura vertical y horizontal en el intradós del muro. Dichas armaduras solaparán, la longitud establecida por la normativa, con las armaduras en espera que sobresalen del cimiento.



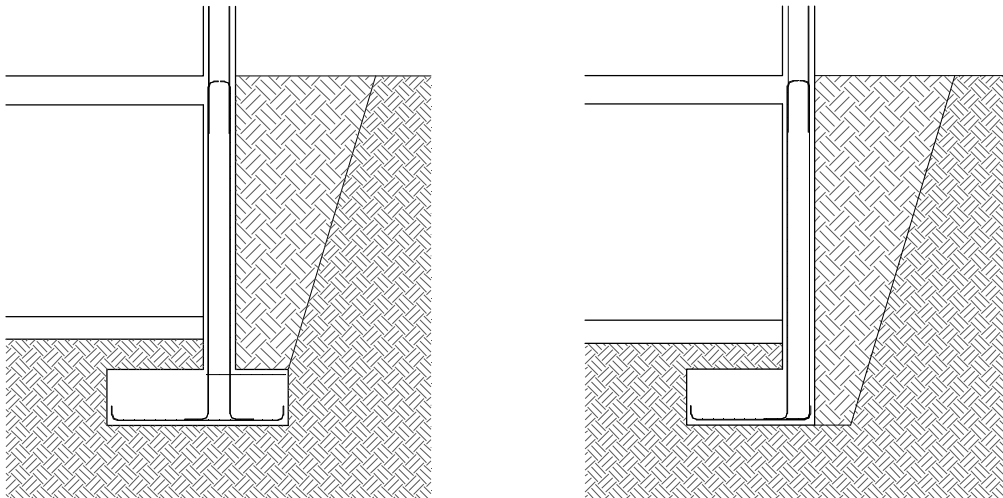
Muro con puntera y talón

Muro con puntera

Muro con talón

Esquema de armado de un muro de contención: con puntera y talón, con puntera o con talón.

En el caso de los **muros de sótano**, debemos atender al **enlace entre las armaduras del muro y de los pilares** que sobre él apoyan.



Muro con puntera y talón

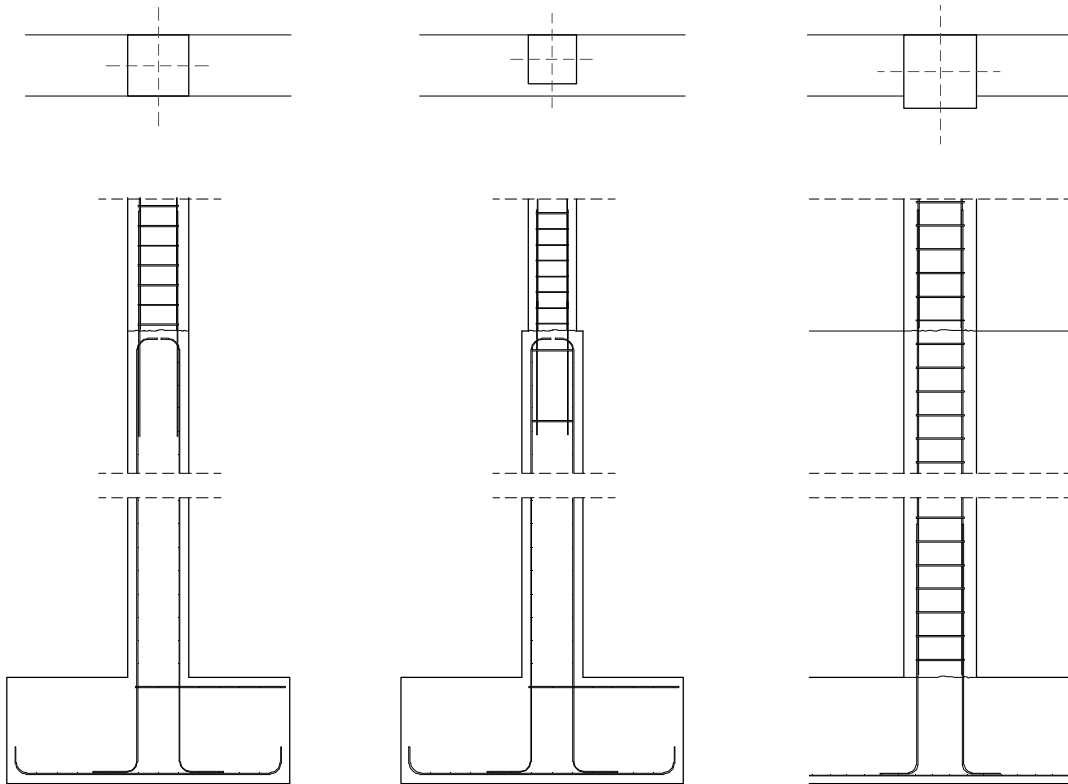
Muro con puntera

Esquema de armado de un muro de sótano: con puntera y talón o con puntera.

Podemos distinguir entre los siguientes casos básicos:

- El pilar tiene la misma sección que el muro - las armaduras en espera del pilar se embebe en el muro.
- El pilar tiene una sección menor que el muro las armaduras en espera del pilar se embebe en el muro. Es posible que sean necesarias unas armaduras auxiliares para el atado de las mismas.

- El pilar tiene una sección mayor que el muro - la armadura del pilar debe llevar hasta la cimentación.



Esquemas de unión de las armaduras de los pilares con las del muro de sótano.



Armaduras en espera del pilar sobresaliendo de la coronación del muro de sótano: disposición enrasada.



Armaduras en espera del pilar sobresaliendo de la coronación del muro de sótano: pilar de mayor sección que el muro - el pilar continua hasta la cimentación.

El **proceso constructivo** de estos muros comienza por excavar el terreno hasta una cota 20 cm por encima de la de cimentación, protegiendo el terreno de apoyo hasta el momento de proceder a la ejecución del muro. Se retirará posteriormente esta capa, procediendo a verter el hormigón de limpieza, con un espesor de unos 10 cm, tras limpiar y refinar el fondo de la excavación.



Excavación de la zanja, limpieza, refinado y vertido del hormigón de limpieza.

Se colocan entonces las armaduras sobre separadores que garanticen los recubrimientos establecidos por la normativa, apoyando sobre éstas las armaduras en espera de alzado del muro. Si la zapata dispone de talón, la armadura de la cara superior se situará apoyando sobre pies de pato.



Pies de pato para apoyo de la armadura de la cara superior.

Colocación de la parrilla de armaduras de la zapata y las armaduras en espera del muro.

Se hormigonará entonces el cimiento, quedando las armaduras en espera protegidas hasta la colocación de la armadura del alzado del muro.

Armaduras en espera del muro protegidas mediante capuchones, principalmente en las zonas de paso de los operarios.



Se coloca la armadura principal y secundaria de las dos caras del muro, de nuevo con los correspondientes separadores que garanticen los recubrimientos mínimos exigidos por la normativa.



Armatura vertical y horizontal del alzado del muro. Discos separadores que garantizan el cumplimiento del espesor mínimo de recubrimiento exigido por la normativa.

Este proceso conlleva la existencia de una **junta de hormigonado** entre el cuerpo y la base del muro, la cual podrá ejecutarse mediante la creación de un diente o resalte, proceso complicado debido a los trabajos de encofrado que conlleva, o mediante la rugosidad natural del hormigón, que no se fratasará ni alisará en superficie, cuidando únicamente que la superficie se encuentre exenta de polvo y tierra, pudiendo proceder a su regado y posterior secado.

A continuación se disponen los **encofrados** y los **topes** entre los distintos tramos del muro, que crean la junta vertical propia del proceso de ejecución. Una vez todo está dispuesto, se procede al hormigonado, quedando los encofrados perfectamente apuntalados desde el proceso de vertido y vibrado, hasta que el muro alcanza la resistencia suficiente. La posible **existencia de medianeras** puede dar lugar a que el muro no pueda ser encofrado por las dos caras, situación en que se recurrirá a una **ejecución por batches** , según procedimiento descrito en el apartado correspondiente de vaciados, hormigonando el muro contra el terreno, disponiendo únicamente de encofrado en una cara.





Encofrado del muro y apuntalamiento del mismo durante el proceso de vertido y de fraguado y endurecimiento del hormigón.

A continuación se repiten las mismas operaciones con el **siguiente tramo del muro**, asegurando la continuidad de las armaduras horizontales del alzado, mediante su atado a las esperas que sobresalen del tramo colindante.



Excavación de la zanja contigua y disposición de la nueva parrilla de armaduras del cemento.

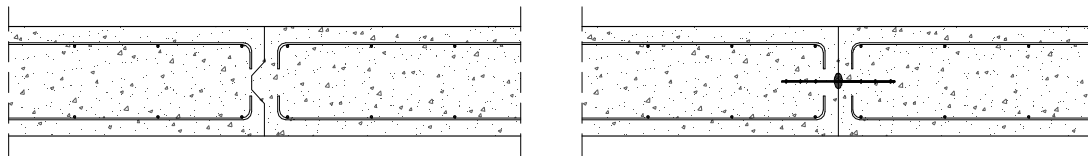


Disposición y atado de las armaduras del alzado del muro, encofrado y hormigonado.

4.2.1. JUNTAS

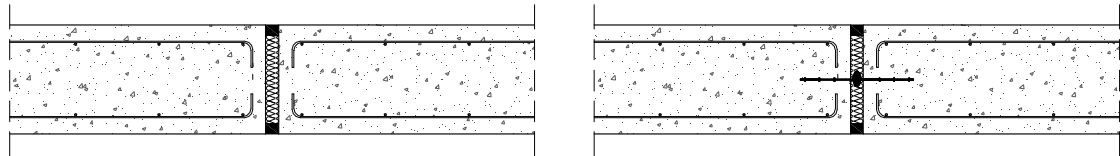
Los muros deben disponer de **juntas** que permitan la libre retracción del hormigón, así como juntas de dilatación que permita la libre dilatación o contracción del muro en función de la variación de la temperatura:

- Se dispondrán **juntas de retracción**, delimitando el plano de rotura, a distancias comprendidas entre 8 y 12 m. La solución habitual en casos que requieran un grado de impermeabilidad bajo según el CTE DB HS Sección 1, cuando el nivel freático se sitúa a 2 o más metros por debajo del muro, será la de disponer un diente de conexión. Si se requiere un grado de impermeabilidad medio-alto, cuando el nivel freático se encuentra entre dos metros por debajo o por encima del nivel de la base del muro, se dispondrá una banda elastomérica, de neopreno, caucho o PVC flexible, embebida en ambos lados, creando una junta totalmente estanca.



Juntas verticales de retracción entre los distintos tramos de muro. Nota: ver imágenes superiores.

- Las **juntas de dilatación** se dispondrán en los cambios de sección o altura del muro, y cuando existan singularidades como escaleras, rampas, etc. Las distancias no serán superiores a 30 m, recomendándose que no se dispongan a más de 3 veces la altura del muro. Tendrán un espesor entre 2-4 cm y se rellenarán de material compresible (poliestireno expandido), simplemente sellado en los extremos, si el grado de impermeabilidad exigible es bajo, o con banda elástica embebida, si se requiere una junta estanca.



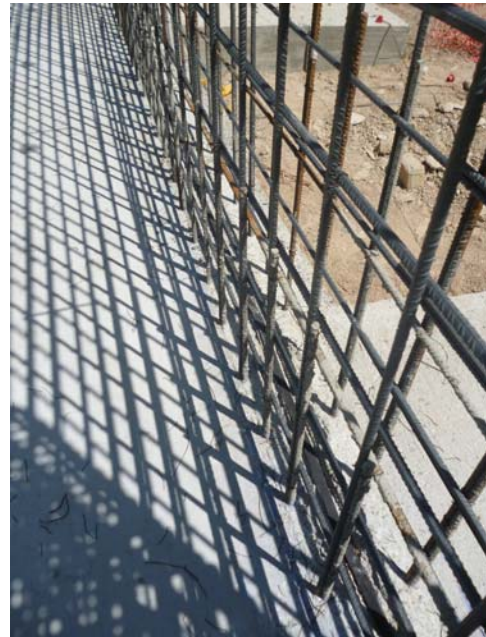
Juntas verticales de dilatación entre los distintos tramos de muro.

Se debe **evitar el paso de armaduras** a través de las juntas. En caso de que sea necesario, las armaduras se proyectarán como pasadores lubricados, sin anclajes ni dobleces que puedan impedir la libertad de movimiento.

En el **encuentro** del cuerpo del muro **con la zapata corrida** se dispondrá de un **cordón hidroexpansivo** (tipo bentonita de sodio).



Disposición de cordón de bentonita de sodio en el encuentro del muro con la zapata.



4.2.2. IMPERMEABILIZACIÓN

En función del tipo de muro y del grado de impermeabilidad exigible, el CTE determina el tipo de impermeabilización a aplicar, en función de si se actúa sobre la cara interior o exterior del muro (tabla 2.2 CTE DB HS Sección 1).

Se distinguen básicamente dos **tipos de impermeabilización**:

- **impermeabilización discontinua** a base de **láminas impermeabilizantes**.
- **impermeabilización continua**:
 - **aplicación directa de productos líquidos**, como resinas sintéticas, polímeros acrílicos, caucho acrílico o resinas acrílicas, por la cara exterior del muro.
 - **revestimientos hidrófugos**, como una capa de mortero o de cartón yeso no higroscópico, una lechada de cemento, etc.

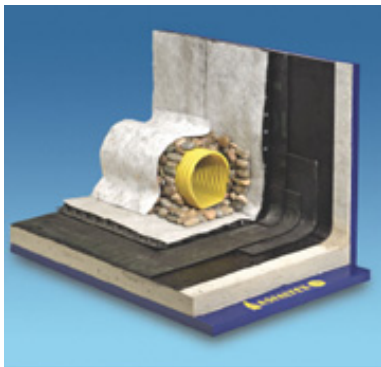
En los muros pantalla la impermeabilización se consigue con la utilización de lodos bentoníticos.

4.2.2.1. LÁMINAS IMPERMEABILIZANTES

En función Se trata de uno de los sistemas más empleados de impermeabilización de muros, mediante láminas suministradas en rollos, que se pueden disponer, **solapadas** entre sí al menos **10 cm**, tanto en la cara interior como en la cara exterior del muro. Se colocarán sobre el muro seco, sin rebabas ni resaltes que supongan riesgo de punzonamiento. Se cuidará así mismo el posible contacto con materiales químicamente incompatibles.

Existen dos **formas de colocación**:

- **adherida**: se aplicará una imprimación previa al soporte y se dispondrán a continuación las láminas, con **solapes mínimos de 10 cm** y doblados en los encuentros, adheridas posteriormente mediante aplicación de calor, creando la membrana impermeabilizante. Dispondrá en su cara exterior de una **capa antipunzonamiento** que podrá ser sustituida por una lámina drenante. Si la impermeabilización va por el interior, se dispondrán bandas de refuerzo en los cambios de dirección.



Elementos componentes de una membrana impermeabilizante adherida, con refuerzo en las esquinas y protegida mediante fieltro geotextil. Disposición de tubo dren en la base. <www.picstopin.com> [Consulta: 18 de febrero de 2014].

Elementos componentes de una membrana impermeabilizante adherida, protegida con lámina drenante. <www.hospitaldecaceres.es> [Consulta: 18 de febrero de 2014].

- no adherida o fijada mecánicamente: se sellarán en este caso únicamente los solapos. Dispondrá de una **capa antipunzonamiento** tanto en su cara interior como exterior, pudiendo sustituir esta última por la lámina drenante.



Membrana impermeabilizante a base de mantas de bentonita de sodio, solapadas y fijadas mecánicamente. <eding.generadordeprecios.info> [Consulta: 18 de febrero de 2014].

4.2.2.2. PRODUCTOS LÍQUIDOS APLICADOS IN SITU

Se trata de **pinturas impermeabilizantes** que requieren de una capa protectora constituida por un **fieltro geotextil o una capa de mortero** reforzado con un ligero mallazo. Esta capa protectora podría ser sustituida por una lámina drenante.

Las **soluciones más habituales** son:

- revestimientos de resinas sintéticas: como las acrílicas, epoxídicas, poliuretanos, etc. Se aplicarán sobre el paramento limpio, con temperaturas entre los 5-35°C, tras realizar un tratamiento previo de las fisuras de espesor superior a 100 µm. Se aplican en varias capas, a intervalos de 6 horas, hasta conseguir un espesor total no mayor de 1 mm.
- polímeros acrílicos: se colocarán sobre un soporte limpio, seco y carente de grasas. Se aplicarán en varias capas, a intervalos de 12 horas, alcanzando un espesor no mayor que 100 µm.
- caucho acrílico y resinas acrílicas: requiere un soporte limpio, seco y carente de lechadas superficiales.



Impermeabilización de muros mediante productos bituminosos en pasta. <www.diasen.com> [Consulta: 18 de febrero de 2014].

4.2.2.3. REVESTIMIENTO DE MORTERO HIDRÓFUGO

Utilizados principalmente en reparación y rehabilitación, impermeabilizando desde el interior, con el inconveniente de trabajar con presión negativa (la presión del agua tiende a despegar el producto). Requiere que el soporte esté limpio y que la temperatura supere los 0°C en el momento de su aplicación y durante las 24 horas posteriores. Se aplicará en 4 capas de espesor uniforme, cuyo espesor total no supere los 2 cm. En los encuentros, las capas del revestimiento se solaparán al menos 10 cm.



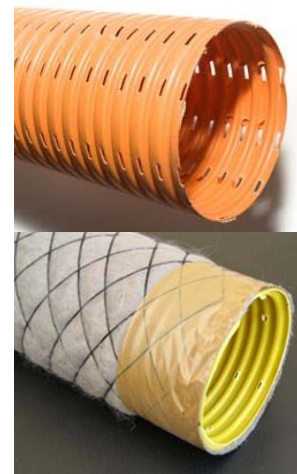
<www.construmatica.com> [Consulta: 18 de febrero de 2014].

4.2.3. DRENAJE

Junto a los sistemas de impermeabilización de muros, la normativa establece los **sistemas complementarios de drenaje y evacuación de aguas**, que suponen la primera barrera contra la humedad procedente del terreno. Su misión consiste en captar, canalizar y evacuar convenientemente el agua procedente de las precipitaciones, riegos, fugas cercanas, etc. Se puede disponer: un filtro de gravas, una lámina drenante, una fábrica de bloques de arcilla u hormigón poroso o cualquier otro material que produzca el mismo efecto, pozos drenantes o tubos drenantes.

4.2.3.1. DRENAJE DE GRAVAS

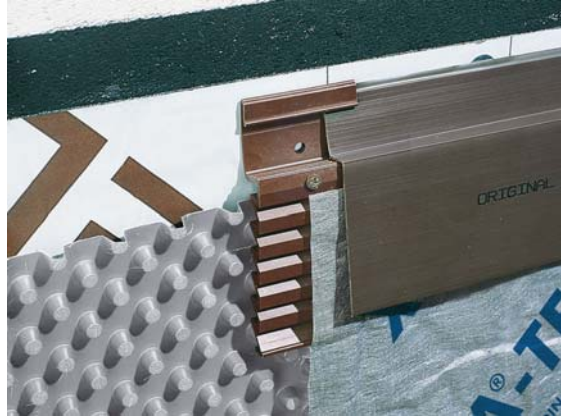
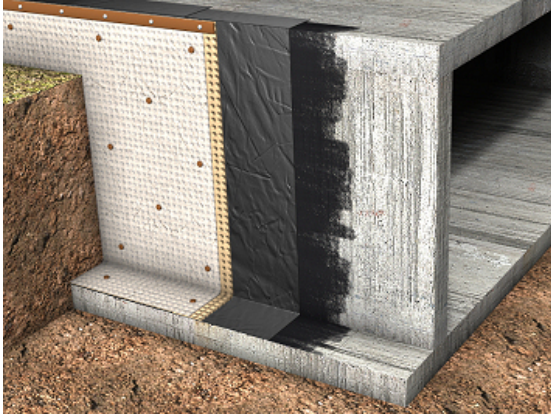
Se trata de disponer una zanja junto al muro rellena con material seleccionado, gravas de tamaño determinado, que disminuye su diámetro a medida que se acerca a la superficie, disponiendo en la base del muro de un tubo drenante de recogida del agua filtrada, conectado directamente con la red de saneamiento. Si los diámetros no fuesen los adecuados, se protegerá la tubería con un geotextil que actúe de filtro, evitando la colmatación del dren.



Drenaje de gravas en un muro de sótano. <www.generadordeprecios.info> [Consulta: 18 de febrero de 2012]. Tubo dren. <www.agromatica.es> [Consulta: 18 de febrero de 2012]. Tubo dren con geotextil incorporado. <www.projar.es> [Consulta: 18 de febrero de 2012].

4.2.3.2. LÁMINA DRENANTE

Se trata de **láminas nodulares de polietileno de alta densidad** que pueden incorporar geotextiles superpuestos, actuando como dren y como filtro de forma simultánea. Se sujetan al muro mediante **fijaciones mecánicas** y se rematan en la parte superior con un **perfil metálico**.



Drenaje de muro con lámina nodular. <www.generadordeprecios.info> [Consulta: 18 de febrero de 2012]. Remate superior con perfil metálico <www.archiexpo.es> [Consulta: 18 de febrero de 2014].





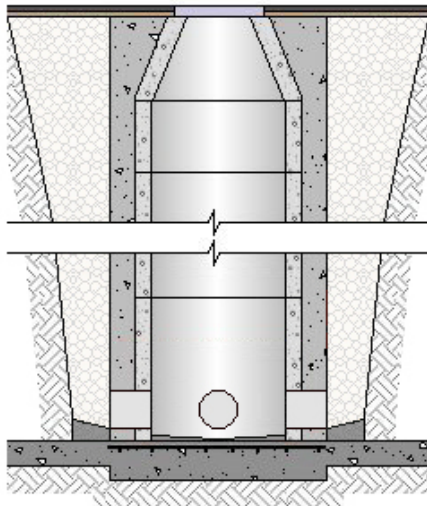
Drenaje de muro de sótano con lámina nodular con geotextil incorporado en la cara exterior en contacto con el terreno.

4.2.3.3. FÁBRICA DE BLOQUES

Se coloca en este caso un muro de **bloques de arcilla u hormigón poroso** junto al muro de contención o de sótano, que actúa de pared drenante, captando el agua y conduciéndola hasta un tubo de drenaje colocado en su base, que conectará a su vez con la red de saneamiento. Este sistema tiene la ventaja de **favorecer la evaporación de la humedad y la ventilación** del muro a través de su **cámara de aire** interior.

4.2.3.4. POZOS DRENANTES

Tienen la misma función que los sistemas anteriores, pero no se trata ahora de un sistema de **drenaje continuo**, sino que se colocan pozos a **distancias no superiores a 50 m**, con un **diámetro mínimo de 0,7 m**, con una capa filtrante a su alrededor que evite el arrastre de finos y dos bombas de achique para conducir el agua hasta la red de saneamiento. Puede tratarse de pozos realizados **in situ** o de pozos **prefabricados**, de hormigón o de polietileno de alta densidad.



Pozos drenantes prefabricados, de hormigón y de polietileno de alta densidad. <www.generadordeprecios.info> [Consulta: 18 de febrero de 2012].

TEMA 2 - CIMENTACIONES

1. CONCEPTOS GENERALES

La **cimentación** es la parte de la estructura encargada de transmitir las cargas que soporta la totalidad de la edificación al terreno, de modo que no rebase la capacidad portante del mismo que, salvo casos excepcionales, suele ser muy inferior a la de la estructura. Los cimientos dispondrán de un área en planta muy superior a la suma de las áreas de los restantes elementos de transmisión de cargas verticales (pilares y muros portantes), asegurando de este modo que las deformaciones producidas en el terreno puedan ser absorbidas por la estructura.

Los requisitos fundamentales de una buena cimentación son los siguientes:

- La **profundidad** de la cimentación alcanzará un nivel en el que se encuentre **libre de los efectos de:**

- las **heladas**, debidas a cambios bruscos de temperatura, previniendo la alteración o disgregación del cemento por el aumento del volumen del agua contenida en su interior.
- los **cambios de volumen del suelo**, principalmente en aquellos que contienen arcillas expansivas, que experimentan un hinchamiento con el aumento del contenido de humedad debido a los ciclos estacionales del agua, al riego de vegetación abundante en las inmediaciones o a la rotura de conducciones de agua cercanas.
- los **cambios de nivel de la capa freática**, que puede producir el lavado y arrastre de las partículas finas del terreno, variando su compacidad y aumentando el riesgo de sufrir asientos no admisibles.
- **futuras excavaciones** que puedan descalzar el cemento o variar el contenido de humedad del terreno circundante. De existir cimentaciones colindantes, es conveniente disponerlas a la misma profundidad. De no ser viable, se tomarán las precauciones necesarias, reduciendo al mínimo imprescindible el tiempo de exposición de la excavación. Como norma general, nos alejaremos en la medida de lo posible de las construcciones contiguas.

- Serán **dimensionadas** de modo que su superficie asegure que las cargas transmitidas al terreno no superan la **capacidad portante** del mismo, carga máxima que es capaz de soportar sin que se produzca su rotura o conlleve asientos no admisibles por la estructura que descansa sobre el mismo. Los **asientos admisibles** son aquellos asientos totales o diferenciales que puede soportar la estructura, junto a los forjados y elementos de compartimentación, sin que se produzcan daños incompatibles con el uso y servicio de la misma ni, en caso extremo, su rotura.

2. TIPOLOGÍAS

Las cimentaciones se clasifican fundamentalmente en dos tipos:

- **Directas o superficiales:** son aquellas cimentaciones que reparten las cargas transmitidas por la estructura en un plano de apoyo horizontal, que habitualmente se encuentra a poca profundidad bajo la superficie. Dicha profundidad suele oscilar entre los 0,5 y 4 m, en torno a 4 veces la dimensión menor del cimiento. Es el tipo de cimentación preferente siempre que las condiciones resistentes del terreno lo permitan.
- **Profundas:** son aquellas cimentaciones cuyo extremo inferior se encuentra muy por debajo de la superficie del terreno, a una profundidad superior a 8 veces su diámetro o ancho. Su uso está restringido a aquellas situaciones en que una cimentación directa no sea técnicamente viable.

2.1. CIMENTACIONES DIRECTAS

El **CTE** contempla actualmente los siguientes tipos de cimentación directa o superficial:

2.1.1. ZAPATA AISLADA

Es el tipo de cimiento utilizado como base estructural de **pilares aislados**. Su función es ampliar la superficie de apoyo de este elemento, de modo que las cargas puedan ser transmitidas al terreno firme sin superar su capacidad portante.

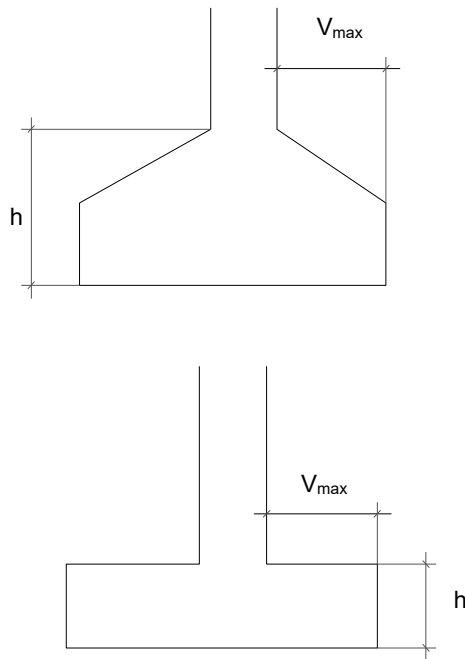
Existen tres tipos básicos de zapatas aisladas:

- **Zapatas interiores o centradas:** configuran el apoyo para los pilares interiores de la edificación. Tendrán preferentemente **planta cuadrada**, debido a su facilidad constructiva y a la sencillez de la forma de trabajo, admitiéndose la **planta rectangular**:

- cuando la luz entre crujías en dos sentidos perpendiculares sea distinta.
- cuando se vea sometida a momentos flectores en una determinada dirección.
- cuando los pilares que apoyan sobre las mismas tengan sección rectangular.
- cuando se trate de un pilar doble separado por una junta de dilatación.
- en los casos especiales de difícil geometría.

Desde el punto de vista **estructural**, según las prescripciones del **Código Estructural**, las zapatas aisladas se clasifican en:

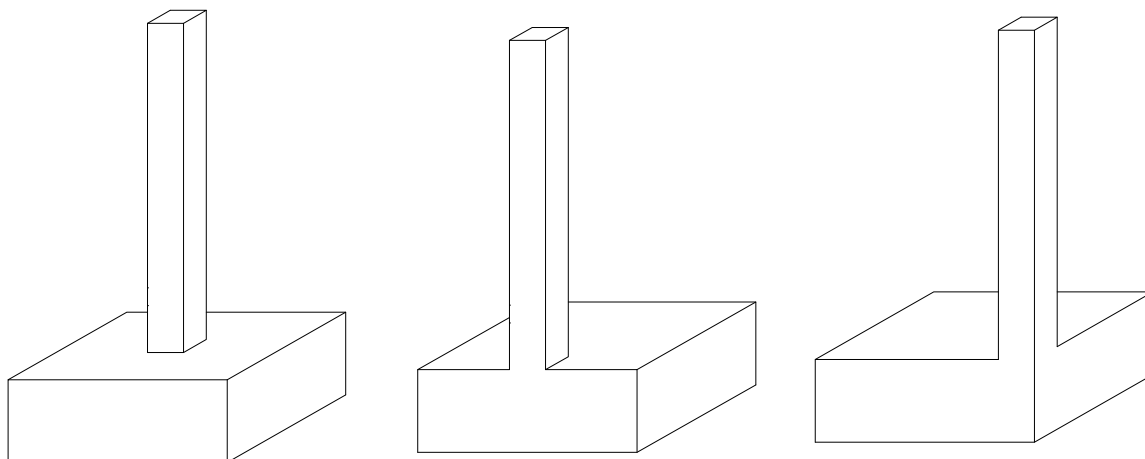
- **rígidas:** son aquellas zapatas cuyo vuelo (v), en la dirección de mayor longitud en planta, sea menor o igual, simplificando que dos veces el canto (h), $v \leq 2h$.
- **flexibles:** aquellas zapatas que cumplen el caso contrario, $v > 2h$.



Concepto de rigidez estructural de las zapatas aisladas. Esquemas basados en el CTE DB SE-C Cimientos, pg. SE-C-20. Imagen de una zapata rígida corrida.

- **Zapatas de medianería:** son los cimientos que dan base a los pilares situados en los lindes de la propiedad en que se construye el edificio, situados en el borde de la parcela, denominada medianera. Tendrán **planta rectangular**, con el lado de mayor dimensión paralelo a la medianera, situándose el pilar en su borde.

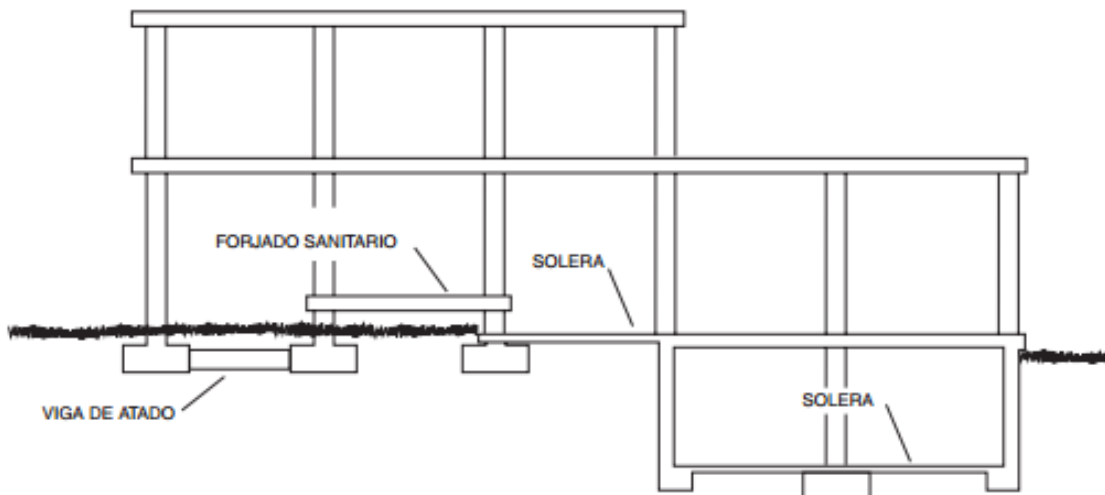
- **Zapatas de esquina:** son aquellas que cimientan los pilares situados en las esquinas de la parcela, en el encuentro entre dos medianeras o entre una medianera y el linde con la vía pública. Tendrán preferentemente **planta cuadrada**.



Esquema de zapata interior, de medianería y de esquina.

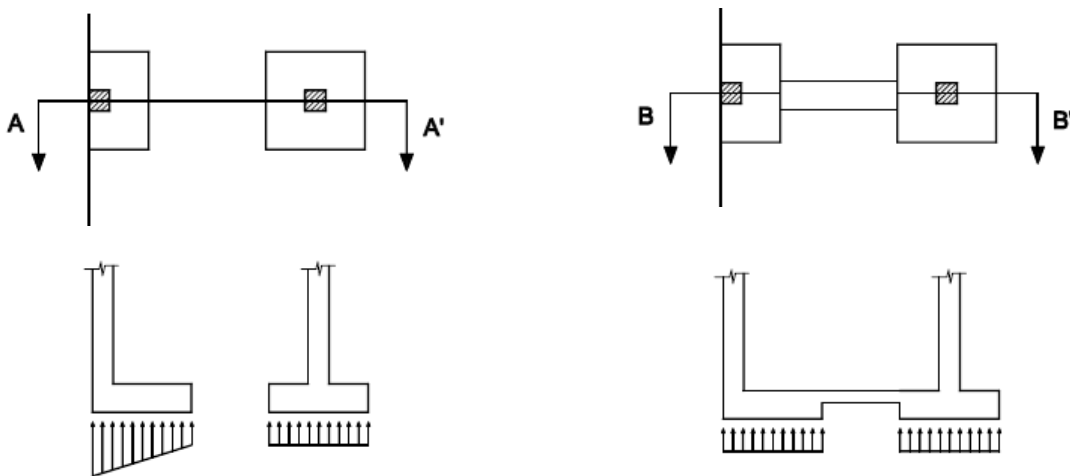
El conjunto de **zapatas aisladas** que configura la cimentación de un edificio deberá ir unido entre sí con el objetivo de evitar desplazamientos laterales independientes. La **Norma de Construcción Sismorresistente NCSE-02** establece que **cada uno de los elementos de la cimentación debe ir enlazado con los elementos contiguos**, al menos en dos direcciones. El atado se efectuará del siguiente modo:

- Si la aceleración sísmica correspondiente a la zona geográfica es inferior a $0,16g$ ($ac < 0,16g$), se considera que la **solera** es un **elemento de atado** suficiente, siempre que se disponga al nivel de las zapatas o apoyada en su cara superior y tenga un espesor no menor de 15 cm ni de $1/50$ la luz entre pilares.
- Si $ac \geq 0,16g$, las zapatas deberán ir unidas unas a otras mediante **vigas de atado** de hormigón armado, denominadas también vigas riostras o zunchos de atado.



Elementos de atado de las zapatas aisladas, Figura 4.3, Norma de Construcción Sismorresistente: Parte General y Edificación (NCSR-02). BOE nº244, 11 de octubre de 2002, pp. 44.

Por otro lado, las **zapatas de medianería y de esquina** que sufren grandes excentricidades se deben unir a otras zapatas contiguas mediante **vigas centradoras** que absorban los momentos aplicados por los muros o pilares y redistribuyan las cargas y presiones sobre el terreno.

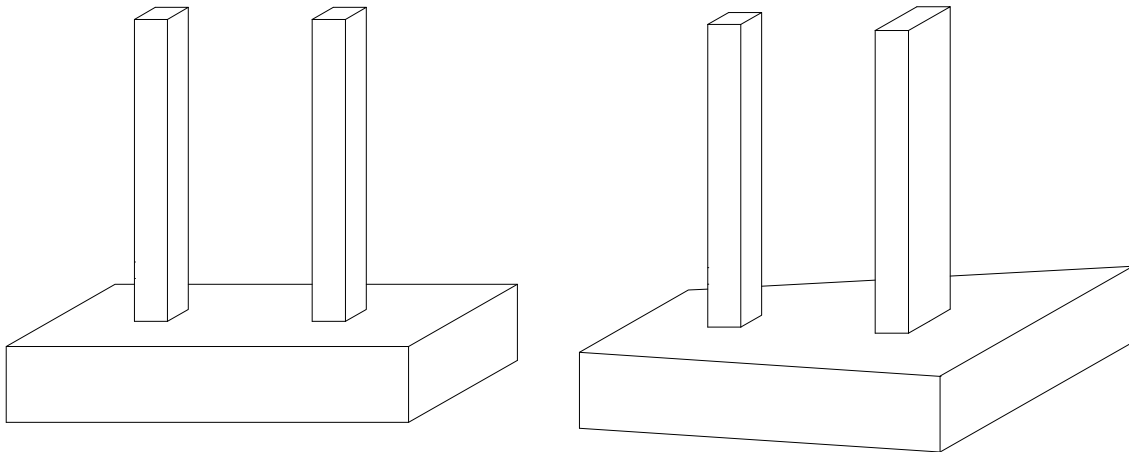


Zapatas de medianería, en CTE DB SE-C Cimientos, pg. SE-C-21.

2.1.2. ZAPATA COMBINADA

Es el tipo de cimentación que **sirve de apoyo a 2 pilares contiguos**, próximos entre sí, de modo que el cálculo daría lugar a zapatas aisladas muy cercanas o incluso solapadas.

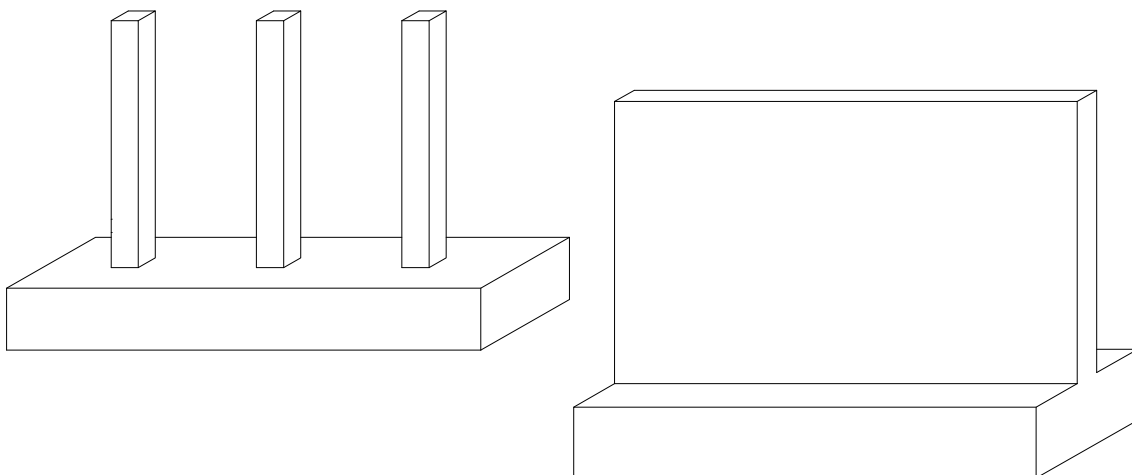
Habitualmente tienen una **planta rectangular**, con un ancho constante, de modo que la resultante de las cargas de los dos pilares coincide con el centro de gravedad de la zapata. En ocasiones pueden resultar convenientes otras formas irregulares, como la **planta trapezoidal**, pero se evitará en la medida de lo posible debido a que complica mucho la ferralla, siendo necesarias armaduras de longitud variable.



Possible morfología en planta de las zapatas combinadas: planta rectangular o trapezoidal.

2.1.3. ZAPATA CORRIDA

Se caracteriza por tratarse de un cimiento que **da base a muros de contención y de sótano, o a alineaciones de 3 o más pilares**. Se caracteriza por predominar la dimensión longitudinal respecto a la transversal.



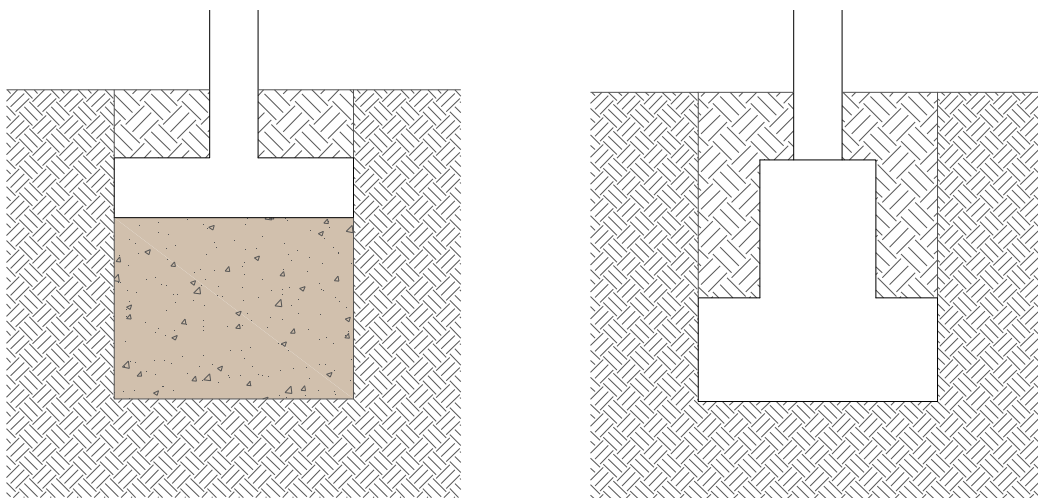
Zapata corrida bajo pilares: alineación de tres o más pilares; o bajo muro.

2.1.4. POZO DE CIMENTACIÓN

Se trata de una zapata aislada situada a una profundidad más elevada que la habitual, por lo que tradicionalmente han sido clasificados dentro de las llamadas **cimentaciones semiprofundas**.

Los pozos más habituales en edificación suelen ser de dos tipos:

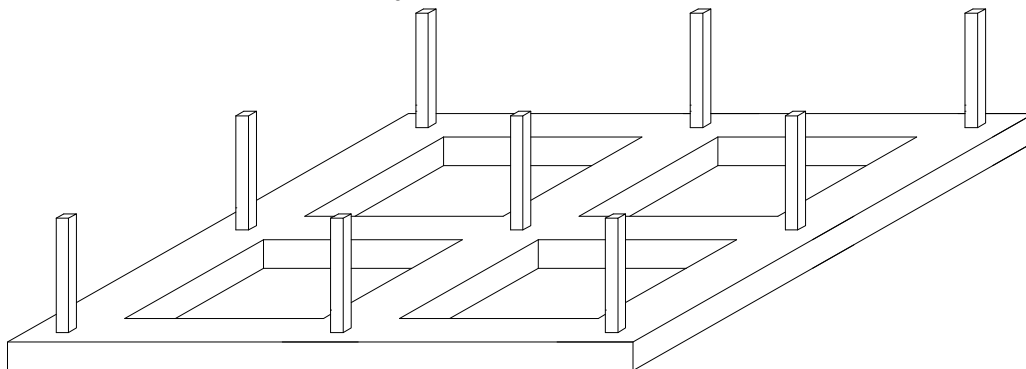
- El primero dispone un **relleno de hormigón** pobre desde la cota del firme hasta una profundidad intermedia, donde se sitúa realmente la **zapata**, que transmite las cargas hasta el terreno resistente a través del dado de hormigón en masa.
- El segundo tipo sitúa la **zapata** propiamente dicha apoyando en la cota del firme, disponiendo sobre ella un **plinto** o pedestal de gran rigidez que alcanza la cota del encuentro con el pilar.



Tipos de pozos de cimentación, en CTE DB SE-C Cimientos, pg. SE-C-22.

2.1.5. EMPARRILLADOS

Se trata de un sistema de cimentación superficial única para todos los pilares de la edificación, consistente en un conjunto de **zapatas corridas entrecruzadas entre sí**.

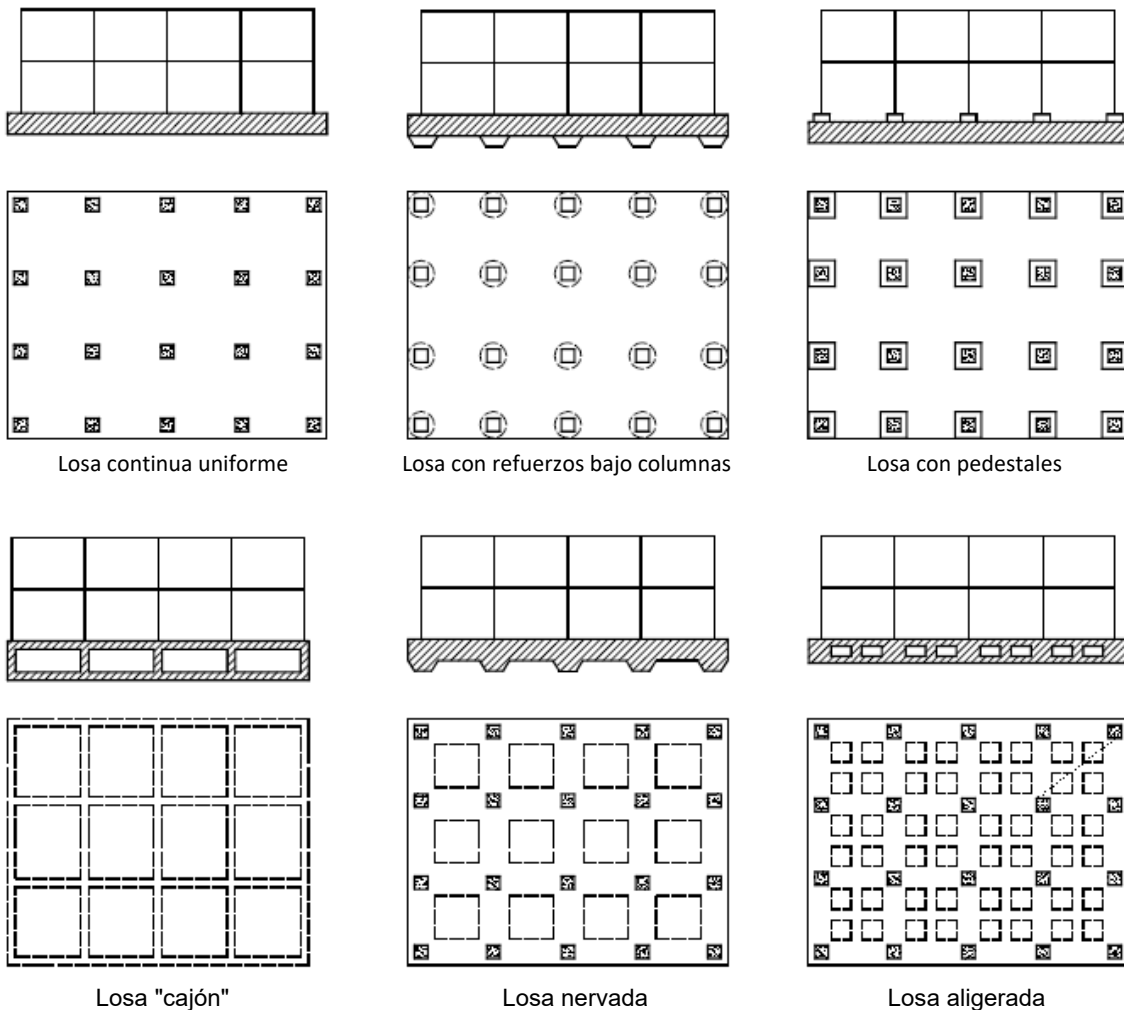


Esquema de cimentación mediante emparrillado.

2.1.6. LOSAS

Se trata de una **cimentación continua** para todo el conjunto de pilares y muros, que ocupa toda la planta del edificio, distribuyendo las cargas uniformemente al terreno resistente.

Existen diferentes tipos de losa: continua y uniforme, con refuerzos bajo pilares, con pedestales, con sección en cajón, nervada y aligerada.

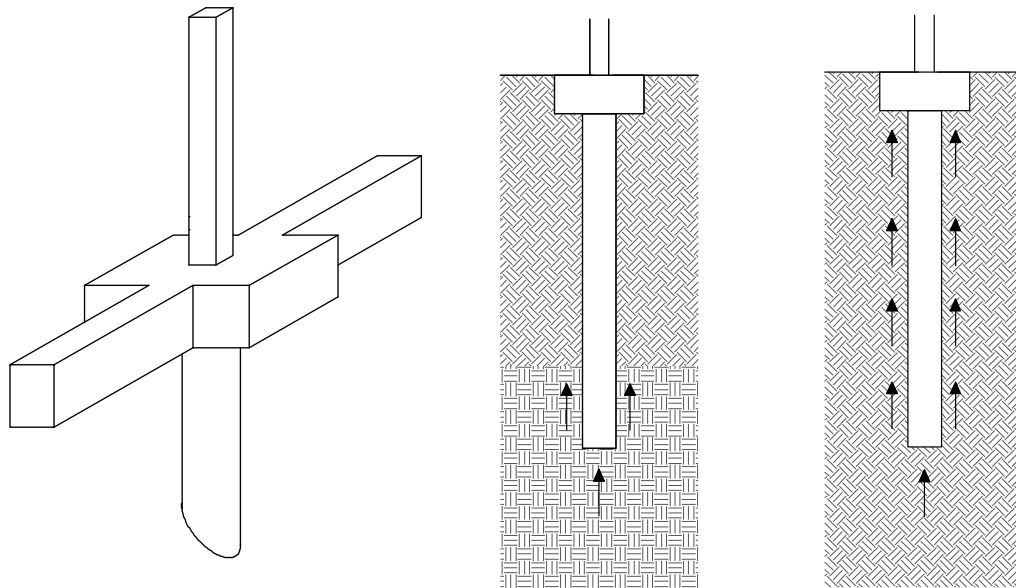


Tipos de losas de cimentación, en CTE DB SE-C Cimientos, pg. SE-C-22.

2.2. CIMENTACIONES PROFUNDAS

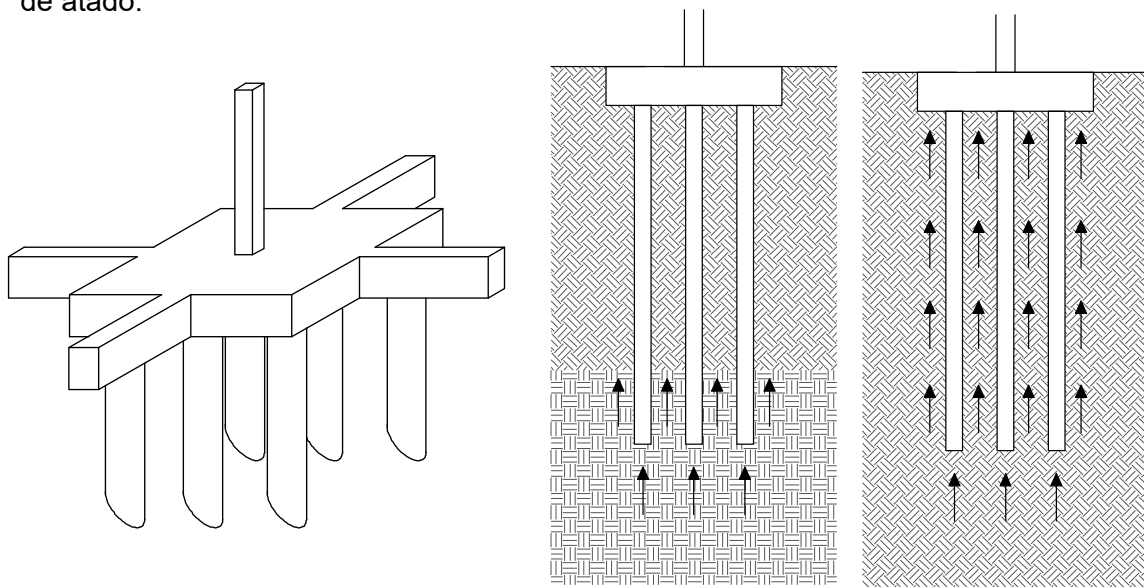
Las cimentaciones profundas están constituidas por elementos de gran longitud respecto a su sección denominados **pilotes**. Se pueden clasificar de forma general en los siguientes tipos:

- **pilote aislado:** aquel cuya distancia a otros pilotes colindantes es suficiente como para que **no** haya una **interacción geotécnica** entre los mismos.



Esquema básico de encepado y formas de trabajo de un pilote aislado.

- **grupo de pilotes:** aquellos pilotes cuya proximidad hace que interaccionen entre sí o están unidos mediante elementos estructurales rígidos, denominados encepados, asegurando una **forma de trabajo conjunta**. Los **encepados** son unas piezas prismáticas de hormigón que unen las cabezas de los pilotes pertenecientes a un mismo grupo. Sirve de base al pilar que descansa sobre él como si se tratase de una zapata aislada, ejerciendo de elemento de transición entre la estructura y el pilotaje, repartiendo uniformemente las cargas del pilar a los diferentes pilotes del grupo. A su vez, configura el elemento de conexión entre la cimentación y las vigas centradoras o de atado.



Esquema básico de encepado y formas de trabajo de un grupo de pilotes.

- **zonas pilotadas**: aquellas en que se disponen pilotes **espaciados regularmente** o situados en puntos estratégicos, con el fin de reducir asentamientos o mejorar la resistencia del terreno frente al hundimiento.

- **micropilotes**: conformados por una armadura metálica a base de tubos, barras o perfiles introducidos dentro de un taladro de pequeño diámetro. Pueden estar reforzados mediante inyección de lechada de mortero a elevada presión.



Cimentación por micropilotaje. Fuente: <www.perfonubal.com> [Consulta: 1 de marzo de 2015].

Otras posibles clasificaciones atienden a los siguientes criterios:

2.2.1. POR LA FORMA DE TRABAJO

Según la forma de trabajo los pilotes se clasifican en:

- **pilotes por fuste**: son aquellos en que la **carga** recibida es **transmitida** al terreno **por el rozamiento con el fuste** del pilote. Son utilizados en aquellos terrenos en que no existe un estrato de resistencia claramente superior al resto. Son denominados también **pilotes flotantes**.

- **pilotes por punta**: son aquellos que transmiten las cargas principalmente por punta, al encontrarse **hincados en un estrato de mayor resistencia** situado a una determinada profundidad. Son denominados también **pilotes columna**.

2.2.2. POR EL PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO

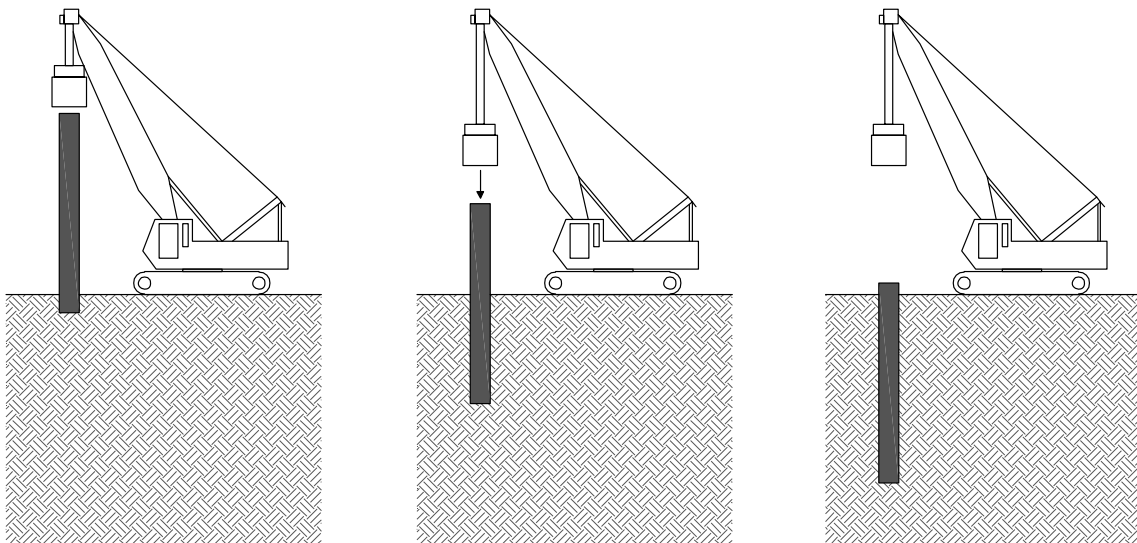
Según el procedimiento constructivo los pilotes se clasifican en:

2.2.2.1. PILOTES PREFABRICADOS HINCADOS

Se trata de pilotes que se clavan literalmente en el terreno, una profundidad mayor a **8 veces su diámetro** equivalente, sin ningún tipo de extracción previa. La **hinca** se puede realizar mediante diferentes técnicas: **por vibración**; **por percusión** con golpes de maza, más frecuente que el primero. Pueden estar constituidos por un **tramo único** o por la **unión de varios tramos** mediante las correspondientes juntas.

Se caracterizan por inducir un **desplazamiento del terreno** circundante. Tienen el riesgo de no alcanzar la profundidad requerida en el cálculo debido a la compactación del terreno por la hinca del pilote o por encontrar capas o lentejones de terreno de gran resistencia en su trazado.

Suelen tener un **coste elevado** y el material utilizado es generalmente el **hormigón armado**, siendo posible también el uso de la **madera** y el **acero**.



Proceso de hinca de un pilote prefabricado de hormigón armado.



Pilotes prefabricados y proceso de hinca. Fuente: < www.civilgeeks.com > y < www.fundecoingenieria.com > [Consulta: 1 de marzo de 2015].

2.2.2.2. PILOTES HORMIGONADOS "IN SITU"

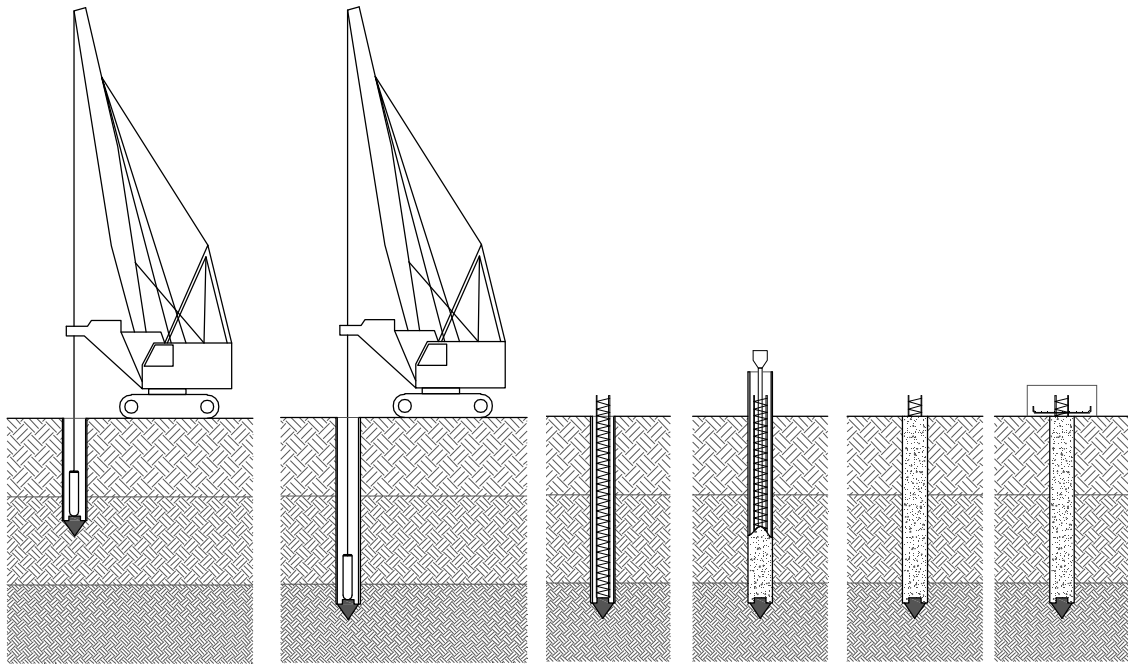
Son aquellos que se ejecutan en excavaciones realizadas previamente en el terreno. Existen varios tipos:

a) Pilotes de desplazamiento: se caracterizan por el desplazamiento del terreno circundante, al igual que sucedía en los pilotes prefabricados, debido ahora a la hinca de una tubería metálica o de hormigón a golpe de maza, hasta alcanzar la profundidad de cálculo. Según el tipo de elemento que materialice el cierre inferior de la tubería, se distinguen dos tipos de pilotes de desplazamiento:

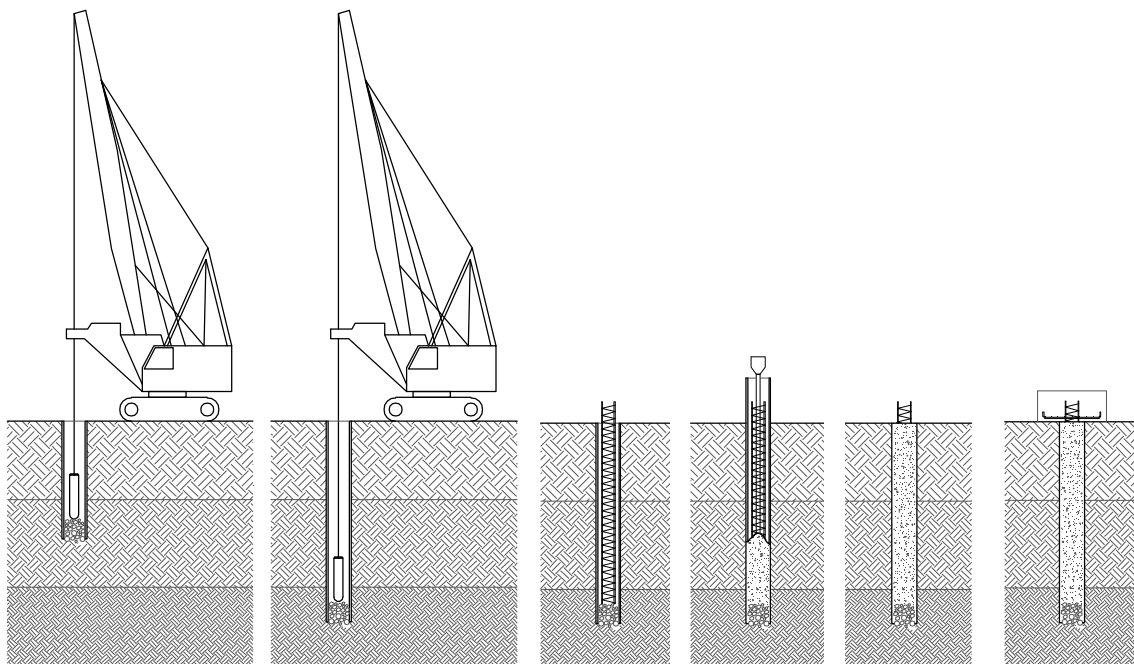
- **con azuche metálico o de hormigón**: de punta cónica o plana, que se deja perdida en el fondo. Se utiliza habitualmente como pilotaje de poca profundidad trabajando por punta, apoyado en roca o capas duras de terreno, después de atravesar capas blandas. También como pilotaje trabajando por fuste y punta en terrenos granulares medios o flojos o en terrenos de capas alternadas coherentes y granulares de baja consistencia.

- **con tapón de gravas o de hormigón**: Usualmente se usa como pilotaje trabajando por fuste en terrenos granulares de compacidad media o en terrenos con capas alternadas coherentes y granulares de baja consistencia.

Tras la hinca de la tubería, se introduce la armadura y se hormigona. El elemento de cierre del fondo de la **entubación** es una pieza prefabricada que se deja perdida, mientras que la camisa, que ejerce de encofrado durante el proceso de ejecución del pilote, puede dejarse perdida o se **recupera mediante su extracción** a medida que avanza el proceso de hormigonado.



Esquema de ejecución de un pilote de desplazamiento con azuche metálico y camisa recuperable.

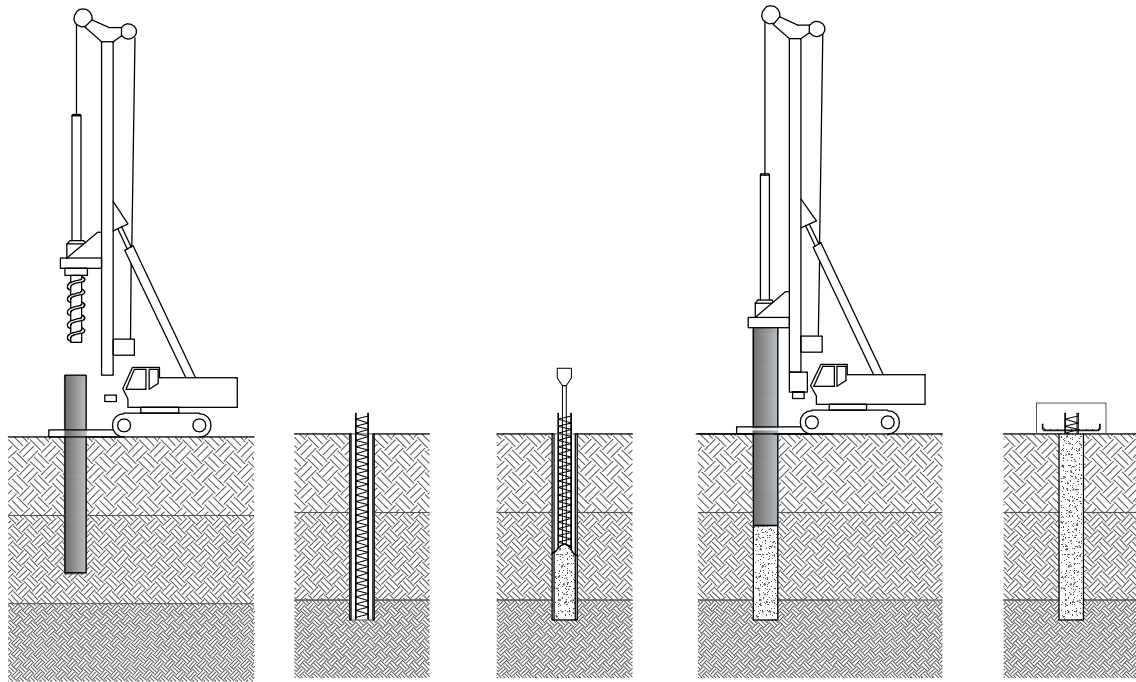


Esquema de ejecución de un pilote de desplazamiento con tapón de gravas o de hormigón y camisa recuperable

b) **Pilotes de extracción:** se caracterizan por la necesidad de resolver los problemas de estabilidad de las paredes del pilote desde el momento de la extracción de las tierras hasta su hormigonado. Se resuelve de alguna de las siguientes formas:

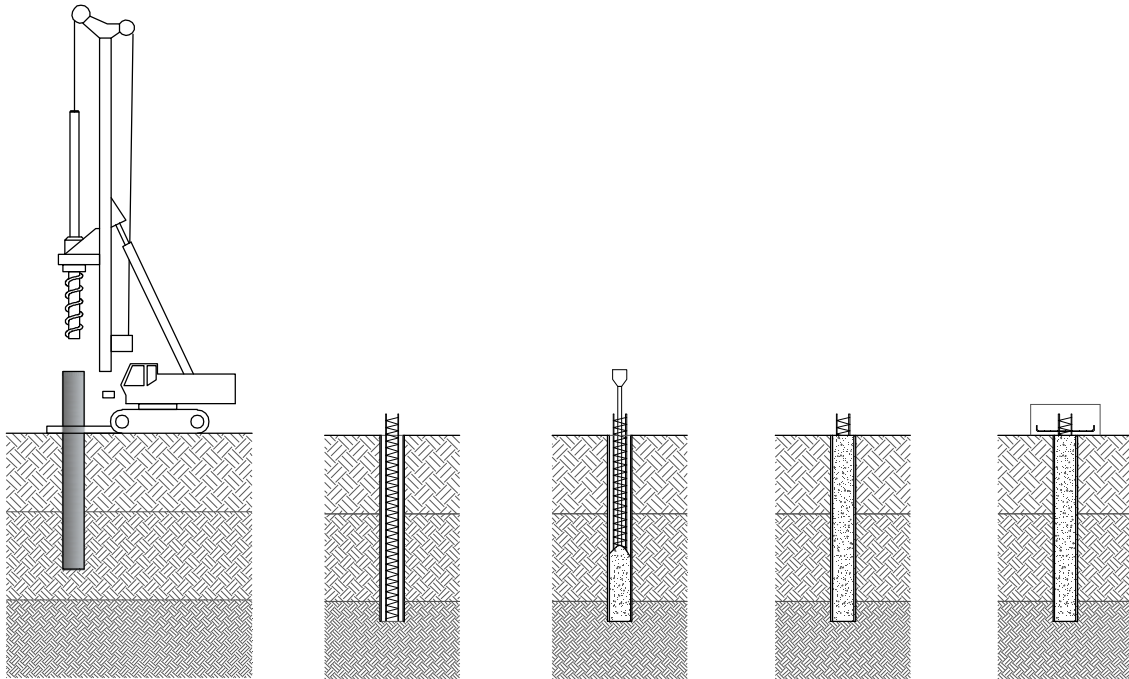
- **con entubación recuperable:** se suele utilizar como pilotaje de poca profundidad trabajando por punta, apoyado en roca. También como pilotaje trabajando por fuste en terreno coherente de consistencia firme, prácticamente homogéneo, en el que alguno de los estratos no tiene la suficiente estabilidad. Se introduce una tubería o camisa metálica al nivel de dicha capa, cubriendo toda su longitud y empotrando en la capa estable.

Posteriormente se colocan las armaduras y se hormigona. La introducción y extracción de la camisa se realiza con vibradores (en terrenos granulares) y entubadoras.



Proceso de ejecución de un pilote de extracción con camisa recuperable.

- **con camisa perdida:** son apropiados como pilotaje trabajando por punta apoyado en roca o capas duras de terreno cuando se atraviesen capas de terreno incoherente fino en presencia de agua, capas de terreno coherente blando o cavidades subterráneas (antiguas galerías, karstificaciones rocosas, etc.). Así mismo es adecuado cuando exista flujo de agua o capas químicamente agresivas para el hormigón. Se utiliza entonces una tubería o camisa que queda perdida, actuando de encofrado durante el hormigonado y protegiendo al pilote tras su puesta en carga.

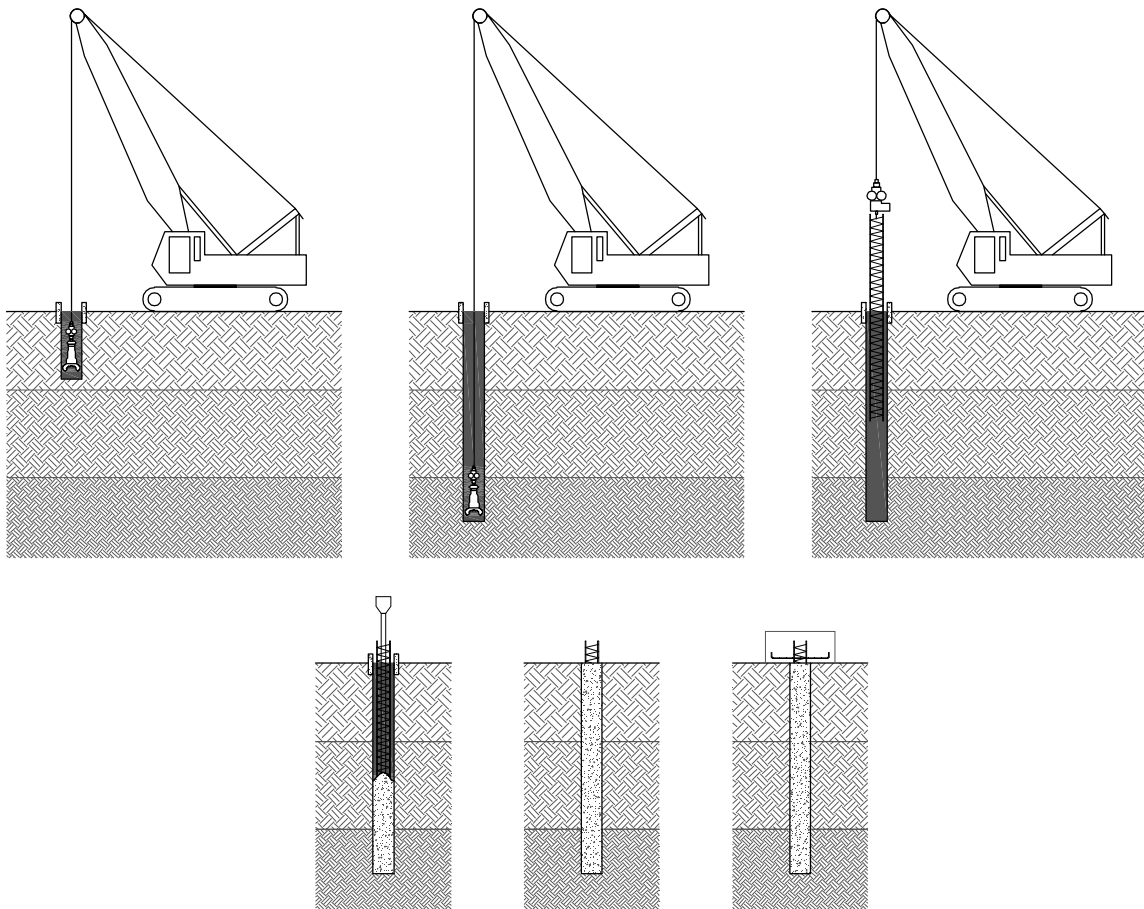


Proceso de ejecución de un pilote de extracción con camisa perdida.



Proceso de extracción e introducción de la camisa y las armaduras. Fuente: < www.micros.es > [Consulta: 1 de marzo de 2015].

- **sin entubación con lodos tixotrópicos:** este método se utiliza como pilotaje trabajando por punta, apoyado en roca o capas duras, cuando se atraviesan capas blandas de terreno, no perforables con barrena o hélice debido a que el lodo hace que resbalen. La extracción se realiza con una herramienta llamada cazo o bucket y se estabilizan las paredes de la excavación mediante la introducción de lodos tixotrópicos, cuya densidad es superior a la del agua, de modo que ejercen una presión hidrostática en el interior de la excavación que estabiliza sus paredes. La tubería de hormigonado se introduce hasta el fondo y a medida que el hormigón asciende va extrayendo los lodos. Las armaduras se introducirán posteriormente, por lo que la consistencia del hormigón será la adecuada para permitirlo.

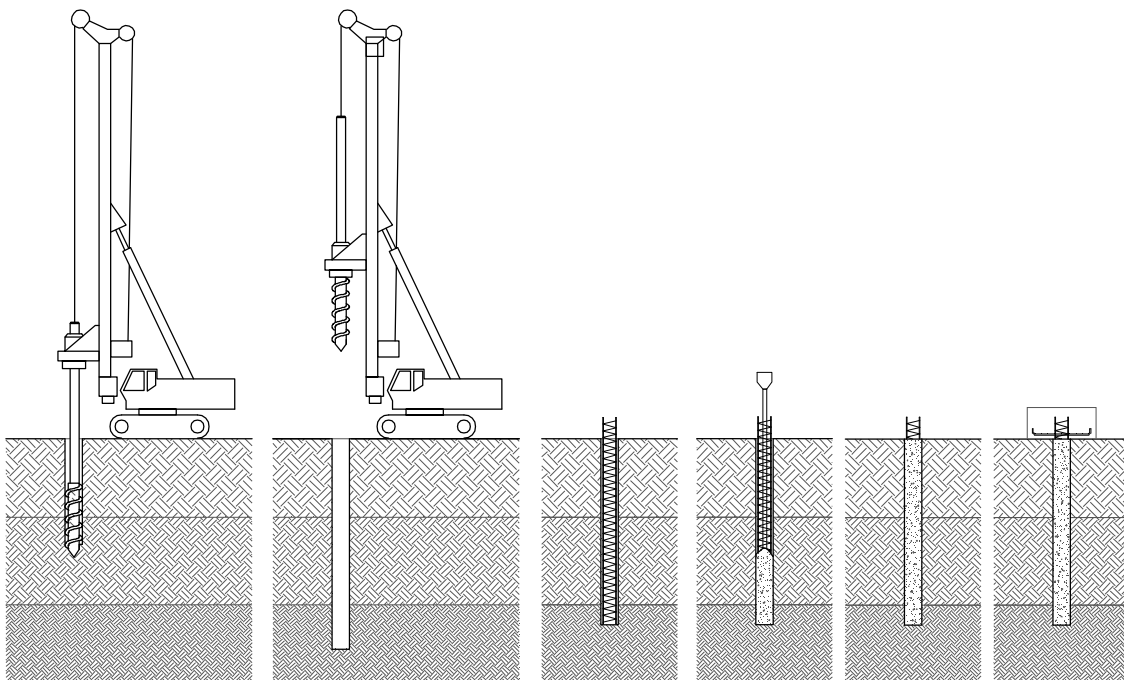


Proceso de ejecución de un pilote de extracción sin entubación, estabilizando sus paredes mediante el relleno de la perforación con lodos tixotrópicos.



Ejecución de pitole de extracción con lodos bentoníticos. Fuente: <www.canalconstruccion.com> y <www.ingenierosaivel.com> [Consulta: 1 de marzo de 2015].

- **barrenados sin entubación:** se utiliza como pilotaje trabajando por punta, apoyado en capa de terreno coherente duro. También como pilotaje trabajando por fuste en terreno coherente de consistencia firme prácticamente homogéneo o de consistencia media en el que no se produzcan desprendimientos de las paredes. Se realiza la extracción de tierras mediante una barrena, se introducen las armaduras y se procede al hormigonado.

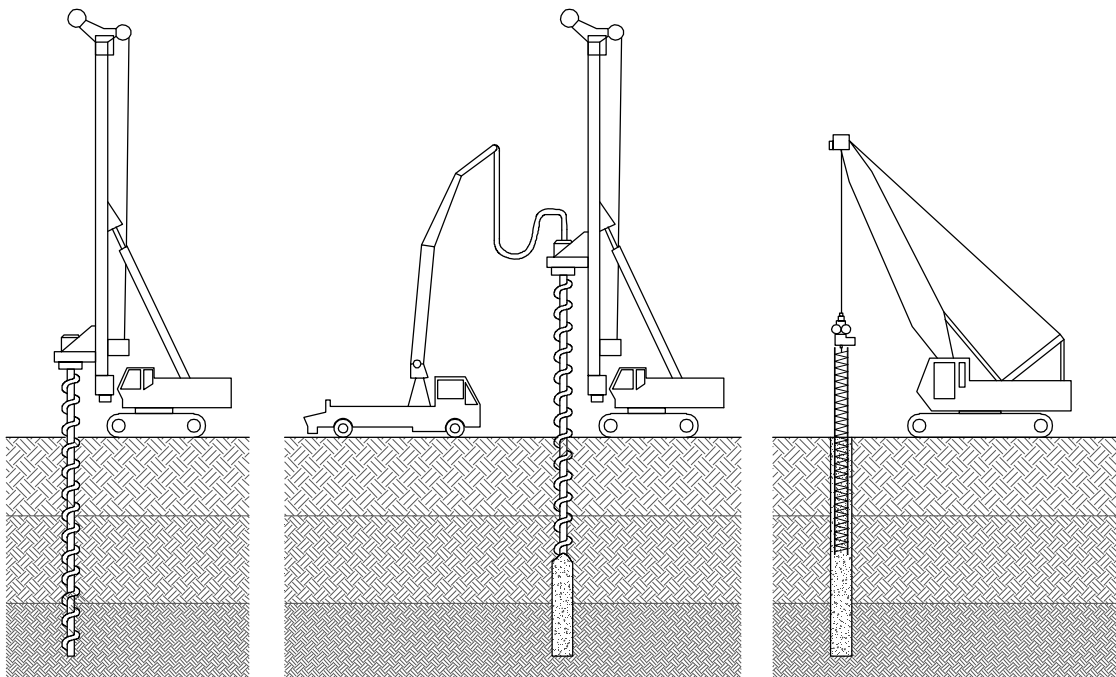


Proceso de ejecución de un pilote barrenado sin entubación.



Barrena helicoidal. Fuente: <www.model-co.com> [Consulta: 1 de marzo de 2015].

- **barrenado y hormigonado por el tubo central de la barrena:** se aplican como pilotaje trabajando por punta, apoyado en roca o capas duras de terreno, o trabajando por fuste y punta en terrenos de compacidad media o en terrenos que alternan capas coherentes con capas granulares de baja consistencia. Se trata de introducir una barrena continua de igual longitud que el pilote con un fuste central hueco. El terreno no se extrae durante la penetración, sino que se extrae junto a la barrena al introducir el hormigón por el tubo central. Este proceso obliga a que la armadura se introduzca posteriormente, por lo que la consistencia del hormigón será la adecuada para permitirlo.



Proceso de ejecución de un pilote barrenado y hormigonado por el tubo central de la barrena.



Ejecución de pilote con barrena helicoidal. Fuente: <www.grupocimam.com> y <www.solumcimentaciones.com> [Consulta: 1 de marzo de 2015].

3. CRITERIOS DE DISEÑO

Como **norma general**, la cimentación de los pilares de un edificio estará basada en **zapatas individuales o aisladas**, tipo más comúnmente utilizado en edificación, siempre que el terreno disponga de una presión de cimentación media alta y se esperen asientos pequeños o moderados.

Cuando la capacidad portante del terreno sea pequeña o moderada, existan pilares muy próximos entre sí o las cargas por pilar sean muy elevadas, podremos recurrir a la unión de varias zapatas contiguas en varias **zapatas combinadas**, recogiendo dos o más pilares, o **zapatas corridas**, recogiendo tres o más pilares alineados. Son recomendables para evitar asientos diferenciales excesivos por variación de cargas entre pilares y heterogeneidades del terreno.

Los **pozos de cimentación** serán utilizados en aquellos casos cuya ejecución presente ventajas considerables respecto a los anteriores tipos, siempre y cuando el terreno lo permita. Representa una solución intermedia entre otros tipos de cimentaciones superficiales y las cimentaciones profundas, pues son adecuados en aquellos casos en que el firme se encuentra a una profundidad relativa, habitualmente entre 4 y 6 m.

Cuando el terreno presente una baja capacidad portante y una deformabilidad elevada o se prevean asientos totales muy elevados, con los consiguientes asientos diferenciales, se recurrirá a una cimentación por el **sistema de emparrillados**, que consigue una rigidez adecuada para solventar los problemas derivados de la heterogeneidad del terreno, o **por losa**, en el caso de que el anterior ocupe una elevada superficie de la planta del edificio, superando el 50%.

Únicamente recurriremos a realizar una **cimentación profunda** en aquellos casos en que los diferentes sistemas de cimentación superficial analizados sean inviables, debido a la baja capacidad portante del terreno o a la elevada profundidad del firme.

Como **criterio general de diseño**, se debe **evitar la combinación de sistemas superficiales y profundos** dentro de una misma unidad estructural, zapatas o losas con pilotaje. Así mismo, la cimentación se dispondrá sobre un **firmes de características homogéneas**, fraccionando la edificación en unidades estructurales diferenciadas en el caso de presentar discontinuidades, de modo que a uno y otro lado de la discontinuidad las estructuras funcionen de forma independiente.

En el caso de existir bajo el nivel freático **estratos o lentejones** de terreno **que contengan una elevada cantidad de arenas sueltas**, se evitarán las cimentaciones superficiales, recurriendo al **pilotaje** en profundidad, tomando la precaución de que las puntas de los pilotes alcancen una profundidad suficiente por debajo de dicho estrato, dado el alto riesgo de hundimiento del terreno al licuarse debido a movimiento sísmicos (NCSE).

En el caso de existir **suelos compresibles** de gran espesor, se debe **evitar el sistema de cimentación por losa**, puesto que puede dar lugar a asientos totales de consideración.

4. CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS

4.1. CIMENTACIONES DIRECTAS

Las cimentaciones directas se proyectan según las características del terreno proporcionadas por el **estudio geotécnico**, en el momento en que éste se llevó a cabo, por lo que si las condiciones reales en el momento de la ejecución no se ajustasen a las mismas, detectando un terreno de consistencia inferior al considerado, se deberá **volver a proyectar la cimentación**. Así mismo, se efectuará durante la excavación tanto la **retirada de lentejones y puntos duros** locales, como de **zonas blandas y compresibles**, que posteriormente serán rellenadas con tierras de características equivalentes al suelo general, compactado convenientemente, o con hormigón en masa. Se replantearán las cimentaciones y vigas de atado para proceder a realizar la excavación de las mismas.



Excavación hasta cota de cimentación. Nivelado del terreno y replanteo de cimentaciones.

Las **zanjas y pozos tanto de las cimentaciones como de las vigas centradoras y de atado**, tendrán las **dimensiones** fijadas en proyecto y alcanzarán la **cota** determinada en el cálculo, nunca inferior a 0,5-0,8 m bajo la rasante. La terminación de la excavación se producirá **inmediatamente antes de la ejecución** de la zapata, evitando de ese modo posibles desprendimientos de las paredes. Se nivelará bien el fondo de la zapata, se limpiará y apisonará ligeramente, proporcionando un apoyo para las zapatas en el **fondo de la excavación de condiciones homogéneas**.

Previamente al hormigonado de la zapata propiamente dicha, se debe colocar una capa de hormigón de regularización, que recibe el nombre de **solera de asiento u hormigón de limpieza**. Deber tener un espesor mínimo de 10 cm y tiene la misión de proporcionar una superficie plana y horizontal de apoyo para la zapata, así como de evitar que la lechada del hormigón penetre en los terrenos permeables, perdiéndose en el mismo y provocando que los áridos del fondo queden mal recubiertos. La cara superior de esta solera coincidirá con la cota establecida para la cimentación.



Excavación de las zanjas de zapatas y vigas. Vertido del hormigón de limpieza en el fondo de la excavación, proporcionando la base adecuada para los cimientos.

A continuación se dispondrán las parrillas de **armaduras** del cimiento y las esperas de los muros y pilares que descansarán sobre ellos. Las armaduras se disponen sobre **separadores** que garantizan el **cumplimiento del recubrimiento mínimo** establecido por la EHE (Instrucción de Hormigón Estructural) que, en términos generales, para elementos hormigonados contra el terreno es de 70 mm. Si el terreno ha sido previamente preparado, disponiendo del hormigón de limpieza al fondo de la excavación y de encofrados laterales perfectamente arriostrados para la ejecución de los cimientos y zunchos de atado, los recubrimientos pueden variar entre 15 y 40 mm en función de la resistencia del hormigón utilizado y el grado de exposición (Tabla 37.2.4 de la EHE-08).



Armado de zapatas y vigas centradoras y de atado.

Las armaduras de la cara superior de las losas de cimentación descansarán sobre pies de pato.



Armado de losa de cimentación. Armadura en cara inferior y superior con doble malla y crucetas de refuerzo en los puntos de apoyo de los pilares.

El **hormigonado de la zapata** se realizará contra el terreno si éste presenta la suficiente consistencia y en caso contrario, con encofrados que eviten desprendimientos de sus paredes al fondo del dado o zanja de excavación.



Hormigonado de la cimentación.

El **hormigonado de las losas** de cimentación se hará por **fases** previamente establecidas, garantizando el correcto encuentro entre los hormigones de las distintas fases, garantizando la adherencia entre los mismos. Para ello, la superficie se acabará con un ángulo aproximado de 45°, procurando que el vibrado en esa junta no sea excesivamente intenso para proporcionar una superficie de mayor rugosidad. Es práctica habitual aumentar la adherencia mediante la disposición de "tela de gallinero".



Junta de hormigonado en losa de cimentación. Disposición de tela de gallinero para mejorar la adherencia.

4.2. CIMENTACIONES PROFUNDAS

La **excavación** de los **pilotes hormigonados "in situ"** en terrenos estables podrán prescindir del uso de camisas para evitar el desmoronamiento de sus paredes. En los terrenos susceptibles de sufrir deformaciones se recurrirá al uso de camisas perdidas o recuperables.

En éste último caso, durante el **hormigonado** se irá retirando la entubación, procurando que la boca inferior quede a un mínimo de 3 m bajo el nivel del hormigón fresco.

El **hormigón fresco** debe tener una docilidad y fluidez que garantice que durante el proceso no se produzcan atascos, discontinuidades, ni bolsas de hormigón segregado o mezclado con los lodos tixotrópicos, en el caso de utilizarse dicha técnica.



Hormigonado de pilotes. Fuente: <www.tecnoiberica.es> y <www.construmatica.com> [Consulta: 1 de marzo de 2015].

En aquellos pilotes que por su procedimiento constructivo la **armadura** se coloque en una fase posterior al hormigonado, esta se hincará con el hormigón aún fresco, alcanzando la profundidad de cálculo, mínimo de 6 m.



Armaduras de los pilotes. Fuente: <www.kiev.all.biz> y <www.mypfundaciones.com> [Consulta: 1 de marzo de 2015].



Armaduras en espera. Fuente: <www.arkigrafico.com> [Consulta: 1 de marzo de 2015].

En el caso de los **pilotes prefabricados**, el factor más relevante es controlar que la hincia no produce alteraciones en construcciones cercanas sensibles o potencialmente inestables. El proceso de hincia será ininterrumpido hasta que se produzca el rechazo previsto, que asegure la resistencia señalada en el proyecto.

Para la ejecución de los pilotes "in situ" se atenderán las especificaciones de la norma UNE-EN 1536:2011 y para los pilotes prefabricados la norma UNE-EN 12699:2001.

TEMA 3 - ESTRUCTURA PORTICADA

1. INTRODUCCIÓN

Los materiales básicos utilizados en construcción desde la antigüedad han sido **la piedra, la cerámica y la tierra prensada** (el tapial), que aseguraban el buen comportamiento de los sistemas constructivos sometidos básicamente a fuerzas de compresión. En las diferentes épocas se fueron concibiendo distintos sistemas estructurales con el fin de cubrir espacios con estos materiales, generando cúpulas, bóvedas y arcos, que descansaban sobre muros, pilares y contrafuertes. Estas tipologías de **construcción masiva** se caracterizan por la homogeneidad que aportaban a la edificación, dado que la propia estructura configuraba el edificio en su práctica totalidad. La gran masa de estos elementos no sólo resolvía los requisitos estructurales, sino otros como el aislamiento térmico y acústico, la impermeabilización o incluso la durabilidad.

La aparición de nuevos materiales, el hormigón y el acero, modificaron los sistemas constructivos tradicionales estableciendo nuevos modelos estructurales, la **estructura porticada**. El cambio más sustancial es la condición heterogénea de la nueva tipología constructiva, en la cual cada elemento cumple una función específica: la estructura soporta el edificio, el cerramiento protege, la cubierta impermeabiliza, etc.

2. ELEMENTOS CONSTITUYENTES

La **estructura porticada** es la tipología más utilizada actualmente en edificación. Está constituida principalmente por dos elementos:

- Pórticos o estructura vertical: pilares y vigas.
- Forjados o estructura horizontal.

Los **pórticos** son entramados verticales resistentes, constituidos por vigas, barras en posición principalmente horizontal, existiendo la posibilidad de que se dispongan inclinadas, que apoyan sobre barras verticales o pilares, dispuestas en un único plano que, además, es el plano de simetría respecto a las secciones de las piezas. Las uniones entre estos elementos son los llamados nudos.

La disposición de un conjunto de pórticos paralelos entre sí, cuya distancia determina la denominada crujía, resuelve la transmisión vertical de las cargas de la edificación al terreno portante.

Los **forjados** son aquellos elementos estructurales horizontales, en ocasiones inclinados (forjados de cubierta), que reciben directamente las cargas propias, de uso y sobrecargas de la estructura y las transmiten a las vigas.

3. PÓRTICOS

3.1. PILARES

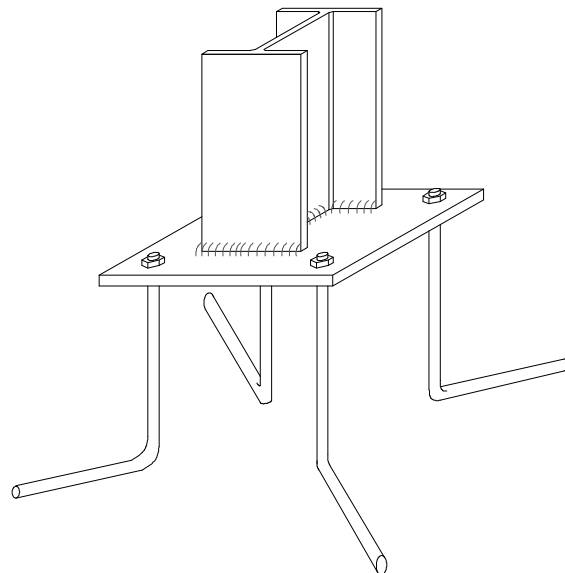
Los **pilares** son elementos verticales, o ligeramente inclinados, que forman parte de una estructura. Reciben las cargas de los forjados por medio de las vigas, los ábacos, etc., en función del tipo de forjado, y las transmiten al terreno a través de sus cimientos.

Pueden estar contruidos con **hormigón armado**, de sección cuadrada, rectangular, circular, etc., o **acero**, a base de perfiles metálicos en forma de H, cajón, etc. También existen **pilares mixtos**, que combinan ambos materiales, compuestos por perfiles metálicos y hormigón armado, envolviendo o rellenando el perfil.

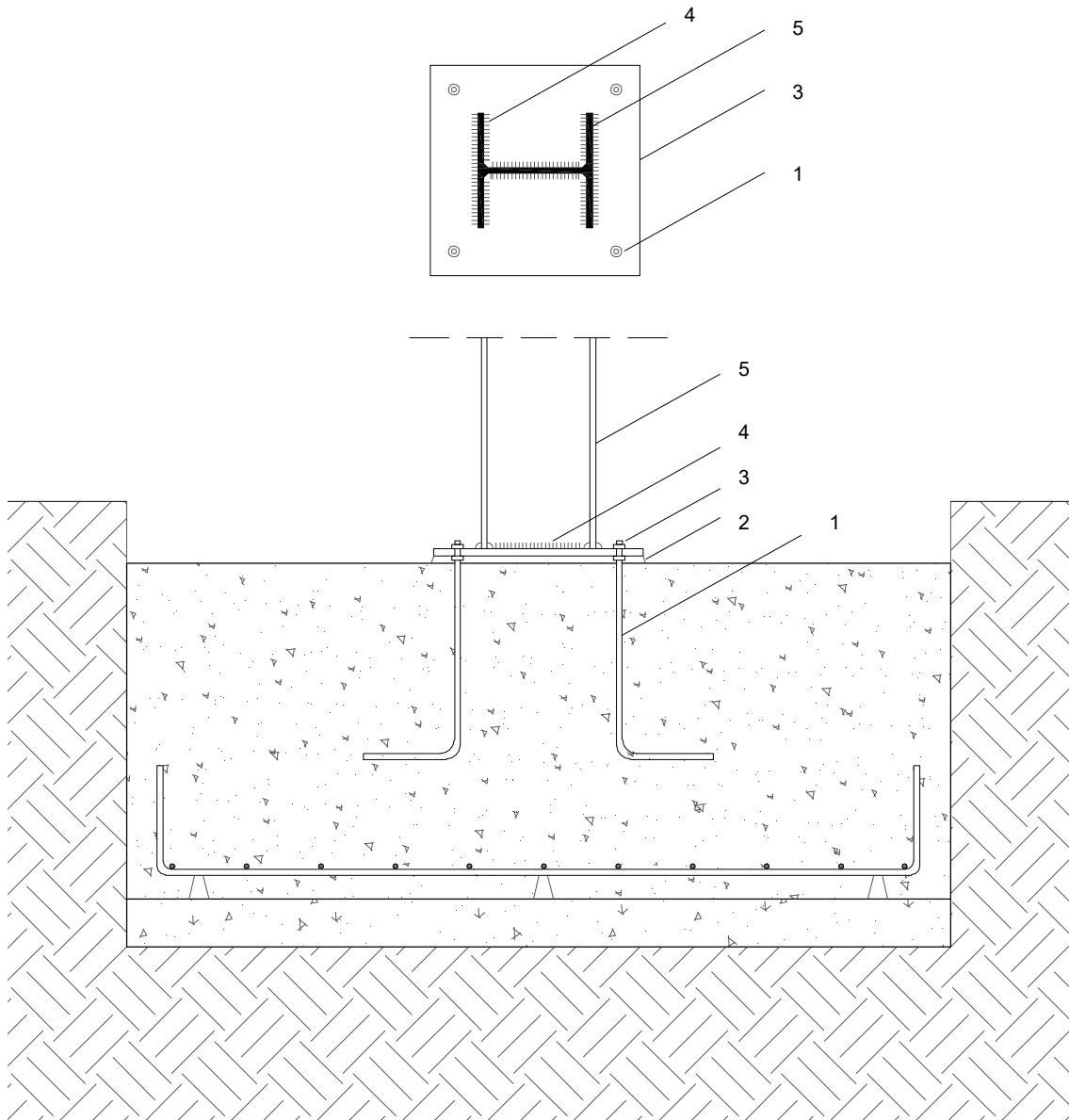
3.1.1. PILARES METÁLICOS

Los **pilares metálicos** son elementos prefabricados a base de perfiles conformados, cuyas dimensiones y características geométricas vienen recogidas en los Prontuarios de Estructuras Metálicas. La ejecución de este tipo de pilares requieren un número mínimo de trabajos a realizar en obra, principalmente constituidos por la realización de los cordones de soldadura o el atornillado entre los perfiles o entre éstos y los elementos de enlace con los cimientos y vigas.

El **encuentro entre el pilar y la zapata** se realiza mediante la disposición de una **placa de anclaje**, que se une al cimiento mediante la disposición de pernos embebidos en el hormigón.



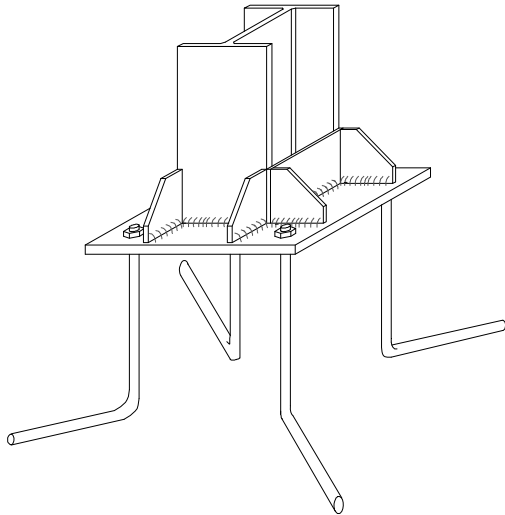
Detalle constructivo de la placa de anclaje para la unión entre pilar metálico y zapata. E = 1/15.
Fuente: < www.preciobuscado.com > [Consulta: 4 de febrero de 2014].



1. Pernos de anclaje.
2. Mortero de nivelación.
3. Placa de anclaje.
4. Soldadura.
5. Pilar metálico.

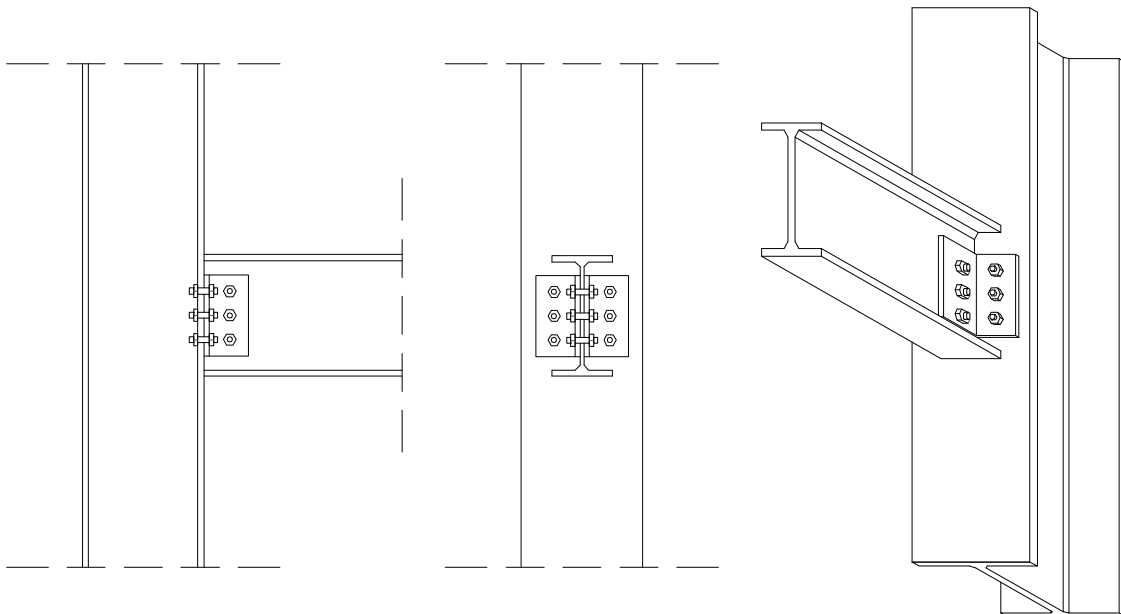
Detalle constructivo de la placa de anclaje para la unión entre pilar metálico y zapata. E = 1/15.

Es habitual que se dispongan **cartelas en el encuentro** entre el pilar y la placa, proporcionando mayor rigidez al conjunto.

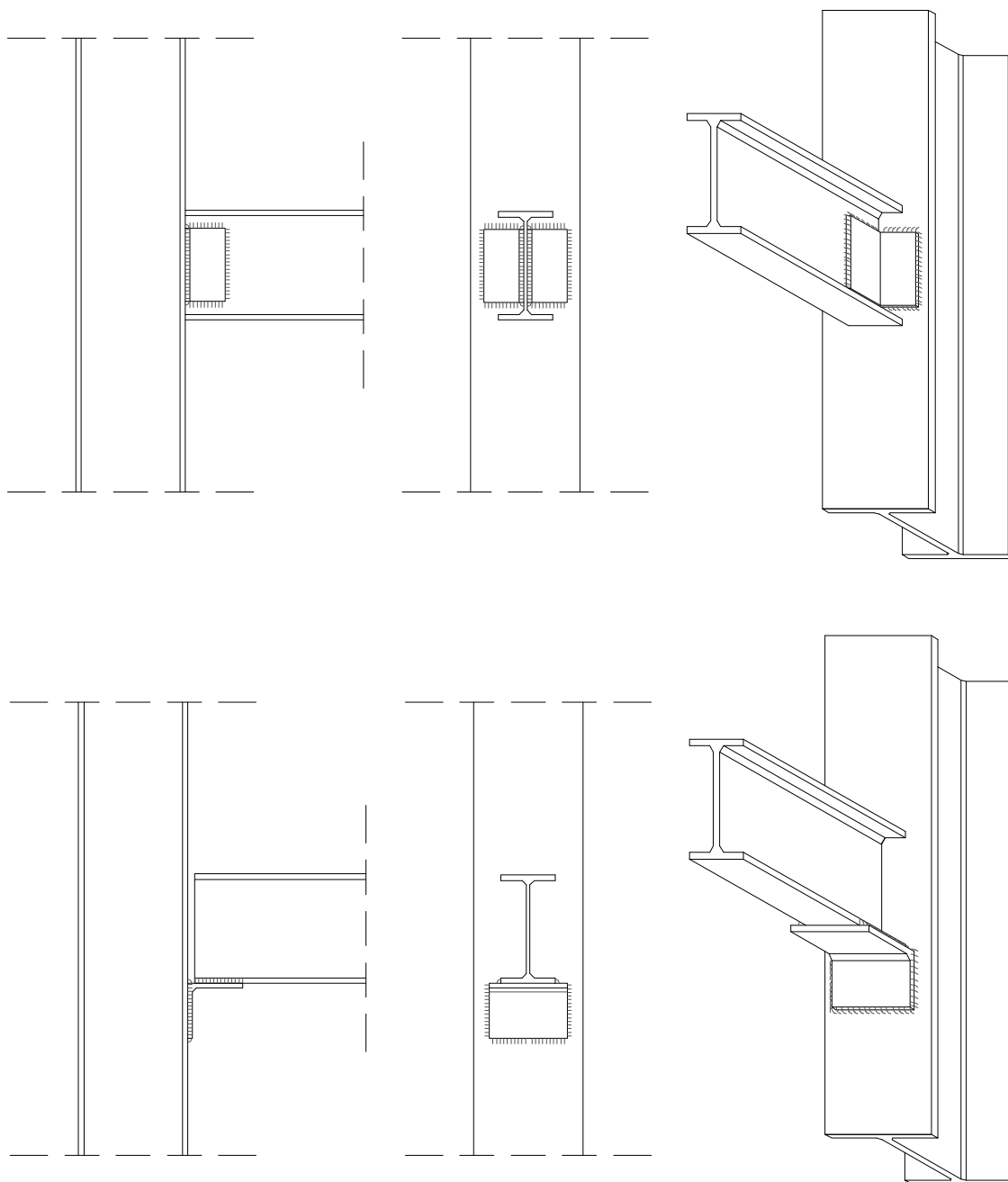


Disposición de cartelas para rigidizar el encuentro pilar-placa de anclaje. Fuente: <www.propamsa.es> [Consulta: 4 de febrero de 2014].

El **encuentro entre el pilar y la viga** se resuelve igualmente por uno de los dos sistemas: soldadura o atornillado. Es habitual la disposición de pletinas que permitan aumentar el área de soldadura o permita la correcta disposición de los tornillos. Con estas soluciones podemos diseñar uniones empotradas o apoyadas.



Detalle encuentro viga (IPE) - pilar (HEB) mediante unión atornillada. E = 1/15.



Detalles de encuentros viga (IPE) - pilar (HEB) mediante uniones soldadas. E = 1/15.

3.1.2. PILARES DE HORMIGÓN ARMADO

Los **pilares de hormigón** armado son elementos estructurales ejecutados in situ. En primer lugar se disponen las **armaduras principales**, compuestas por barras corrugadas en posición vertical, armadura que absorbe los esfuerzos de tracción producidos por los momentos que solicitan el pilar, y los **cercos o estribos** horizontales, armaduras habitualmente de menor diámetro, dispuestas en torno a las armaduras verticales, los cuales absorben los esfuerzos cortantes del pilar, evitan el pandeo de las armaduras longitudinales y confinan el hormigón, aumentando su resistencia a compresión. Las jaulas de armaduras pueden venir montadas de taller, o puede confeccionarse la ferralla también a pie de obra. En el primer caso los cercos suelen ir unidos a la armadura longitudinal con puntos de soldadura, mientras que en segundo se atan con alambre.



Disposición de armaduras de pilares y muros previo al hormigonado.



Jaulas de armaduras montadas en fábrica.

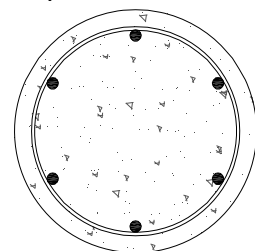
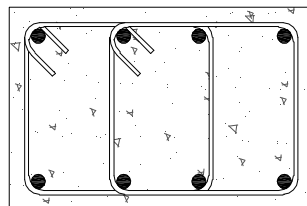
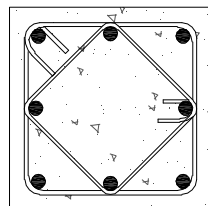
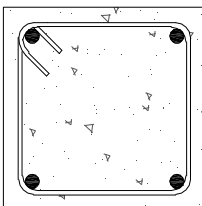


Montaje de la ferralla a pie de obra.



Izda.: unión estribo-armadura con puntos de soldadura en taller. Drcha.: unión estribo-armadura con alambre.

Las **dimensiones del pilar**, la forma de su **sección** y el **número de redondos** y sus **diámetros**, atenderán a los resultados del cálculo estructural de estos elementos. En términos generales, predominan las secciones cuadradas o rectangulares, con un mínimo de cuatro redondos dispuestos en las esquinas. Las secciones circulares se utilizan habitualmente en aquellos casos en que la estructura vaya a quedar vista.

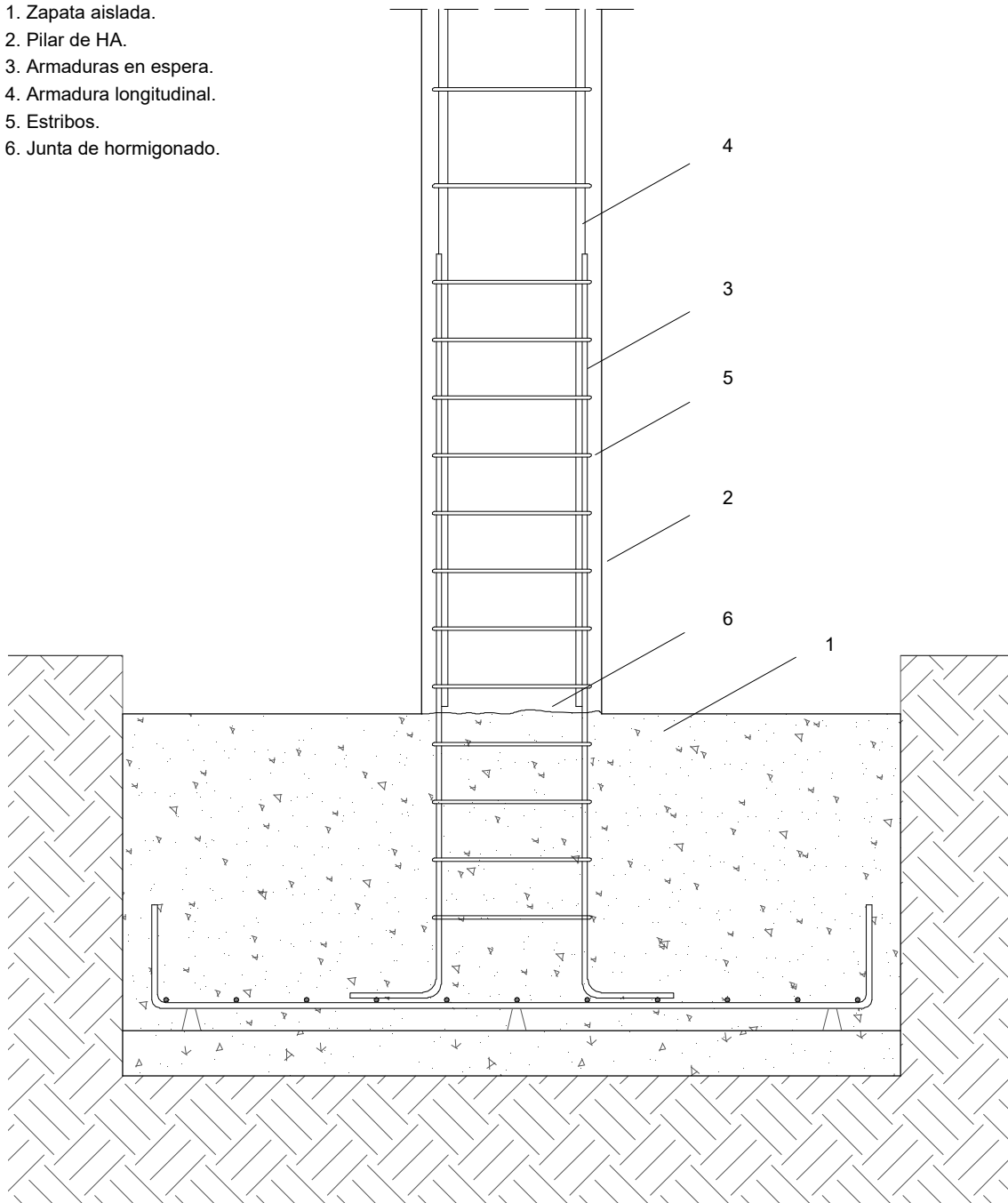


Secciones tipo de pilares de hormigón armado. E = 1/50.

Los **estribos** se distribuyen de manera más o menos uniforme, menos distanciados en los extremos inferior y superior del pilar, zonas donde los esfuerzos cortantes son máximos, en una longitud en torno a 2 veces el lado de la sección.

El **encuentro** de los pilares **con las zapatas aisladas**, se produce mediante el atado de sus armaduras verticales a las armaduras en espera que sobresalen del cemento, solapando ambas una longitud L_s .

1. Zapata aislada.
2. Pilar de HA.
3. Armaduras en espera.
4. Armadura longitudinal.
5. Estribos.
6. Junta de hormigonado.



Encuentro zapata pilar. Atado de las armaduras longitudinales a las esperas que sobresalen del cemento. $E = 1/15$.

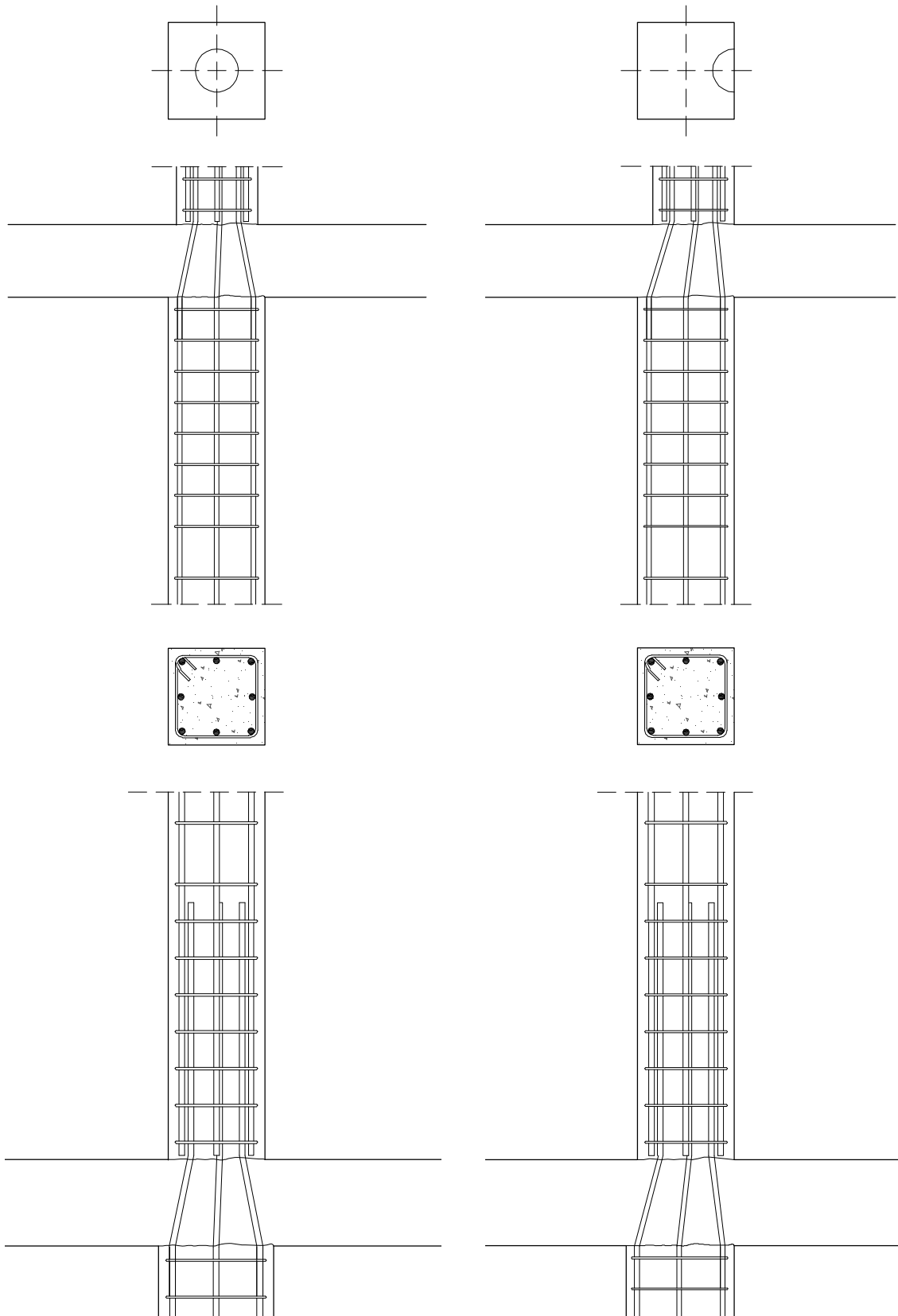


Distribución de estribos en los pilares de hormigón armado.



Armaduras en espera y replanteo del pilar.

El **encuentro entre los pilares de las diferentes plantas** se produce mediante el atado de sus armaduras a las esperas que sobresaldrán del forjado de la planta inferior. Es habitual que, por razones de cálculo, estos pilares disminuyan su sección a medida que ascendemos, por lo que las armaduras en espera absorben el cambio de dirección producido en una, varias o todas las caras, en función de si los pilares quedan enrasados por una, dos caras o alineados a eje, respectivamente. Las caras del pilar que mantienen su posición de una planta a otra quedan perfectamente indicadas en los planos en planta.

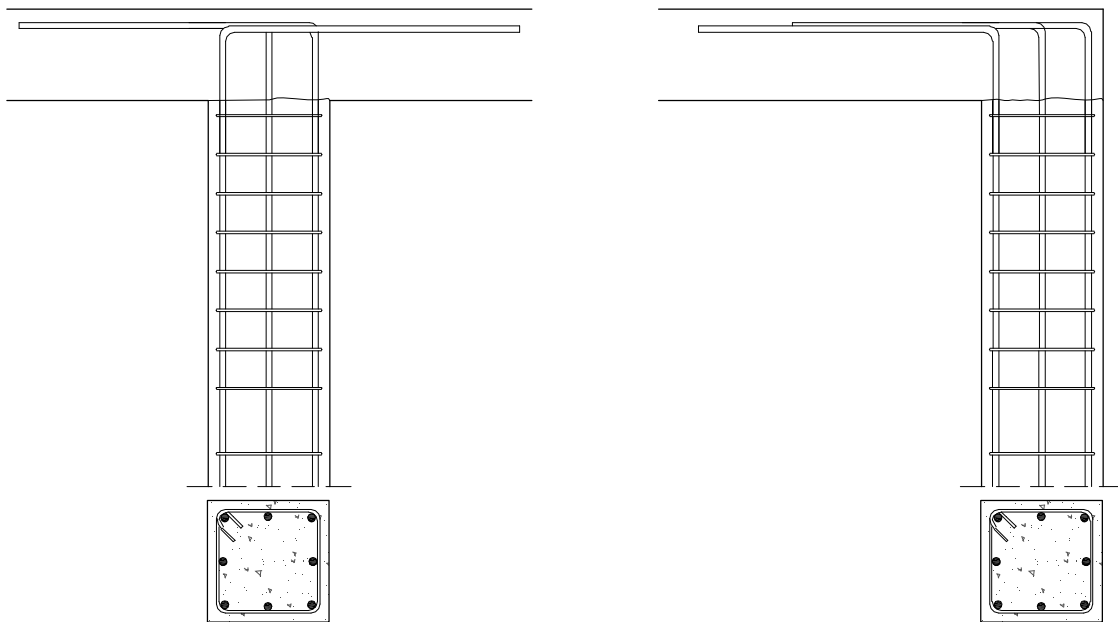


Disposición de las armaduras en espera para absorber los cambios dimensionales. E = 1/25.



Armaduras en espera del pilar atravesando un forjado intermedio.

Las armaduras del pilar quedarán ancladas **al nivel del último forjado** mediante el doblado de las armaduras longitudinales, asegurando que se cumplen las longitudes mínimas de anclaje.



Anclaje de las armaduras del pilar en el último forjado. E = 1/25.

Una vez dispuestas las armaduras se procede al **encofrado del pilar**. Los encofrados están compuestos por piezas modulares prefabricadas de madera, metal u otro material no incompatible con el hormigón ni con las armaduras, que se ensamblan en obra, obteniendo las dimensiones de sección requeridas en el cálculo.



Encofrados metálicos modulares para pilares.

Es importante que las armaduras dispongan de **separadores** que garanticen los espesores de los recubrimientos establecidos de hormigón. Suelen utilizarse en el caso de los pilares separadores de tipo disco.



Separadores de disco en las armaduras verticales de los pilares.

Además de los encofrados modulares, cada vez tienen un uso más extendido los **encofrados continuos** de cartón, plástico o poliestireno expandido. Se trata de encofrados de un solo tramo, que vienen preparados de fábrica y que garantizan un perfecto acabado de las superficies. Las casas comerciales proporcionan una amplia variedad de secciones: cuadradas, rectangulares o circulares; dimensiones, diámetros y alturas, con estándares de 3 y 4 m. Son una buena opción en los casos en que la estructura vaya a quedar vista.

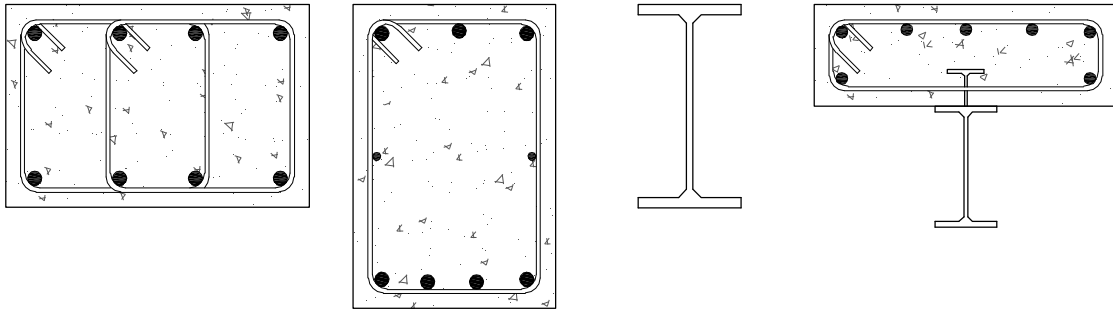


Encofrados TBT para pilares circulares de hormigón visto. Protegen el pilar tras su ejecución de golpes y proporciona un acabado liso y satinado.

3.2. VIGAS

Las **vigas** son los elementos estructurales horizontales, o ligeramente inclinados, que reciben directamente las cargas del forjado y las transmiten a los pilares o muros sobre los que descansan.

En función del material podemos diferenciar entre **vigas metálicas**, de **hormigón armado** y **mixtas**. Las vigas mixtas son aquellas en que se conforma una sección compuesta por diferentes piezas de ambos materiales, las cuales trabajan de forma conjunta gracias a la disposición de elementos de conexión, conectores.



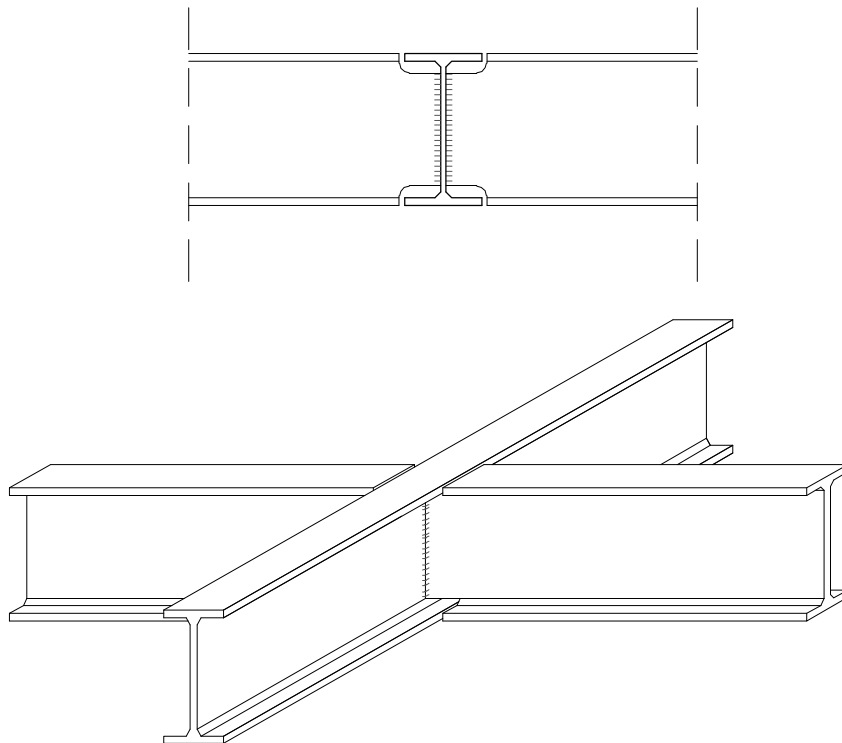
Vigas de hormigón armado, metálicas y mixtas. $E = 1/15$.

3.2.1. VIGAS METÁLICAS

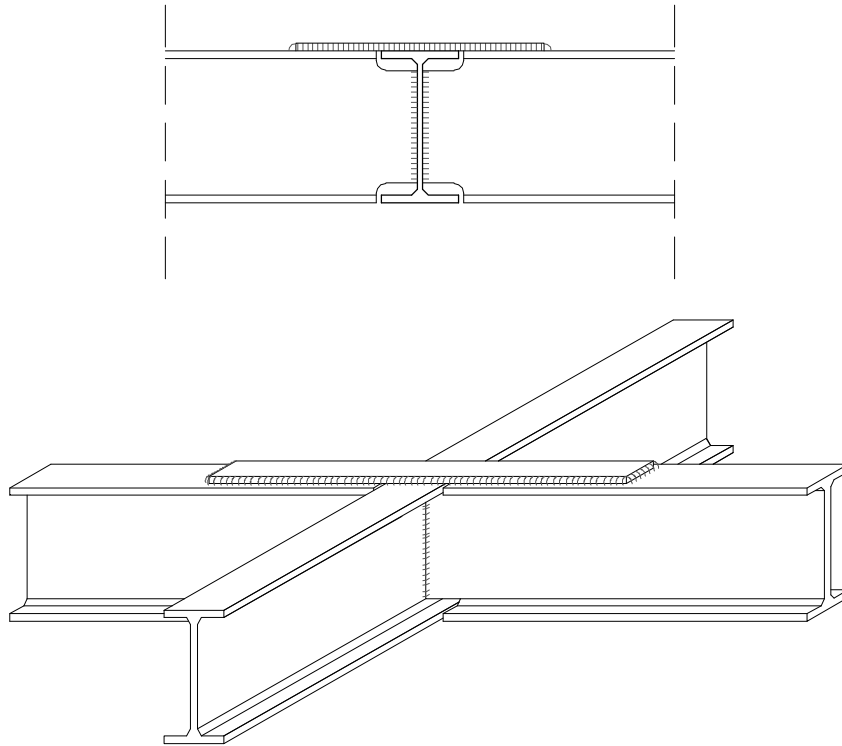
Las **vigas metálicas** son elementos prefabricados que son trasladados a obra con las dimensiones requeridas, donde se procede a su montaje. Los perfiles más utilizados son los HEB, IPE o IPN, así como los UPN o los perfiles en L, de uso habitual para crear perfiles en cajón.

Las **operaciones a realizar en obra** se reducen a la **unión de las vigas con los pilares y de las distintas vigas entre sí**. Estas uniones pueden resolverse mediante el procedimiento de soldadura controlada o mediante atornillado.

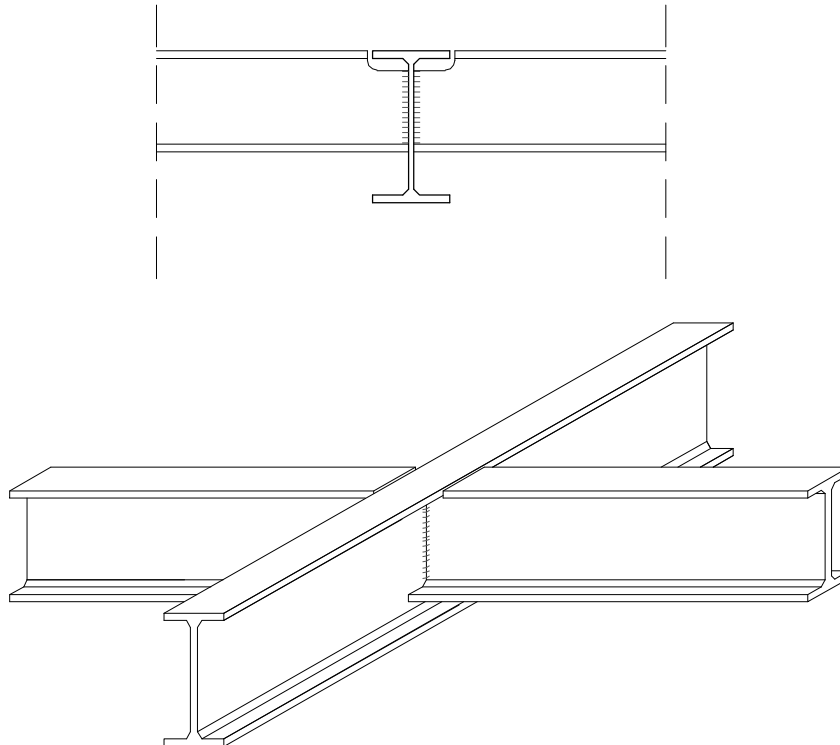
En el caso de la **unión entre vigas**, podemos encontrar diferentes situaciones: unión entre vigas de igual canto y uniones entre vigas de distinto canto. Cuando la unión por el alma no es suficiente, es habitual la disposición de pletinas que permiten la soldadura de las alas, aumentando la superficie.



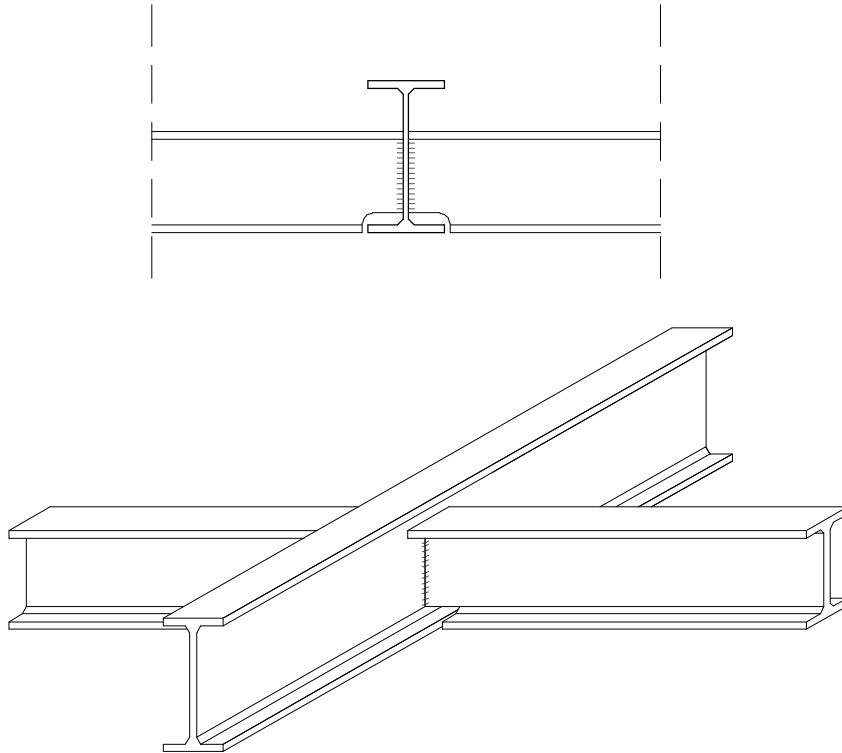
Unión de vigas metálicas de igual canto mediante soldadura del alma. $E = 1/15$.



Unión de vigas metálicas de igual canto mediante soldadura del alma y el ala superior, disponiendo pletina metálica. $E = 1/15$.



Unión de vigas metálicas de distinto canto mediante soldadura del alma, alineando el ala superior. $E = 1/15$.

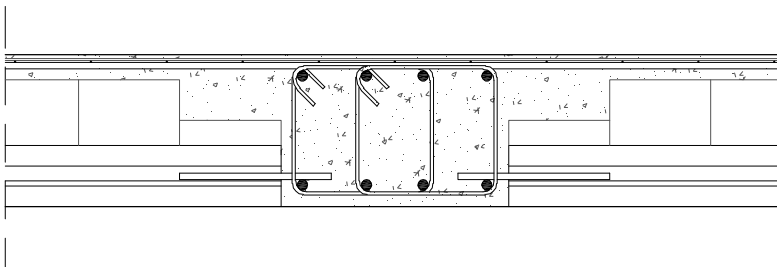


Unión de vigas metálicas de distinto canto mediante soldadura del alma, alineando el ala inferior.
E = 1/15.

3.2.2. VIGAS DE HORMIGÓN ARMADO

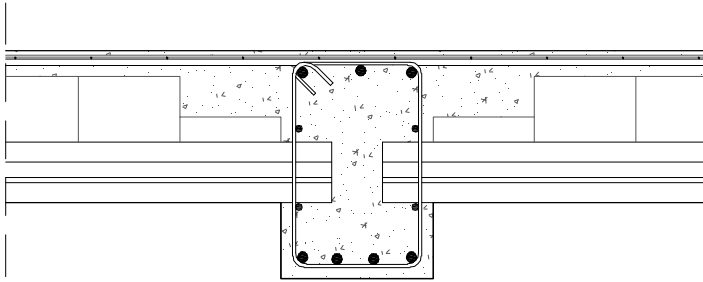
Las **vigas de hormigón armado** son elementos estructurales ejecutados in situ. Se encofran y arman en obra, procediendo habitualmente a su hormigonado junto a los elementos no prefabricados del forjado.

Existen **dos tipologías** perfectamente diferenciadas: las vigas planas y las vigas de canto. Se entiende por **viga plana** aquella que tiene un canto igual al del forjado (alrededor de 30 cm), quedando enrasadas con el mismo por sus dos caras.



Vigas planas de hormigón armado, enrasadas con el forjado en su cara inferior, no hay descuelgues.
E = 1/15.

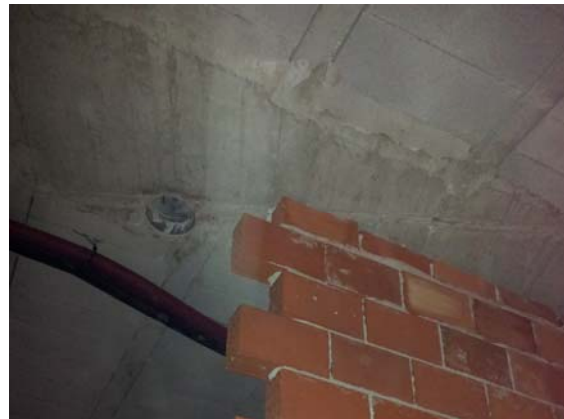
Las **vigas de canto** se caracterizan por tener un canto considerablemente superior al del forjado, quedando enrasadas en la cara superior, sobresaliendo una distancia igual a la diferencia entre cantos por la cara inferior.



Vigas de canto o de cuelgue de hormigón armado, sobresalen de la cara inferior del forjado.
E = 1/15.

Las **ventajas** que presentan las **vigas planas** frente a las vigas de canto son:

- facilidad de encofrado, dispuesto al mismo nivel que el resto del forjado.
- inexistencia de descuelgues en la cara inferior, permitiendo una total libertad a la hora de proyectar la compartimentación interior de la vivienda.



Encofrados continuos de vigas planas y forjado de nervios in situ. Libre disposición de la compartimentación interior por la inexistencia de descuelgues, las vigas no "atravesan" estancias.

Por contra, presenta una serie de **desventajas** a considerar:

- requieren una mayor cuantía de armado, complicando tanto la disposición de la ferralla como el hormigonado.
- conllevan la existencia de flechas mayores en centro de vano. Son forjados más deformables, con flechas que habitualmente no son admisibles para luces mayores de 5,5 m.



Dificultad en el hormigonado de las vigas debido a la cantidad de armadura necesaria.

A pesar de estos inconvenientes, es el tipo de viga más utilizado debido a las ventajas que aportan a la hora de proyectar. Aún así, los calculistas recomiendan el uso de vigas de canto por sus mejores prestaciones en cuanto a su comportamiento estructural se refiere, de especial importancia en zona de alto riesgo sísmico.

El **armado de las vigas** dependerá en primer lugar de su **forma de trabajo**: vigas continuas apoyadas en los extremos o vigas continuas empotradas en los extremos. La **armadura principal** consistirá en un conjunto de barras longitudinales dispuestas en aquellas zonas donde se produzcan esfuerzos de tracción. El **número mínimo de redondos** dependerá del armado transversal: 2 barras por cara para cercos simples; 4 barras por cara para cercos dobles y 6 barras por cara para cercos triples.

Los **estribos** se distribuirán uniformemente, menos distanciados en las zonas contiguas a los apoyos, recomendándose una separación ≥ 10 cm en todo caso. Son los encargados de absorber las tracciones originadas por los esfuerzos cortantes.

En algunas ocasiones es necesaria la disposición de armadura longitudinal secundaria en puntos intermedios del estribo, llamada **armadura de piel**, principalmente cuando se trata de vigas de canto.



Armado de una viga de canto, con estribos simples, y plana, con estribos dobles. En este caso amabas disponen de armadura de piel.

La **disposición de las armaduras** debe permitir un correcto hormigonado, asegurando que todas las barras queden perfectamente envueltas en el hormigón. Se garantizará el cumplimiento del **recubrimiento mínimo**, igual al diámetro de la barra y a 1,25 veces el tamaño máximo del árido, nunca inferior a 15 mm.

Además, si se disponen **grupos de barras** en distintas capas horizontales separadas entre sí, los redondos quedarán alineados en vertical, de manera que el espacio entre las distintas columnas de barras permita el paso de los vibradores internos (cuyos diámetros están comprendidos entre 50-60 mm).

Algunos de los **puntos singulares** de estas vigas son los **encuentros** entre las mismas y entre estas y los pilares, donde el paso y el encuentro entre armaduras es más complicado.

El **proceso de ejecución** de las vigas de canto se complica debido a la necesaria disposición de un encofrado independiente al del forjado, mientras que en el caso de las vigas planas se simplifica, sin la necesidad de disponer de costeros salvo para hormigonar las vigas o zunchos de borde.



Encofrado continuo de forjado unidirección de nervios in situ y vigas planas. Disposición de costeros únicamente en el perímetro del forjado.

4. FORJADOS

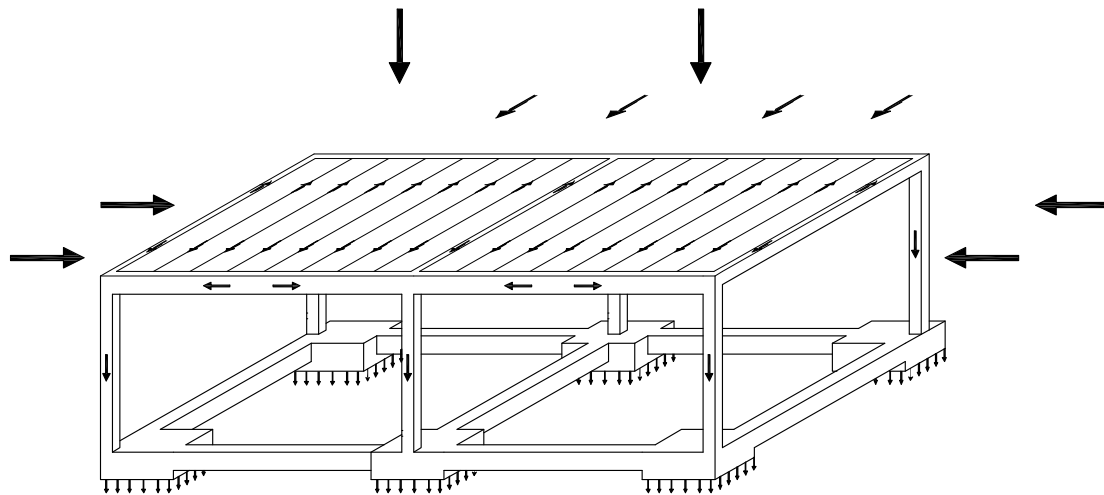
4.1. FUNCIONES

Los forjados cumplen numerosas funciones entre las que destacan:

Funciones mecánicas:

- son los elementos que **reciben directamente las cargas** que soporta el edificio, transmitiéndolas a las vigas y a los elementos verticales de sustentación, sin que se produzcan flechas excesivas, incompatibles con otros elementos no estructurales o con las funciones de servicio de la edificación.

- **rigidizan y arriostran transversalmente la estructura**, solidarizando los pórticos al nivel de cada planta. Funcionan como vigas de gran canto frente a las acciones horizontales que solicitan la estructura: viento, sismo, etc., contribuyendo a que todos los elementos trabajen de forma conjunta para resistir este tipo de acciones.



Transmisión de cargas verticales y arriostramiento de la estructura ante esfuerzos horizontales.

Habitabilidad: además de las funciones estructurales propiamente dichas, los forjados resuelven:

- el **aislamiento térmico y acústico** de los diferentes niveles o plantas entre sí.
- la **impermeabilización** necesaria en aquellos forjados expuestos a las inclemencias meteorológicas, como los forjados de cubierta.
- dan **soporte a los elementos de acabado**, como suelos y techos.
- resuelven el **paso de las instalaciones** por el interior del edificio.

Otras: entre las que destaca la **seguridad en caso de incendio**, proporcionado una resistencia característica al fuego que independiza las diferentes plantas del edificio durante un tiempo determinado.

4.2. TIPOLOGÍAS

Los forjados **se pueden clasificar** atendiendo a diversos criterios, pero podemos distinguir principalmente entre dos tipologías de forjados, que se diferencian entre sí **por su forma de trabajo**, los forjados unidireccionales y los forjados bidireccionales.

4.2.1. FORJADOS UNIDIRECCIONALES

Son aquellos forjados que **transfieren las cargas** a los apoyos verticales, ya sean estructuras porticadas o murales, **en una única dirección**.

De forma generalizada, su uso es compatible cuando se cumplen las siguientes **condiciones**:

- el canto total del forjado no exceda los 50 cm.
- la luz de cada tramo no exceda los 10 m.
- la separación entre nervios no exceda de 100 cm.

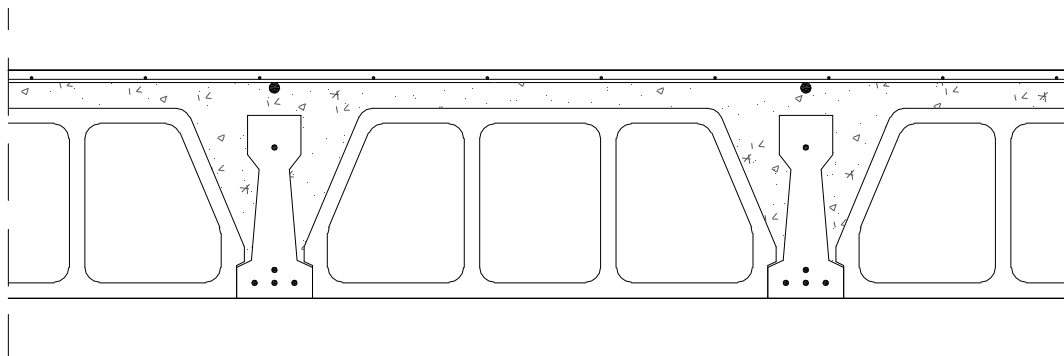
En función de los materiales utilizados podemos distinguir entre forjados de madera, metálicos (acero), de hormigón armado o pretensado y mixtos (acero-madera, acero-hormigón, cerámica armada, etc.).

Los principales **tipos de forjados unidireccionales** son:

- Forjados de nervios y piezas de entrevigado:

Es la tipología de **uso más frecuente**. Se trata de forjados **ejecutados in situ o semiprefabricados**, constituidos por: los elementos resistentes del forjado (nervios, viguetas o semiviguetas); las piezas de entrevigado o bovedillas; y una capa de compresión de hormigón armado in situ, que ata los distintos elementos, asegurando un comportamiento conjunto y monolítico del forjado. En algunos casos es necesaria la disposición de una armadura de refuerzo que absorba las tracciones en la cara superior del forjado, donde se producen momentos negativos, en los apoyos y su entorno próximo, en función del tipo de nervio utilizado.

Forjado con viguetas autorresistentes pretensadas:

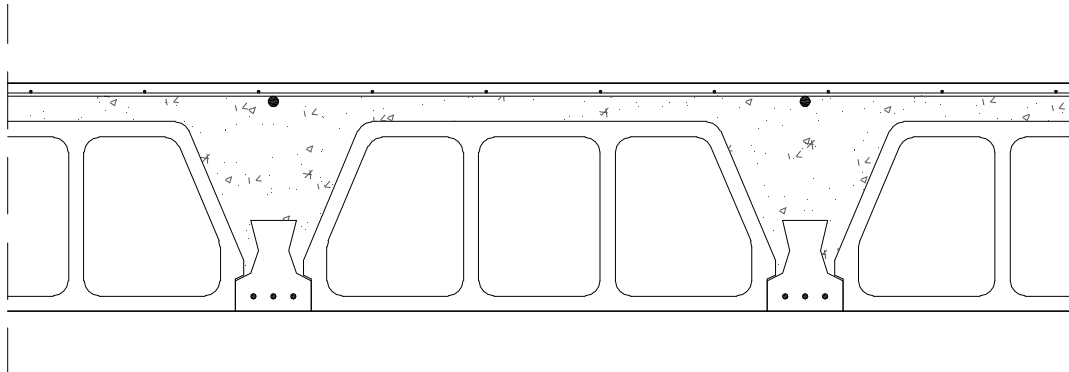


Detalle de forjado unidireccional de viguetas autorresistentes de hormigón pretensado. E = 1/10.



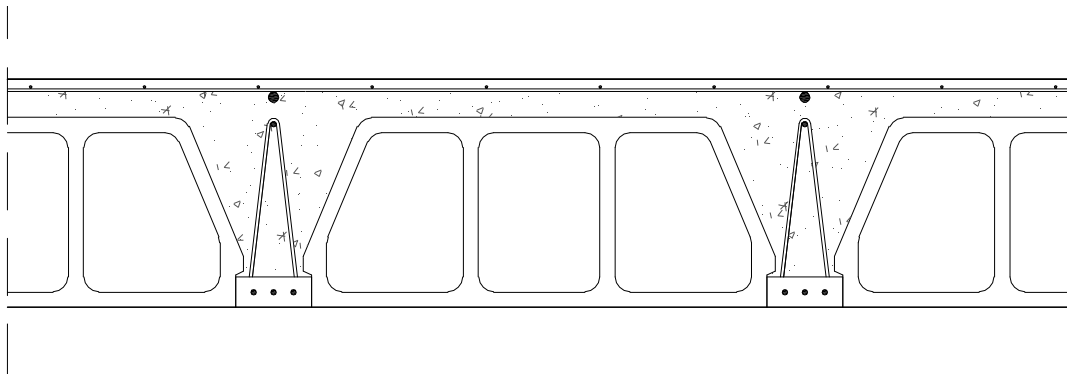
Forjado unidireccional de viguetas autorresistentes de hormigón pretensado.

Forjado con viguetas semirresistentes o semiviguetas pretensadas:



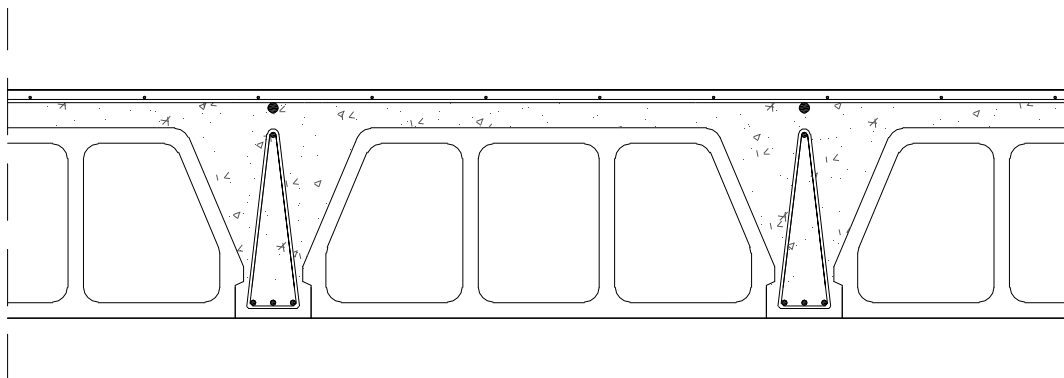
Detalle de forjado unidireccional de semiviguetas o viguetas semirresistentes de hormigón pretensado. E = 1/10.

Forjado con viguetas semirresistentes o semiviguetas armadas:



Detalle de forjado unidireccional de semiviguetas de hormigón armado. E = 1/10.

Forjado de nervios in situ:



Detalle de forjado unidireccional de nervios hormigonados in situ. E = 1/10.

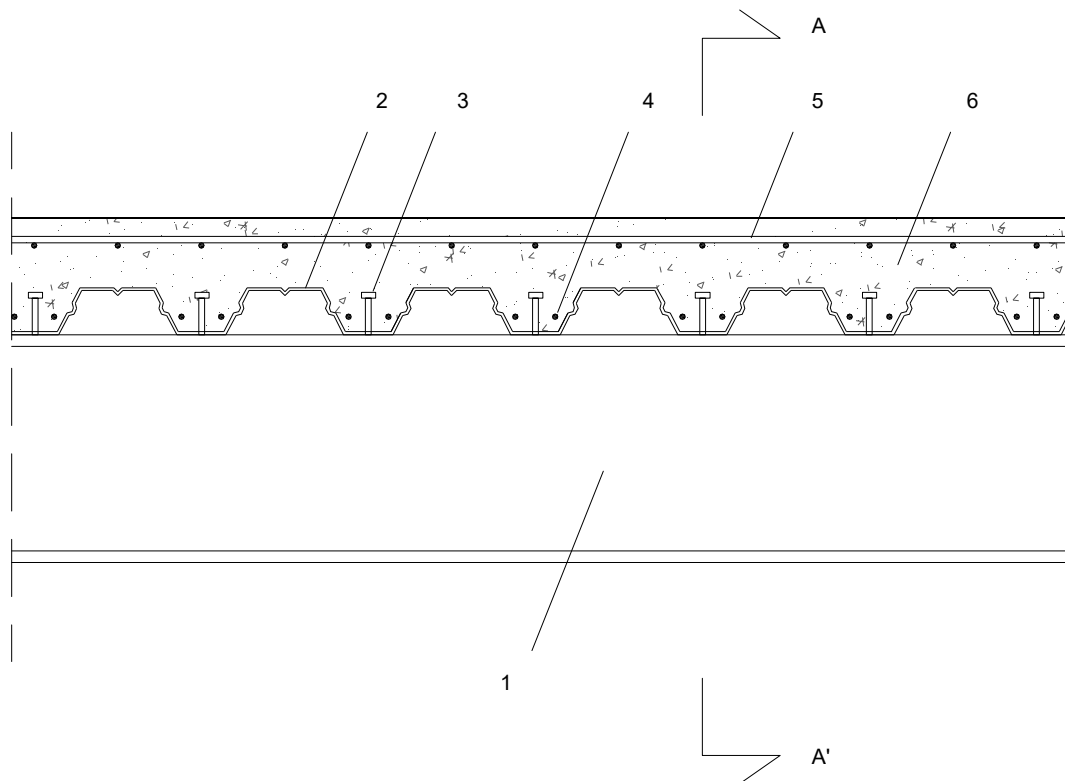


Forjado unidireccional de nervios hormigonados in situ.

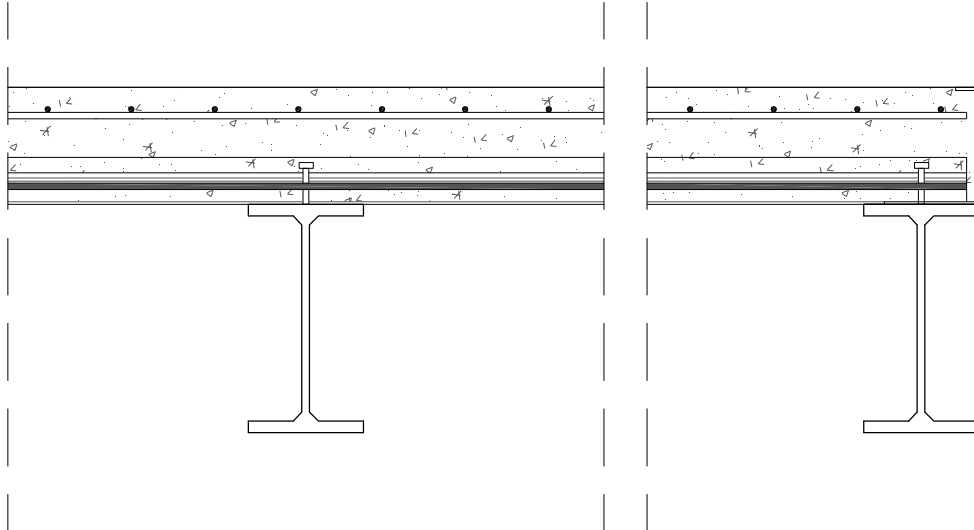
- Forjados de chapa colaborante:

Se trata de otra tipología de forjado unidireccional **semiprefabricado**, constituido por una **chapa grecada de acero galvanizado**, sobre la que se vierte una **capa o losa de hormigón in situ**, la cual dispone de una **armadura de reparto**, que evita la fisuración del hormigón por retracción o por variación de la temperatura, y de un conjunto de barras longitudinales o **armaduras de positivos en los senos**. La chapa grecada actúa como encofrado del hormigón durante el proceso de ejecución, disponiendo de la resistencia y rigidez suficientes para poder **prescindir de cimbras y apeos provisionales**. Así mismo, las grecas se configuran con un perfil que asegura una buena conexión entre el acero y el hormigón.

Se trata de una tipología de forjado que habitualmente apoya **sobre vigas metálicas**, asegurando una buena conexión viga-forjado mediante conectores, de modo que la losa de hormigón que envuelve las cabezas de las vigas, genera una **sección mixta acero-hormigón**. En el apoyo extremo se puede disponer de una chapa que ejerza de cierre, a modo de costero.

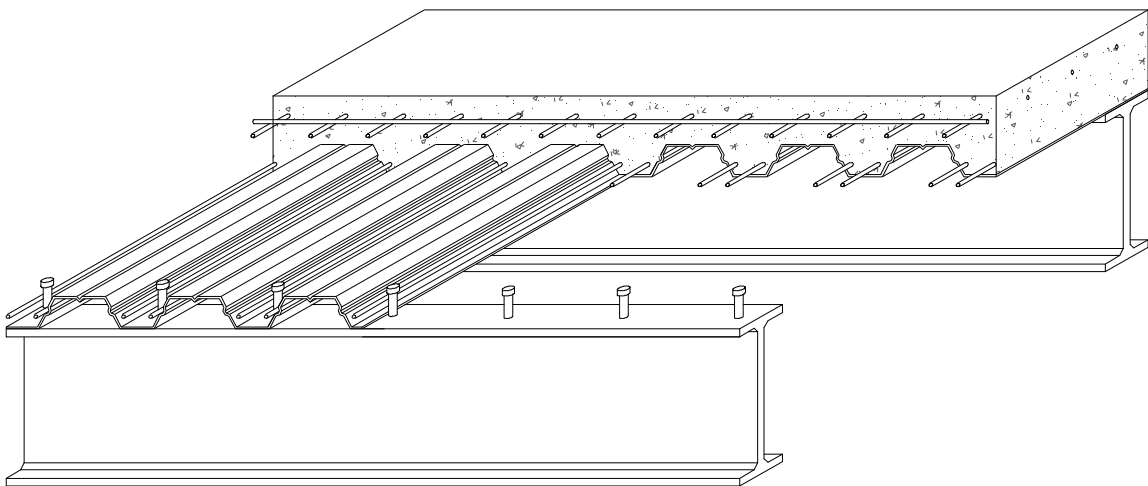


1. Viga metálica.
2. Chapa metálica grecada.
3. Pernos de conexión.
4. Armadura longitudinal de los senos, armadura de positivos.
5. Armadura de reparto.
6. Relleno de hormigón.



Sección A-A'

Detalle de forjado unidireccional de chapa colaborante. E = 1/10.



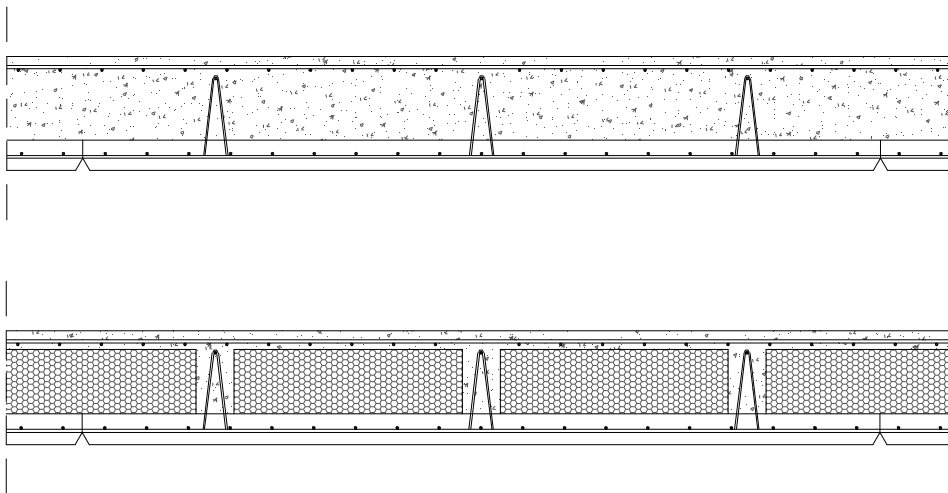
Vista axonométrica de forjado unidireccional de chapa colaborante.

Así mismo, también puede ser utilizado con estructura de hormigón, asegurando una entrega mínima en la viga o muro de apoyo de 10 cm.

- Prelosas:

Las prelosas son forjados unidireccionales **semiprefabricados** de hormigón armado. Constan de una **placa de hormigón armado** prefabricada y pretensada, cuyo espesor varía entre los **5 y 8 cm**, que **incluye la armadura inferior y las armaduras en celosía**. Estas placas constituyen un forjado semiacabado, que se monta en obra y se rellena con una última **capa de hormigón colocado in situ**, tras disponer la armadura de la cara superior. El espesor final de la losa, en función de la carga soportada y la luz entre apoyos puede variar entre 12 y 30 cm. Puede proyectarse **secciones macizas o aligeradas**, mejorando en este último caso el aislamiento térmico mediante la disposición de un **relleno de fibra o poliestireno**. Es un forjado apto para luces moderadas. El ancho es variable en función del número de nervios, suele rondar los 1,2 m.

Existen **prelosas autoportantes**, con la ventaja de prescindir de la colocación de puntales y sopandas provisionales durante el proceso de ejecución.



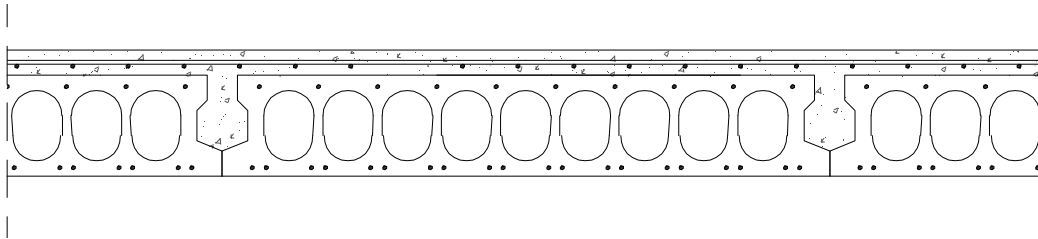
Detalle de forjado de prelosas macizo y aligerado con bovedillas de poliestireno. E = 1/20.



Forjados de prelosas. Fuente: <www.previerval.es> <www.adhorna.es> [Consulta: 4 de febrero de 2014].

- Losas aligeradas o alveolares prefabricadas:

Se trata de un tipo de forjado unidireccional **prefabricado**, constituido por **placas de hormigón pretensado**, de canto constante, **aligeradas mediante** la creación de **alveolos** en su sección, que recorren toda su longitud. Se trata de **piezas autoportantes**, con la ventaja de no necesitar sopandas y puntales provisionales durante su ejecución. Se disponen **apoyadas sobre las vigas**, garantizándose el empotramiento a las mismas mediante las armaduras de conexión, reduciéndose los trabajos en obra al **hormigonado de las juntas y de la capa de compresión**, la cual no siempre es necesaria. En ausencia de capa de compresión, el reparto de las cargas se consigue mediante la correcta ejecución de las juntas, las cuales disponen de una sección especialmente diseñada para tal efecto.



Detalle de forjado de losas alveolares. E = 1/10.



Forjado unidireccional de losas alveolares con apoyo en estructura metálica.

Esta tipología de forjado permite alcanzar **mayores luces con igual canto** que las anteriores tipologías, o soportar **sobrecargas de uso elevadas** con cantos de forjado reducidos. Los cantos pueden ir desde 12 a 40-50 cm. Suelen tener un ancho de 1,2 m.

- Placas nervadas o Pi (π):

Se trata de un forjado configurado mediante **placas prefabricadas autoportantes**. Puede prescindir totalmente de la colocación de la capa de compresión in situ o se puede quedar reducida a una pequeña capa de 3-4 cm.

Se trata de una tipología de forjado muy utilizado en cubierta inclinada, proyectando directamente sobre las piezas espuma de poliestireno, para resolver el aislamiento térmico, y sobre esta, la teja directamente apoyada.



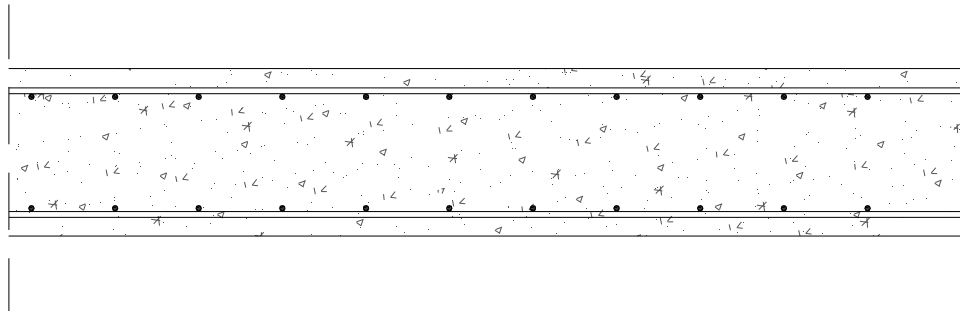
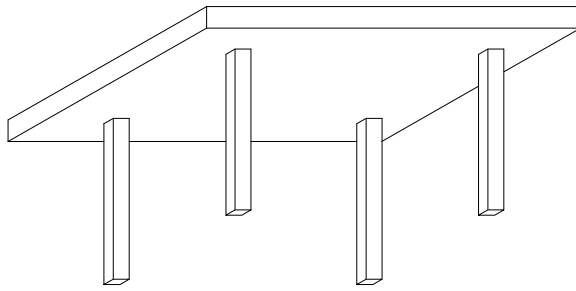
Forjados de placas nervadas o Pi. Fuente: <es.prefcat.com> <www.archiexpo.com> [Consulta: 4 de febrero de 2014].

4.2.2. FORJADOS BIDIRECCIONALES

Son aquellos forjados que **poseen elementos resistentes (nervios) en dos direcciones**, formando una retícula. El forjado flexa en dos direcciones, transmitiendo las cargas directamente a los pilares, habitualmente a través de macizados, llamados ábacos, permitiendo la libre disposición de los apoyos en planta. El espacio entre los nervios puede macizarse, constituyendo las llamadas **losas macizas**, o aligerarse, dando lugar a las **losas nervadas**.

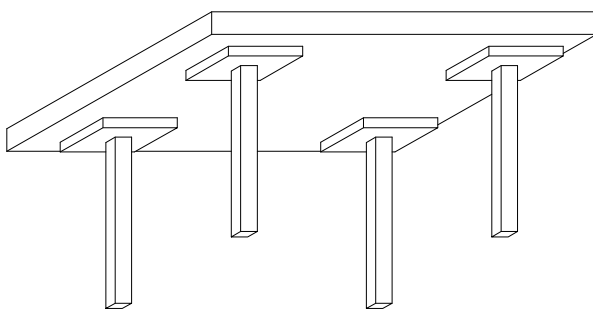
Las **losas macizas** se caracterizan por tener un comportamiento isótropo en todas las direcciones y en toda su dimensión. Podemos distinguir entre:

- Losas planas: destacan entre sus ventajas la **sencillez del encofrado y la planeidad de la cara inferior**, garantizando una correcta estética del acabado y el fácil trazado de las instalaciones colgadas. Tienen el inconveniente de su **excesivo peso** debido al volumen de hormigón, con **mayores deformaciones** que otros tipos de losa. Si aumentan las luces puede haber problemas de punzonamiento y gestión de armaduras en los apoyos.



Perspectiva y detalle de losa maciza. E = 1/10. Imagen de la cara inferior de un forjado de losa maciza. Fuente: <www.basenet.es> [Consulta: 4 de febrero de 2014].

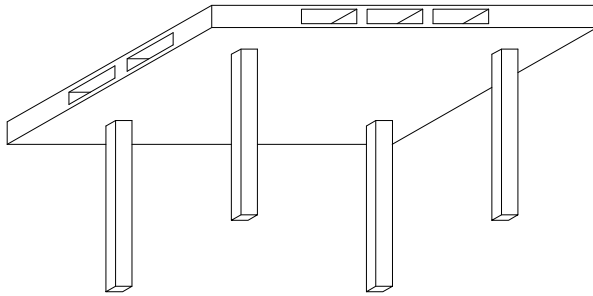
- Losas con capiteles o ábacos: resuelve los problemas de la tipología anterior, con el único inconveniente de la complejidad y el coste más elevado de los encofrados.



Perspectiva e imagen de la cara inferior de una losa con capiteles o ábacos. Fuente: <www.construmatica.com> [Consulta: 4 de febrero de 2014].

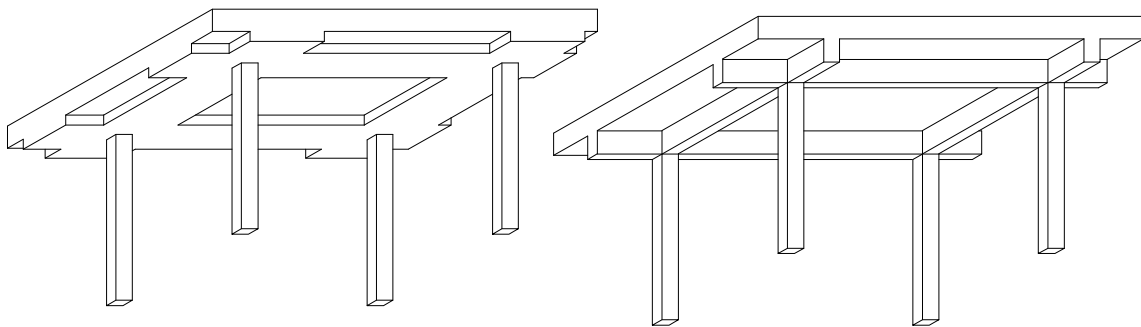
Entre las **losas nervadas** podemos distinguir:

- Losas aligeradas:



Perspectiva de losa aligerada. Imagen durante el proceso de hormigonado. Fuente: <dro390mazatlan.com> [Consulta: 7 de marzo de 2016].

- Losas con vigas planas o vigas de canto:



Perspectiva de losas con vigas planas y con vigas de canto.

- Losas o forjados reticulares: presentan una serie de ventajas respecto de las losas macizas: a igualdad de canto, cargas y luces, tienen **mayor resistencia al punzonamiento** y sufren **deformaciones menores**. La principal desventaja de estos sistemas es la complejidad de su encofrado, para el cual se utilizan **casetones recuperables o perdidos**, y el armado de los nervios, que deben satisfacer unos requisitos de ancho mínimo, al igual que la losa superior, que cumplirá unos valores mínimos de espesor.



Forjado reticular ejecutado con casetones perdidos.



Forjado reticular ejecutado con casetones recuperables.

5. FORJADOS UNIDIRECCIONALES CON NERVIOS Y PIEZAS DE ENTREVIGADO

La **tipología más empleada** comúnmente en edificación son los forjados unidireccionales con nervios y bovedillas. En estos forjados debemos **determinar la dirección que seguirán los nervios**, para cubrir las superficies delimitadas por los pilares y vigas que conforman los diferentes pórticos de la estructura, crujías. Su representación se realiza en planta, mediante una doble flecha o con los ejes de los nervios marcados si se conoce la distancia de entrevigado o intereje del forjado. De este modo quedará definida la solución adoptada en las diferentes crujías y en los puntos singulares como: voladizos, huecos de escaleras, zonas irregulares, bordes, etc.

5.1. ELEMENTOS CONSTITUYENTES

Entre los **elementos constituyentes** podemos distinguir:

- **partes resistentes**: nervios, viguetas o semiviguetas, armaduras de refuerzo de los momentos negativos y capa de compresión.
- **partes aligerantes**: revoltón, bovedillas, casetones, etc.

El **canto total** de esta tipología de forjados suele oscilar en torno a los **30 cm**, no debiendo superar en ningún caso los 50 cm.

5.1.1. NERVIOS

Son los principales elementos resistentes del forjado, que **salvan la luz de las diferentes crujías**, apoyando directamente sobre las vigas, a las que transmiten las cargas recibidas. Podemos encontrar distintos tipos en función de los materiales o procedimientos constructivos:

- nervios: se trata de **elementos de hormigón armado ejecutados in situ**, disponiendo previamente el encofrado correspondiente. Su sección suele ser sensiblemente rectangular.
- viguetas: se trata de **elementos prefabricados** con secciones de geometrías diversas. En función de su material y de su forma de trabajo podemos distinguir entre:
 - viguetas de madera: se sección cuadrada o rectangular. Elementos de uso frecuente en los forjados de madera o en forjados tradicionales.



Viguetas de madera. Fuente: <www.sierolam.com> [Consulta: 4 de febrero de 2014].

- viguetas metálicas: habitualmente con perfiles en I. Uso frecuente en forjados metálicos o mixtos.



Viguetas de acero. Fuente: <www.generadordeprecios.info> [Consulta: 4 de febrero de 2014].

- viguetas autorresistentes de hormigón pretensado: se trata de viguetas de hormigón prefabricadas con **capacidad portante**, capaces de resistir todos los esfuerzos a los que se ve sometido el forjado desde el momento de su puesta en obra.



Viguetas autorresistentes de hormigón pretensado. Fuente: <www.pascualblanch.com> [Consulta: 4 de febrero de 2014].

- viguetas semirresistentes o semiviguetas de hormigón pretensado: se trata de viguetas de hormigón prefabricadas, que disponen de una sección menor que las anteriores. **No disponen de la resistencia suficiente** para poder soportar la totalidad de los esfuerzos del forjado, necesitando para ello la colaboración de los elementos resistentes ejecutados in situ.



Viguetas semirresistentes de hormigón pretensado. Fuente: <www.premex.com> <www.viguetasnavarras.com> [Consulta: 4 de febrero de 2014].

- viguetas semirresistentes o semiviguetas de hormigón armado: se trata de viguetas que disponen de una base de sección rectangular de reducido espesor de hormigón armado, a la cual se ancla una armadura en celosía que recorre toda su longitud. Al igual que las anteriores, **no son autoportantes**, por lo que no son capaces de transmitir las cargas recibidas por el forjado hasta que éste no está finalizado.



Viguetas armadas. Fuente: <www.previenva.es> [Consulta: 4 de febrero de 2014].

En el caso de aquellas viguetas que no disponen de armaduras transversal de conexión con el hormigón colocado in situ, el **perfil de la pieza** dejará a ambos lados un paso de al menos **3 cm**, para asegurar una correcta unión entre los mismos y el buen funcionamiento de la junta (ver condiciones geométricas del forjado, 4.1.5).

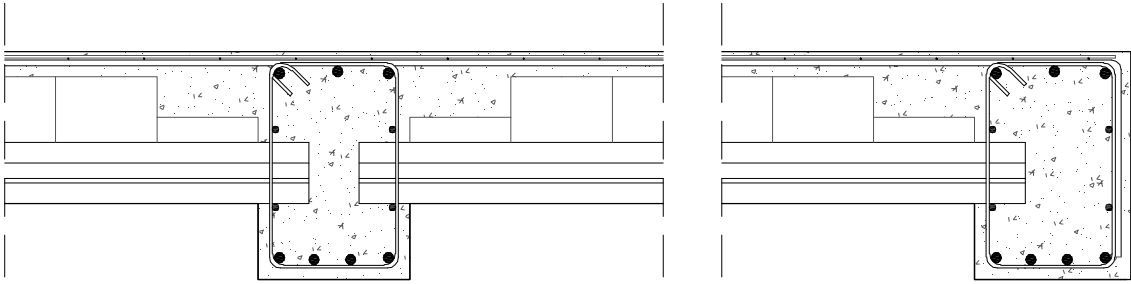
La distancia entre elementos resistentes o **intereje**, varía en función del tipo de nervio utilizado:

- viguetas prefabricadas: adoptaremos un intereje de 70 cm.

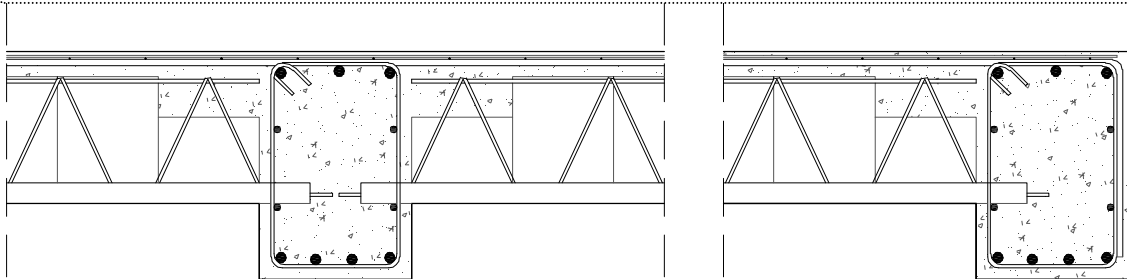
- nervios in situ: el intereje depende del ancho de nervio. Adoptaremos un intereje de 72 cm para nervios de 12 cm.

Estos nervios apoyan en las vigas, a las cuales transmiten las cargas del forjado. Podemos distinguir principalmente entre dos **tipos de apoyos**:

- **Apoyos directos:** aquellos en los que las viguetas se introducen una determinada longitud en la viga. Únicamente son posibles con vigas de canto.

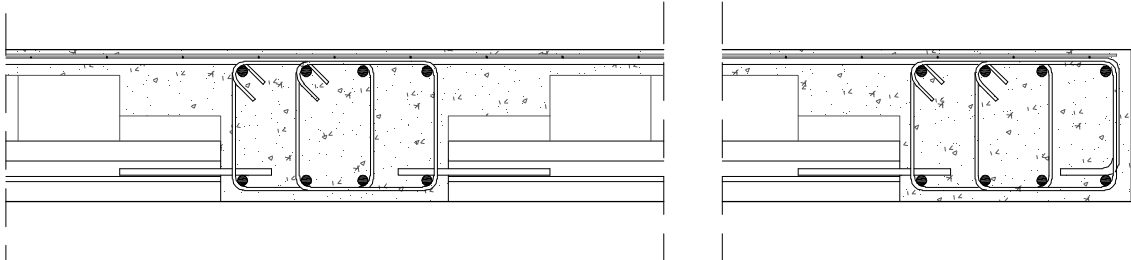


Apoyo directo de semiviguetas pretensadas en viga de canto. Apoyo intermedio y en viga de borde.
E = 1/15.

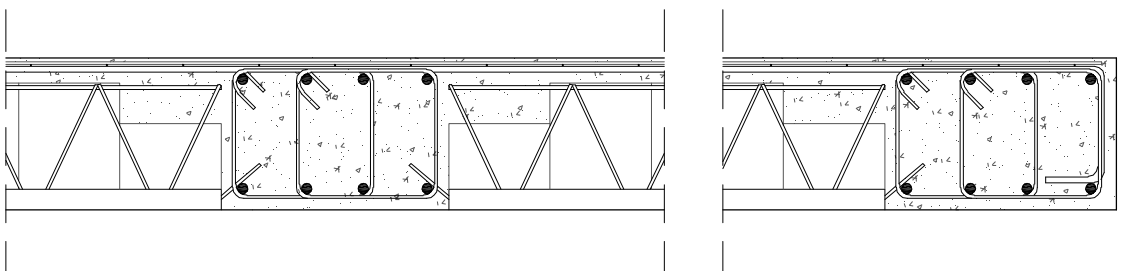


Apoyo directo de semiviguetas armadas en viga de canto. Apoyo intermedio y en viga de borde.
E = 1/15.

- **Apoyos indirectos:** aquellos en los que la entrega se produce a través de la armadura de la propia vigueta o mediante la disposición de armadura adicional. Tipología aplicable al apoyo de los nervios sobre vigas planas.



Apoyo indirecto de semiviguetas pretensadas en viga plana. Apoyo intermedio y en viga de borde.
E = 1/15.



Apoyo indirecto de semiviguetas armadas en viga plana. Apoyo intermedio y en viga de borde.
E = 1/15.

5.1.2. PIEZAS DE ENTREVIGADO

Las piezas de entrevigado se disponen salvando el intereje existente entre los nervios o viguetas. Su función principal es el **aligeramiento del forjado**, con el objetivo de **optimizar los recursos y reducir el coste** económico de la construcción, reduciendo las dimensiones de sus elementos constituyentes, a la vez que manteniendo las condiciones funcionales, estéticas y de seguridad previstas. La reducción del peso conlleva la **reducción de la deformación**, disminuyendo el riesgo de producir lesiones en elementos rígidos como tabiquerías, solados, etc. Además, al reducir la masa de la estructura, se reduce la deformación horizontal, mejorando con ello su comportamiento frente a las acciones de sismo.

Las piezas de entrevigado de uso más extendido en la actualidad son las **bovedillas**. En función del material que las constituye podemos distinguir entre bovedillas: **cerámicas, de hormigón o de poliestireno expandido**.



Bovedillas de poliestireno expandido. Fuente: <www.pavimentoselche.com> [Consulta: 9 de marzo de 2016]; .



Bovedillas de hormigón.



Bovedillas de poliestireno expandido. Fuente: <www.aislenvas.es> [Consulta: 9 de marzo de 2016].

Todas ellas cumplen las funciones de elemento aligerante del forjado, además de poder cumplir otras **funciones añadidas**: algunas bovedillas de hormigón y cerámicas pueden **colaborar con las funciones resistentes** del forjado, mientras que las bovedillas de poliestireno expandido **mejoran el aislamiento térmico** entre plantas.

Los únicos **requisitos** a cumplir por todas ellas son: que el material que las constituye no sea agresivo para el hormigón ni las armaduras y que la carga de rotura en vano, sea igual o mayor a 100 Kp en las aligerantes y no inferior a 175 Kp en las resistentes.

La **geometría de las secciones** puede ser muy diversa. La evolución de su forma marca una tendencia al **abandono de las formas convexas** en favor de las cóncavas, que mejoran la unión del hormigón in situ con las viguetas, aumentando la resistencia a esfuerzo cortante del conjunto. En general, el perfil será tal que a cualquier distancia c de su eje de simetría, el espesor h de hormigón será superior a $c/8$ en el caso de piezas de entrevigado resistentes y $c/6$ en el caso de las aligerantes (ver condiciones geométricas del forjado, 4.1.5).

La **elección del tipo de bovedilla** tendrá en cuenta el buen funcionamiento del conjunto del forjado durante la vida útil del edificio. Hay que considerar las acciones del movimiento de la estructura y de los elementos propios del forjado, cuyos materiales sufren dilataciones y contracciones debidas a efectos de la temperatura. El uso de bovedillas cerámicas en forjados con nervios ejecutados in situ puede provocar la "explosión" de las panzas, debido a los efectos de la compresión originada por fuertes dilataciones.

5.1.3. CAPA DE COMPRESIÓN

La capa de compresión es una capa continua de hormigón armado destinada a conseguir un **comportamiento monolítico del forjado** mediante el atado de los nervios en cabeza. Su función principal es el reparto de cargas aplicadas al forjado, ligado y arriostramiento horizontal, etc.

El **espesor mínimo** de la capa de compresión será de:

- 3 cm sobre viguetas autorresistentes.
- 4 cm sobre bovedillas cerámicas o de hormigón.
- 5 cm sobre bovedillas o piezas de entrevigado de otro tipo.
- 5 cm sobre piezas de entrevigado cuando la zona geográfica donde se sitúa el edificio tiene una $a_c > 0,16g$.

Dispondrá de una **armadura de reparto** con alambres de acero de al menos 4 mm de diámetro en las dos direcciones, a intervalos no superiores a 35 cm. Es habitual que el armado predomine en la dirección perpendicular a los nervios, con retículas de 20 x 35 o 25 x 35 cm. La armadura de reparto tiene la función de: distribuir en sentido transversal las cargas localizadas, evitando la fisuración de la cara inferior del forjado; evitar la fisuración por retracción y variaciones de temperatura; dar resistencia al forjado frente a las acciones horizontales que actúan sobre la estructura; y asegurar el enlace entre el forjado y el resto de la estructura frente a acciones imprevistas.

5.1.4. ARMADURA MINIMA LONGITUDINAL

Los forjados deben disponer, además de la armadura de reparto de la capa de compresión, de una **armadura mínima longitudinal de refuerzo en aquellas zonas donde se producen momentos negativos**. La disposición de esta armadura depende de las formas básicas en que un forjado puede trabajar:

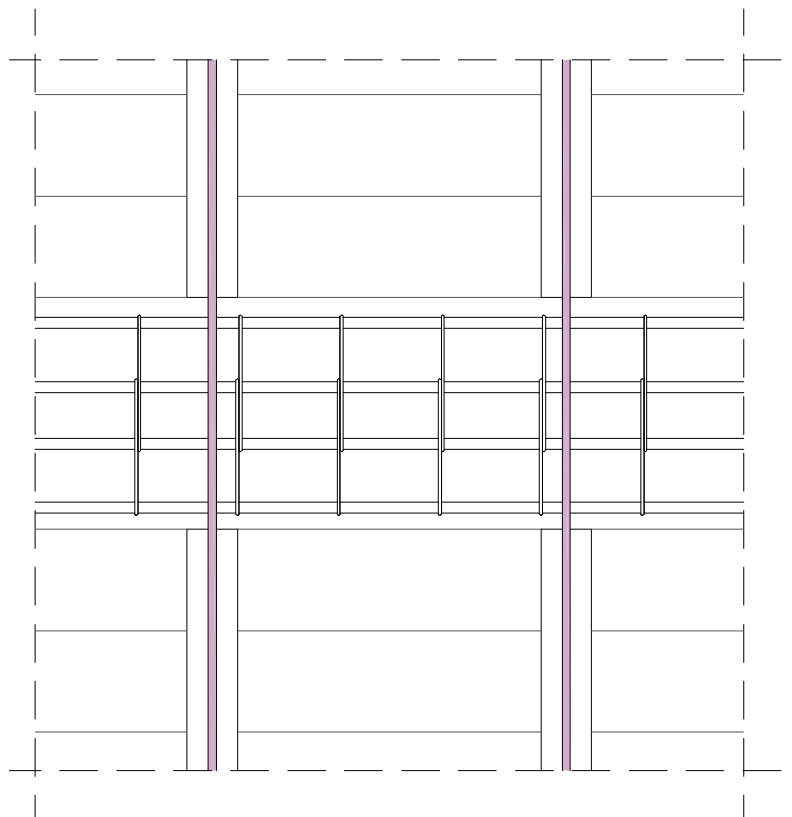
- biapoyado: no existe empotramiento en sus extremos y por tanto la flexión máxima se produce en el centro de vano, de modo que se producen momentos positivos, aquellos que producen compresión en la cara superior y tracción en la cara inferior del forjado.
- biempotrado: la flexión en centro de vano se reduce a la mitad, aliviando las tensiones producidas por el momento positivo, pero produciéndose momentos negativos en los encuentros con los apoyos, tracción en la cara superior y compresión en la cara inferior.

Cuando los **forjados** están **constituidos por nervios semirresistentes** (semiviguetas), no disponen de armadura suficiente en la cara superior para poder soportar estas sollicitaciones en las zonas de los apoyos, por lo que será imprescindible disponer una armadura mínima longitudinal capaz de absorber los esfuerzos de tracción, denominada **armadura de negativos**, la cual se prolonga una

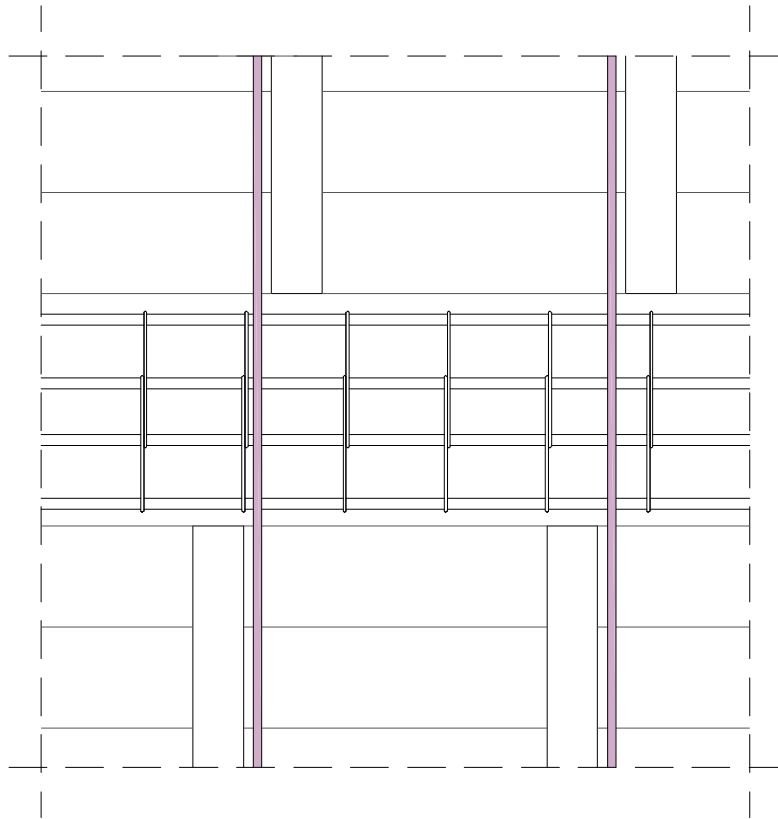
determinada longitud en el vano, en ambos sentidos, para crear un anclaje efectivo de la misma.

Esta armadura está compuesta habitualmente por **una o dos barras**, de diámetro y longitud requeridos según el cálculo del forjado. Las **recomendaciones constructivas** en cuanto a su disposición son:

- los redondos **se dispondrán sobre la viga o apoyo**, anclados adecuadamente en ambos extremos, cumpliendo las longitudes mínimas establecidas.
- conviene que las **viguetas** se dispongan completamente **enfrentadas en los apoyos**, admitiéndose una desviación inferior a la distancia recta entre testas en apoyos interiores y hasta 4 cm en apoyos en voladizo.

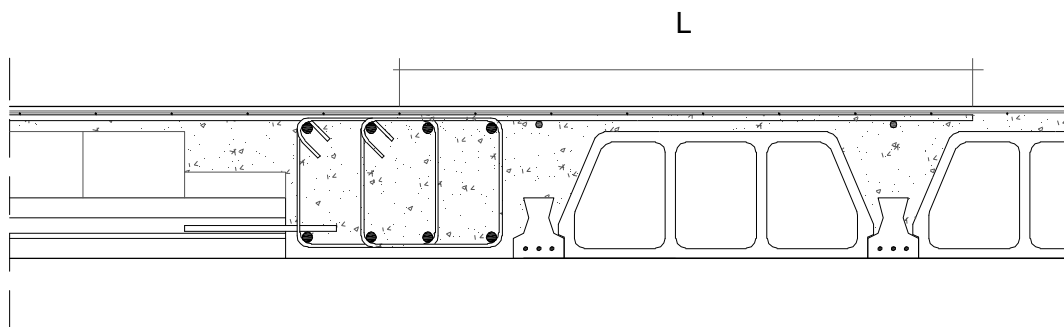


Disposición de la armadura de negativo en los apoyos con las viguetas de ambas crujeas alineadas a eje. E = 1/15.



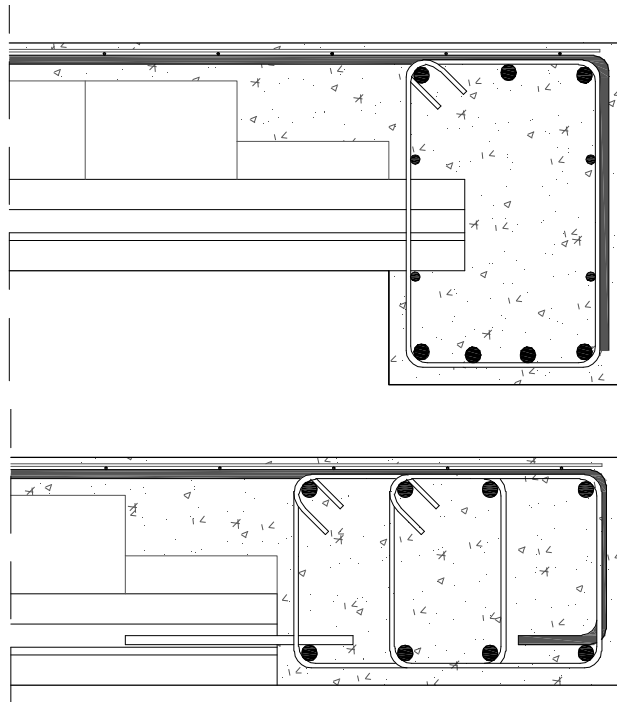
Disposición de la armadura de negativos en los apoyos cuando las viguetas no disponen de sus ejes alineados. Desviación máx. inferior a la distancia entre testas en apoyo intermedio y a 4 cm en apoyo en voladizo. $E = 1/15$.

- en los casos en que **un forjado acomete a otro perpendicularmente**, la armadura superior se anclará en **prolongación recta**. Es una buena práctica además disponer de **macizados** para reforzar el encuentro.



Anclaje de la armadura de negativos por prolongación recta cuando acometen dos tramos de forjado perpendiculares. $E = 1/15$.

- en los **apoyos extremos**, la armadura superior tendrá una longitud no inferior a un décimo de la luz, $L/10$, ni a dos veces el canto del forjado, $2d$. En el extremo exterior el anclaje se hará por prolongación vertical. Si en el caso de las vigas planas no hay espacio suficiente para el anclaje en prolongación recta, se podrá doblar en horquilla.



Los **recubrimientos de las armaduras** cumplirán los mismos preceptos establecidos para el recubrimiento de las armaduras de las vigas. En términos generales, **nunca será inferior a 15 mm**.

Anclaje de la armadura de negativos por prolongación vertical u horquilla en apoyo extremo. $E = 1/10$.

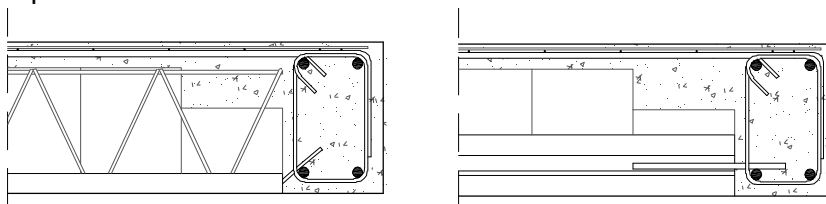
5.2. ELEMENTOS SINGULARES DE UN FORJADO

En los forjados aparecen una serie de puntos singulares que requieren especial atención en cuanto a su diseño y ejecución.

5.2.1. ZUNCHOS DE BORDE

El perímetro del forjado debe disponer de un **elemento de atado que garantice un comportamiento solidario del conjunto**, de modo que en aquellos lados donde no recaiga una viga propiamente dicha, se dispondrá de un nervio ejecutado in situ, denominado **zuncho de borde**. Su misión principal es consolidar el forjado en todo su perímetro, ya sea exterior o interior.

Suelen estar constituidos por **cuatro redondos longitudinales, atados mediante estribos** a lo largo de toda su longitud, hormigonados in situ junto a las vigas, nervios y capa de compresión.



Zunchos de borde en forjados de semiviguetas armadas o pretensadas. $E = 1/10$.

Estos elementos también se dispondrán en aquellas zonas del forjado que vayan a recibir elementos de cerramiento de fachada, división interior entre distintas unidades de uso, etc.



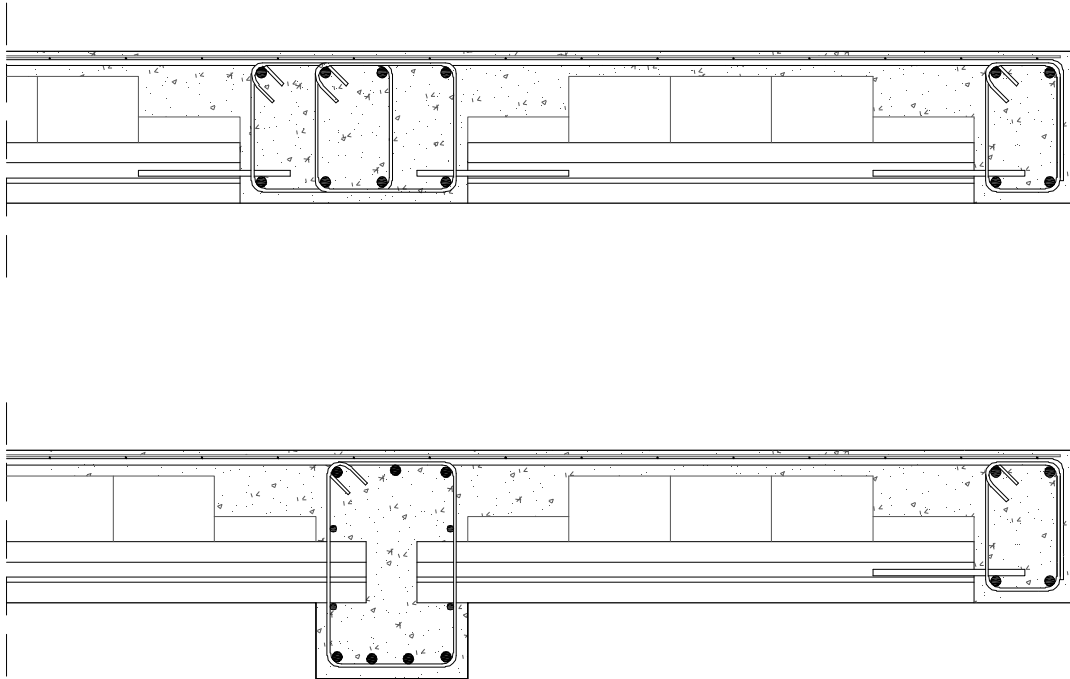
Armado de forjado unidireccional con nervios in situ. Disposición de zunchos en borde y en apoyo de fábrica pesada.

5.2.2. VOLADIZOS

Son las partes del forjado que disponen de un **único punto de apoyo**, quedando el otro extremo volado. Para conseguir la estabilidad de dicho elemento será necesario realizar un **empotramiento efectivo** en el punto de apoyo, el cual se consigue mediante la disposición de una **armadura longitudinal de negativos**, dispuesta en la cara superior, donde se producen las tracciones. En el extremo volado se dispondrá un **zuncho perimetral de atado** que garantice el comportamiento solidario de los nervios que constituyen el conjunto.

Nos podemos encontrar con **dos posibles situaciones**:

- que los **nervios** del voladizo tengan la **misma dirección que los nervios del forjado**.



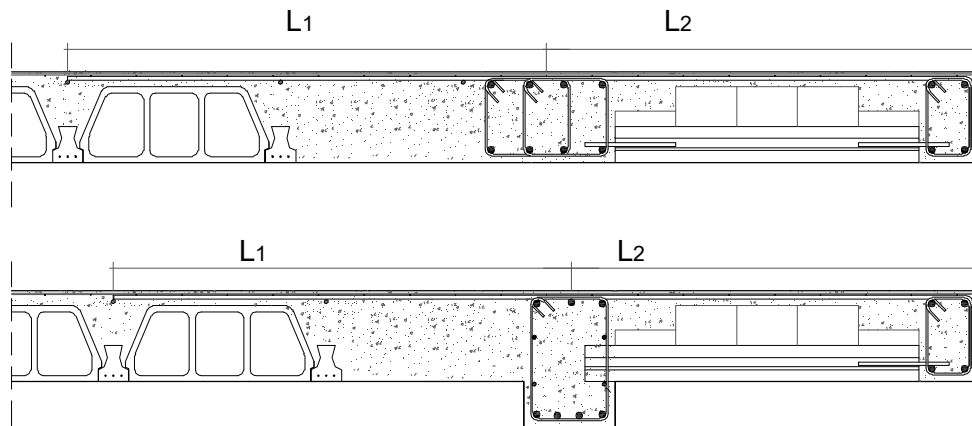
Voladizo resuelto con viguetas semirresistentes en la misma dirección que el forjado. $E = 1/15$.

Existe de disponer moldes de encofrado de poliestireno que imprimen en el zuncho molduras, goterones, etc., habitual en aquellos casos en que el hormigón queda visto.



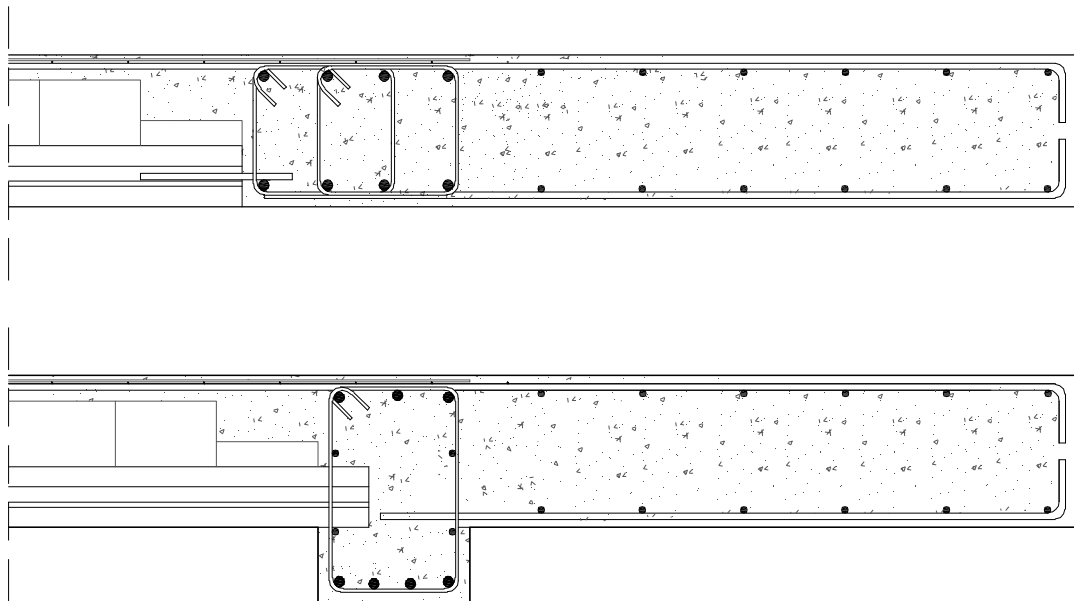
Voladizo resuelto con nervios en la misma dirección que el forjado.

- que los **nervios** del voladizo sean **perpendiculares a los nervios del forjado**: en este caso la armadura superior se anclará por **prolongación recta**, adentrándose al menos **dos nervios consecutivos**. En el extremo volado, el anclaje se realizará por prolongación vertical, envolviendo el zuncho de atado. Se garantizará la resistencia a compresión mediante el **macizado del primer intereje** del forjado o disposiciones equivalentes.



Voladizo resuelto con viguetas semirresistentes en dirección perpendicular al forjado. $E = 1/25$.

Otra posible solución sería resolver el voladizo como si de una **pequeña losa armada** se tratase.



Voladizo resuelto con losa maciza. $E = 1/15$.

El objetivo de estas soluciones constructivas es **minimizar la flecha** producida en el extremo del voladizo, la cual puede superar hasta 10 veces la flecha del forjado. Las consecuencias de una flecha excesiva es la presencia de patologías en otros elementos constructivos, como la aparición de grietas y fisuras en los cerramientos que sobre ellos descansan.

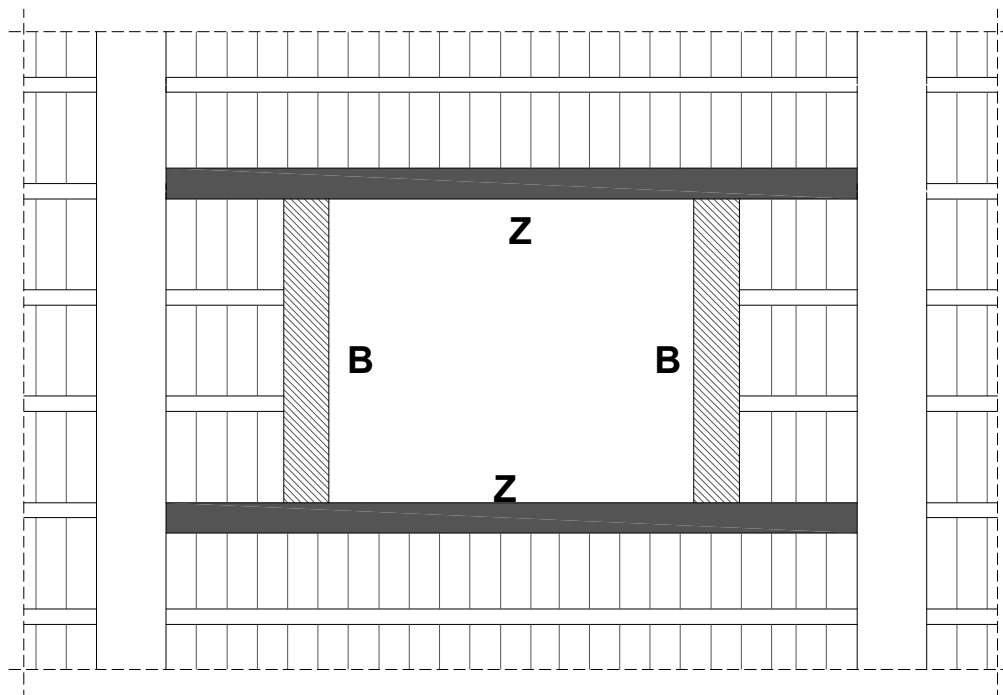
5.2.3. ABERTURAS EN EL FORJADO

Los **elementos de comunicación vertical**, huecos de escaleras, ascensores, etc., requieren de la **abertura de huecos en el forjado**, que deben quedar **resueltos estructuralmente**, proporcionando un apoyo adecuado tanto al conjunto de elementos resistentes que quedan sin apeo, como al cerramiento pesado que apoya en el borde, materializando la envolvente interior.

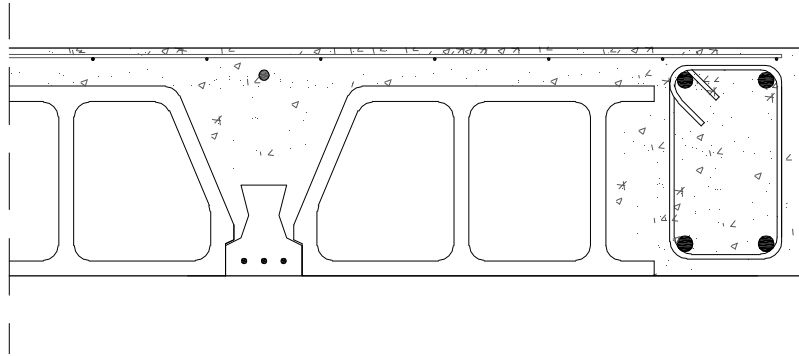
Será necesario reforzar el perímetro del hueco mediante la disposición de **zunchos y macizados**, así como transferir las cargas de los nervios cojos a los elementos contiguos a través de pequeñas vigas denominadas **brochales**.

Las viguetas que limitan la abertura pueden duplicarse o incluso triplicarse, salvo en aberturas muy pequeñas, disponiendo así mismo de un **zuncho de borde**, de ancho mínimo 10 cm, armado al menos con 2 \varnothing 8, atados mediante prolongación vertical de las armaduras de anclaje al forjado.

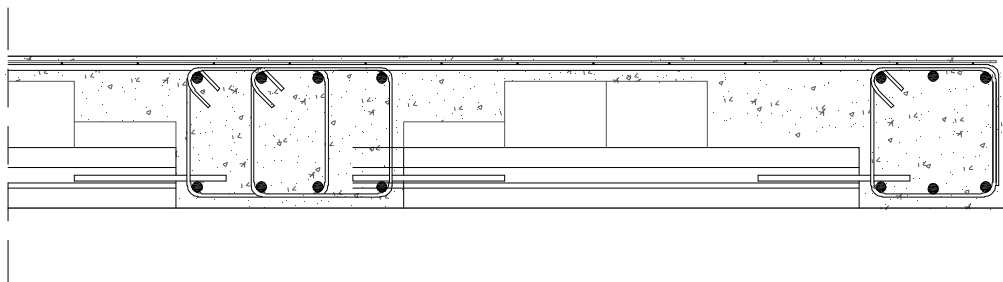
Las viguetas que quedan **interrumpidas apoyarán en los brochales** dispuestos a tal efecto, que descansan a su vez en las viguetas o nervios que limitan el hueco, anclándose convenientemente al forjado mediante la prolongación de sus armaduras. Los brochales están sometidos a **momentos positivos** máximos en centro de vano, por lo que dispondrán en la cara inferior de una cuantía de armadura superior a la de la cara superior. Se procederá al **macizado del vano contiguo** una distancia igual al canto del forjado.



Disposición de zunchos y brochales dando solución a la abertura de un hueco en un forjado. E = 1/50.



Detalle del zuncho del borde que delimita el hueco. Elemento con apoyo en dos vigas interiores. E = 1/10.

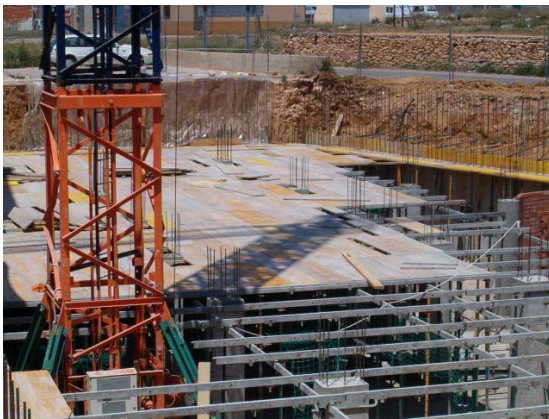


Detalle del brochal que recibe a las viguetas que quedan sin apoyo. Elemento con apoyo en dos zunchos. E = 1/15.

5.3. PROCESO CONSTRUCTIVO

El proceso constructivo del forjado depende principalmente de la **capacidad de los elementos para mantener su peso propio**, el de las armaduras y el del hormigón vertido in situ sobre ellos durante el proceso de ejecución. Nos podemos encontrar con tres situaciones diferenciadas:

- forjados de **viguetas autorresistentes**: son autoportantes, por lo que no se requiere de cimbra durante el proceso de ejecución.
- forjados de **viguetas semirresistentes**: no tienen resistencia suficiente para soportar la totalidad de los esfuerzos a los que se ve sometido el forjado durante el proceso constructivo, por lo que requieren un cimbrado parcial (lineal), a base de sopandas y puntales. Se disponen una o más sopandas, disminuyendo la luz de la semivigueta y por tanto su deformación.
- forjados con **nervios ejecutados in situ**: requieren un cimbrado completo de la cara inferior del forjado.



Encofrado de un forjado con nervios ejecutados in situ.

Las **cimbras, encofrados y moldes**, así como las uniones de sus distintos elementos, poseerán la resistencia y rigidez suficientes para garantizar el cumplimiento de las tolerancias dimensionales y para resistir, sin asientos ni deformaciones perjudiciales, las acciones de cualquier naturaleza que puedan producirse sobre ellos como consecuencia del proceso de hormigonado y, especialmente, bajo las presiones del hormigón fresco o los efectos del método de compactación utilizado. Dichas condiciones deberán mantenerse hasta que el hormigón haya adquirido la resistencia suficiente para soportar, con un margen de seguridad adecuado, las tensiones a que será sometido durante el desencofrado, desmoldeo o descimbrado.

Una vez encofrado el forjado, se procede al armado de los elementos resistentes: vigas, zunchos y brochales. Las **armaduras** se colocarán **exentas de pintura, grasa o cualquier otra sustancia nociva** que pueda afectar negativamente al acero, al hormigón o a la adherencia entre ambos. Se garantizará el cumplimiento del **espesor mínimo del recubrimiento** de las armaduras, mediante disposición de **separadores** o calzos dispuestos en obra, a las distancias establecidas en la EHE.

Los **estribos de las vigas y zunchos** se sujetarán a las barras principales mediante un simple **atado** u otro procedimiento idóneo, prohibiéndose expresamente la fijación mediante puntos de soldadura una vez situada la ferralla en los moldes o encofrados. Únicamente se autoriza el uso de la técnica de soldadura para la elaboración de la ferralla, cuando la operación se realice de acuerdo con los procedimientos establecidos en la norma UNE 36832:97, el acero sea soldable y se efectúe en taller.

La **distancia entre dos barras aisladas** consecutivas, no impedirá tanto el correcto hormigonado de los elementos ejecutados in situ mediante las técnicas previstas (habitualmente vibradores internos), como el correcto recubrimiento de las mismas. Con tal fin, la distancia libre entre las mismas, tanto en horizontal como en vertical, será igual o superior al mayor de los tres valores siguientes:

- a) dos centímetros;
- b) el diámetro de la mayor;
- c) 1,25 veces el tamaño máximo del árido



Disposición de las armaduras de las vigas, zunchos y brochales.

Las **viguetas** estarán **almacenadas en obra** antes de proceder a la ejecución del forjado, dispuestas sobre apoyos que queden cerca de sus extremos. En el momento de su colocación, se apoyan en las vigas de hormigón armado, previamente encofradas y armadas. En el caso de tratarse de nervios ejecutados in situ se procederá a la colocación de sus armaduras.

Colocadas las viguetas, o las armaduras de los nervios, se disponen los **elementos de entrevigado**, las **armaduras longitudinales de negativos** y la **armadura de reparto** de la capa de compresión, quedando el forjado listo para proceder al hormigonado.



Disposición de los nervios, armaduras longitudinales de negativos y armadura de reparto.

El **hormigón** se encargará en función de la resistencia característica determinada por el cálculo, el tamaño máximo de árido y la consistencia requerida para una correcta puesta en obra. Habitualmente el **tamaño máximo del árido** se limita a **20 mm** y se determina una **consistencia blanda** (valores en el ensayo del Cono de Abrams entre 6-9 cm), facilitando así las operaciones de vibrado.

Es conveniente **regar los elementos de hormigón prefabricado**, así como los **encofrados y moldes**, y esperar a que sequen antes de proceder al hormigonado, evitando que el hormigón prefabricado, la madera, etc., absorban parte del agua del hormigón fresco vertido in situ. Las **superficies interiores** de los encofrados aparecerán **limpias** en el momento del hormigonado y presentarán las condiciones necesarias para garantizar la libre retracción del hormigón y evitar así la aparición de fisuras en los paramentos de las piezas.

El **espesor de las capas o tongadas** vertidas de hormigón dependerá del método y eficacia del **procedimiento de compactación** empleado. Como regla general, estará comprendido entre **30 y 60 cm**. La compactación de los hormigones en obra se realizará mediante procedimientos adecuados a la consistencia de las mezclas y de manera tal que se eliminen los huecos y se obtenga un perfecto cerrado de la masa, sin que llegue a producirse segregación. Cuando se utilicen **vibradores de superficie**, el espesor de la capa después de compactada no será mayor de 20 centímetros. El proceso de compactación con **vibradores internos** debe prolongarse junto a los fondos y paramentos de los encofrados, especialmente en los vértices y aristas. El proceso se prolongará hasta que refluya la pasta a la superficie y deje de salir aire.



Hormigonado del forjado con hormigón bombeado.



Hormigonado del forjado con tobera.



Vibrado del hormigón con vibrador interno.



Vibrado del hormigón con vibrador de superficie.

Una vez construido el forjado, el proceso de **descimbrado** se producirá cuando el hormigón alcance la resistencia suficiente, al menos de 80 Kg/cm^2 , nunca antes de 7 días. La retirada de los puntales se realizará de una forma progresiva, desde el centro hacia los apoyos, en los vanos interiores, y en los voladizos desde el vuelo hacia el arranque.



Desencofrado mediante la retirada progresiva de cimbras y puntales.

Los distintos elementos que constituyen los moldes, el encofrado (costeros, fondos, etc.), los apeos y cimbras, **se retirarán sin producir sacudidas** en la estructura, recomendándose, cuando los elementos sean de cierta importancia, el empleo de cuñas, cajas de arena, gatos u otros dispositivos análogos para lograr un **descenso uniforme de los apoyos**.

Las operaciones anteriores no se realizarán hasta que el hormigón haya alcanzado la resistencia necesaria para soportar, con suficiente seguridad y sin deformaciones excesivas, los esfuerzos a los que va a estar sometido durante y después del desencofrado, desmoldeo o descimbrado.

TEMA 4 - ESCALERAS

1. INTRODUCCIÓN

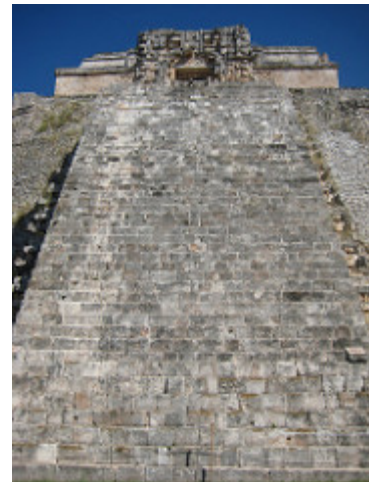
La historia de las escaleras se remonta a las **primeras construcciones del hombre**, como elemento constructivo que permitía llegar a los espacios más altos de las cabañas, chozas, etc. Estaban compuestas en sus inicios por un simple madero, que se tallaba toscamente, creando resaltes que ejercían de peldaños. No se conserva ninguna de estas escaleras, debido a su materialidad, pero existen estudios de las mismas y numerosas reproducciones de cómo debían estar configuradas.

Escaleras primitivas de madera. Fuente: <www.eleveescaleras.com> [Consulta: 18 de marzo de 2012]. (



A lo largo de la historia fue adquiriendo **carácter religioso**, entendida como símbolo del ascenso hacia el Sol, la luz, los astros o los dioses. Tal es el sentido de la torre de Babel en la Biblia, las escaleras de las pirámides mayas, etc. Muchos de estos últimos ejemplos sí han perdurado hasta nuestros días y pueden ser visitados en las profundidades de la selva mejicana. El material con el que fueron ejecutados fue la piedra, cuya durabilidad permite que sigan en pie y en un aceptable estado de conservación dada su antigüedad.

Escaleras de las pirámides mayas (centro). Fuente: <flickrhivemind.net> [Consulta: 18 de marzo de 2012].



En la **Edad Media** las escaleras se situaban en el exterior de los edificios, en el patio interior en los grandes palacios o en torno a las torres de defensa de los castillos. En el primer caso se trataba de imponentes escaleras en L, totalmente materializadas en piedra, que aparecían como elemento dominante del patio central, dando acceso a la planta noble, residencia de los propietarios. En el caso de las torres de defensa se trataba de escaleras de caracol, estudiadas y pensadas para poder brindar posiciones estratégicas a los soldados durante la lucha, con un carácter defensivo.



Escaleras del palacio gótico de los Marqueses de Scala, Valencia (Izda.). Ilustración de escalera de caracol en torre de defensa medieval (dcha.). Fuente: <www.eleveescaleras.com> [Consulta: 18 de marzo de 2012].

En el **Renacimiento y el Barroco** la escalera no pierde monumentalidad, pero se traslada al espacio interior, manteniendo su carácter acorde con el edificio y sus propietarios. En el caso de los palacios suele aparecer en un núcleo interior, espacio reservado para la misma, habitualmente junto al patio.



Escaleras de la Biblioteca Laurenciana de Miguel Ángel (Izda.). Fuente: <www.fotolog.com> [Consulta: 18 de marzo de 2012]. Ilustración Escalera imperial del palacio de la Calahorra de Granada (dcha.).

A lo largo de los siglos la piedra va dando paso al ladrillo cerámico y a su vez éste da paso al hormigón armado.

El **final del siglo XIX** es considerado por muchos historiadores como la época de oro de la construcción de escaleras. Peter Nicholson, arquitecto, matemático e ingeniero británico, desarrolló un sistema matemático para la ejecución de escaleras y barandas, que permitió avanzar en los diseños y materiales utilizados. Pocas décadas después, a **principios del siglo XX**, algunos arquitectos como Le Corbusier elevaron el estatus de la escalera, convirtiéndola en un objeto casi escultórico y decorativo del espacio interior.

El desarrollo de la tecnología y de los materiales de construcción a lo largo del siglo, ha permitido una gran evolución en el diseño de escaleras. A **finales del siglo XX** Eva Jiricna, reconocida arquitecta checa, desarrolla la tipología de escaleras de tensores de acero inoxidable con peldaños de madera, vidrio, etc.



Escalera Casa Savoye, Le Corbusier (Izda.). Fuente: <www.cavetocanvas.com> [Consulta: 10 de abril de 2016]. Escalera Hotel Josef (dcha.). Fuente: <<http://www.pepecabrera.com/blog/i/314/66/eva-jiricna>> [Consulta: 10 de abril de 2016].

Hoy en día es posible conectar espacios a diferente altura mediante originales escaleras de peldaños volados, de chapa plegada, etc., con un amplio abanico de materiales y tipologías todavía por descubrir.



Escalera de peldaños volados y escalera de chapa. Fuente: <<http://www.recreoviral.com/creatividad/escaleras-hermosas-creativas/>> [Consulta: 10 de abril de 2016].

La piedra, el ladrillo y la madera siguen siendo materiales actuales, junto al hormigón armado, el acero, el vidrio y la combinación de todos ellos.



Escaleras creativas Fuente: < <http://www.recreoviral.com/creatividad/escaleras-hermosas-creativas/>>
[Consulta: 10 de abril de 2016].

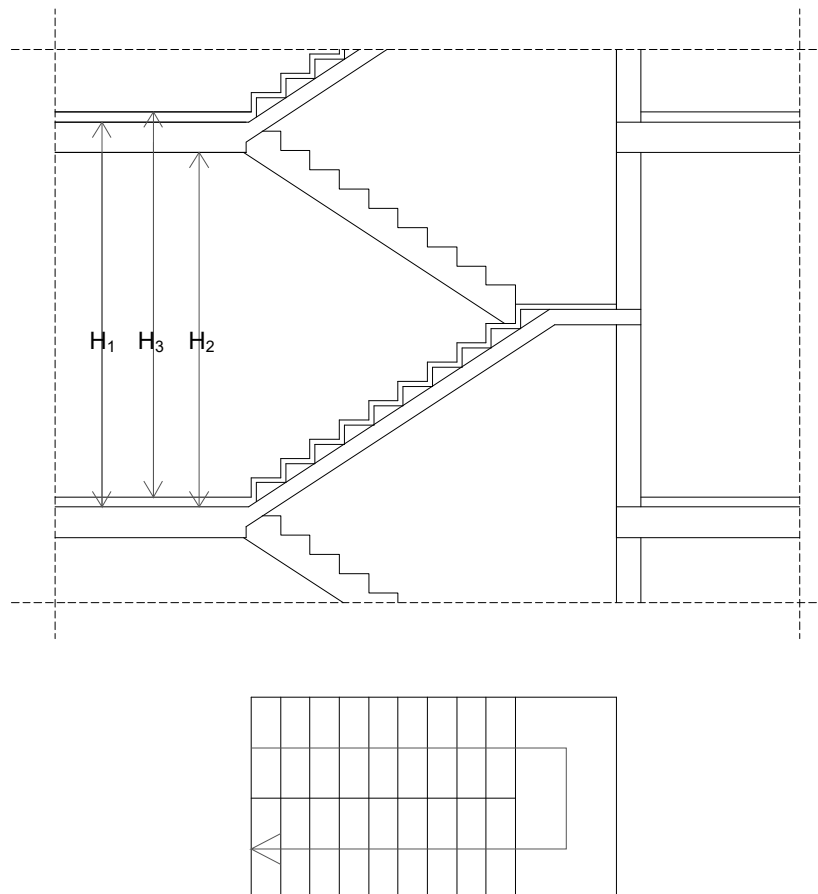
2. FUNCIÓN

Las escaleras son el elemento arquitectónico básico para **permitir la circulación vertical en un edificio**, comunicando los espacios situados en planos a distintos niveles. La circulación vertical habitual se realiza con medios mecánicos (ascensores, montacargas, etc.), pero como medida de seguridad, en todos los casos deben existir escaleras que permitan la fluida evacuación en el menor tiempo posible y en condiciones de seguridad. Las escaleras están reguladas por el Código Técnico de la Edificación, Libro 7, DB-SI (Seguridad en caso de Incendio) y Libro 8, DB-SU (Seguridad de Utilización).

3. PARTES DE UNA ESCALERA

Una escalera está formada por una serie de planos horizontales sucesivos equidistantes, que salvan el desnivel entre dos plantas de un edificio. Es importante diferenciar entre los siguientes tres conceptos en cuanto a alturas se refiere:

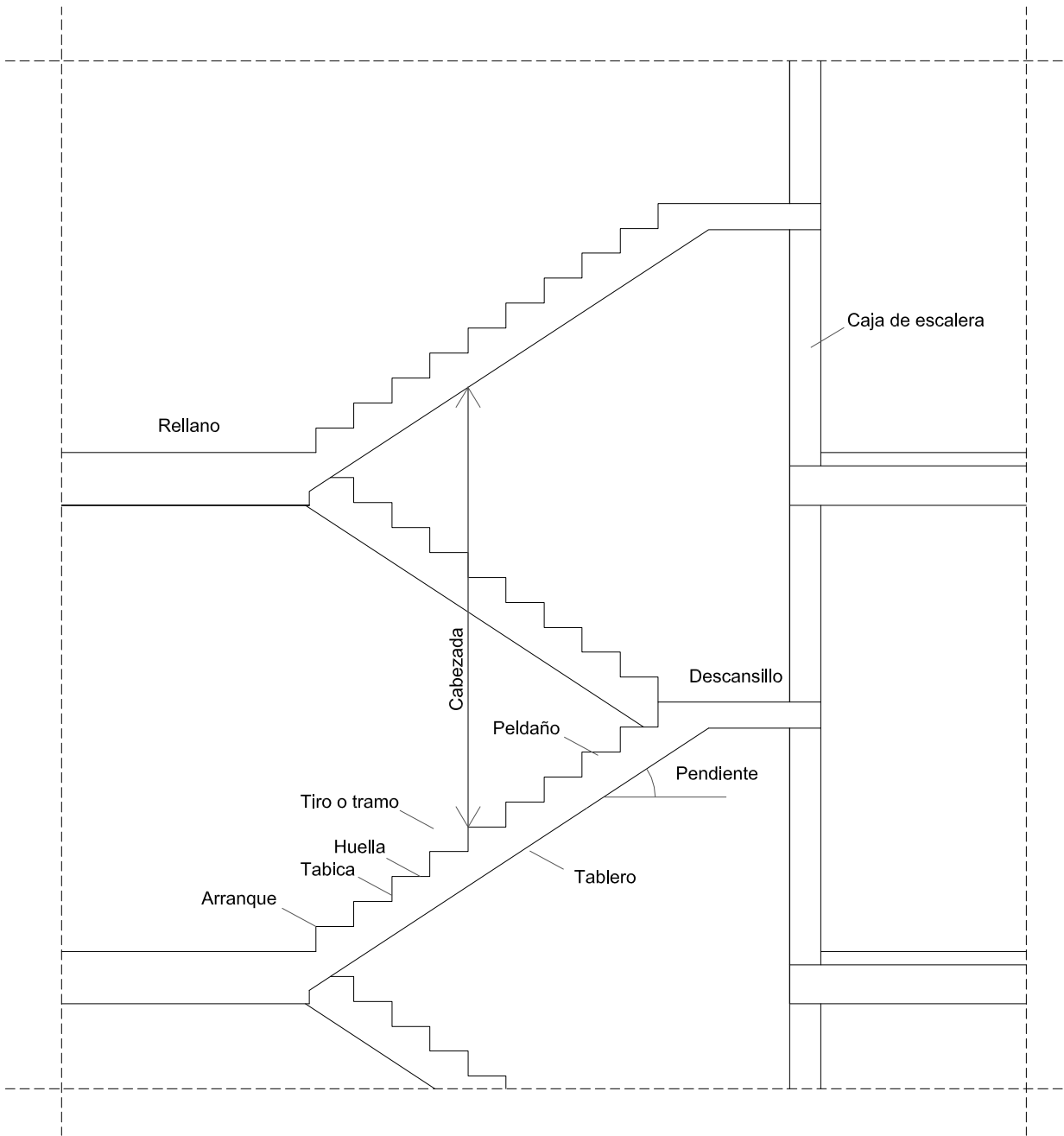
- **Altura entre plantas:** es la distancia vertical o cota comprendida entre las caras superiores de los forjados de dos plantas consecutivas (H_1).
- **Altura libre entre forjados:** es la distancia vertical o cota comprendida entre la cara superior del forjado inferior y la cara inferior del forjado superior (H_2).
- **Altura a salvar:** es la distancia vertical o cota comprendida entre las caras superiores de los pavimentos de acabado de dos plantas consecutivas (H_3). Coincide con la altura entre plantas si el espesor de los pavimentos de acabado son los mismos en las dos plantas consecutivas.



Conceptos de alturas relacionados con las escaleras. $E = 1/125$.

Una vez comprendido el concepto de la altura a salvar por la escalera, establecemos sus principales partes o elementos componentes:

- **Caja de escalera:** es el espacio o recinto en que se ubica la escalera.
- **Arranque:** es el inicio de la escalera en sentido ascendente.
- **Rellano, meseta o descansillo:** plano horizontal en el que desemboca cada tramo de escalera, en el que se interrumpe la secuencia de escalones.
- **Desembarco:** es la meseta final de la escalera al nivel de cada planta.
- **Tiro o tramo:** es una sucesión continua de peldaños, no superior a 16.
- **Ámbito o anchura:** es la longitud de los peldaños, el ancho del tramo de escalera.
- **Cabezada o escapada:** es la altura libre comprendida entre un plano horizontal o huella y la cara inferior del forjado, del tablero de la escalera o del peldaño superior, según situación y/o tipología de escalera.
- **Ojo:** es el espacio interior entre los bordes de dos o más tramos de una escalera.
- **Peldaño o escalón:** cada una de las partes que conforman un tramo de escalera.
- **Contrahuella o tabica:** parte vertical que salva la distancia entre dos peldaños consecutivos o entre un peldaño y el descansillo.
- **Huella:** es el ancho del escalón, medido en planta.
- **Vuelo:** parte de la huella que sobresale de la contrahuella inferior para lograr una mayor superficie de pisada.
- **Línea de paso o de huella:** es una línea imaginaria que representa el recorrido de uso de la misma, sobre la que se miden y calculan las fórmulas de relación huella/contrahuella establecidas para el buen uso y funcionamiento de la escalera. En escaleras de tramos rectos se sitúa en el centro del ámbito y en escaleras curvas o de peldaños compensados, se considera separada 50 cm del ojo de la escalera.
- **Tablero:** losa o bóveda sobre la que descansan los peldaños de una escalera. Es el elemento resistente cuya función es transmitir las cargas de la escalera hasta los apoyos.
- **Zanca:** es el elemento de borde resistente o vigas laterales inclinadas sobre las que descansan los escalones de cada tramo de la escalera, en el caso de no resolverse con tablero.
- **Pendiente:** es la inclinación de la escalera, expresada en grados, tanto por ciento o mediante la relación huella/contrahuella.



Elementos compositivos de una escalera. E = 1/100.

4. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS Y CONSTRUCTIVAS

La distancia que una persona recorre en sentido horizontal con cada paso está comprendida habitualmente entre 55-65 cm. En sentido ascendente esta distancia se reduce aproximadamente a la mitad. Por ello, para que las escaleras resulten cómodas, la **relación huella/contrahuella** debe cumplir la siguiente relación:

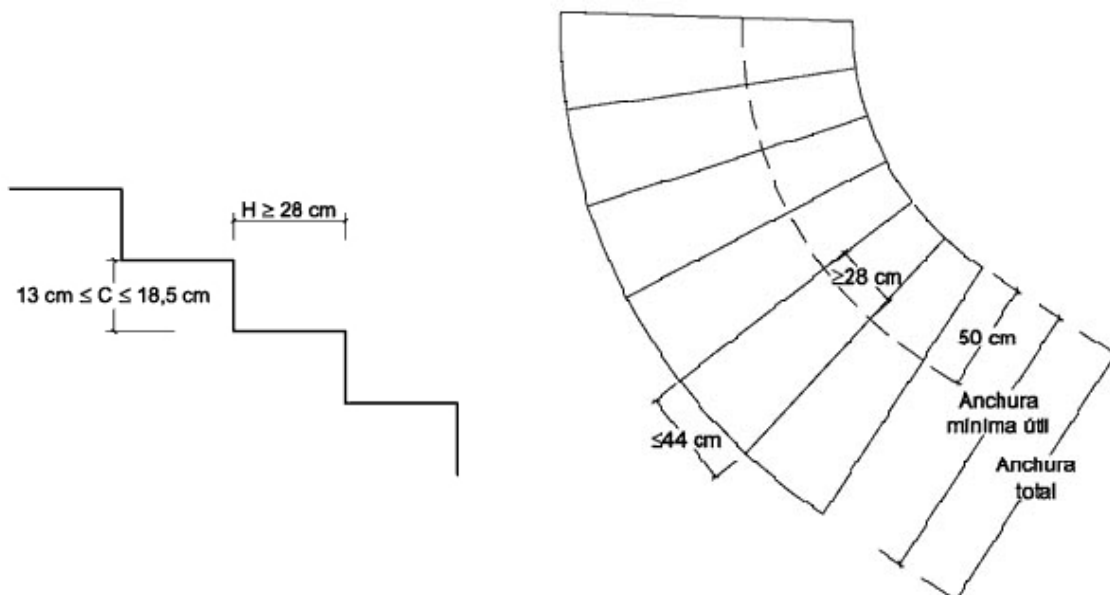
$$54 \text{ cm} \leq 2C + H \leq 70 \text{ cm}$$

Así mismo, por razones de seguridad, esta **relación** se mantendrá **constante** a lo largo de todo el recorrido de la escalera, evitando o minimizando de ese modo el riesgo de caídas de los usuarios.

Las características técnicas y constructivas a cumplir por cada elemento son las siguientes:

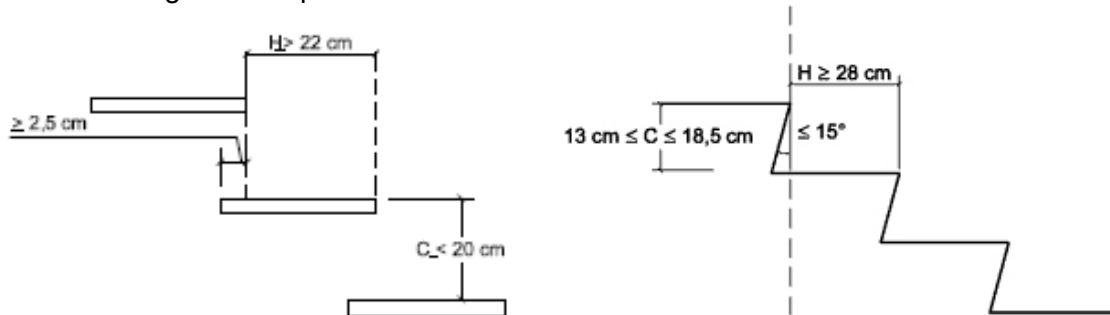
4.1. PELDAÑOS

En los **tramos rectos** la **huella**, medida sobre la proyección de la línea de paso, tendrá una dimensión mínima de **28 cm** (22 cm en escaleras de uso restringido, situadas en zonas con una circulación limitada a 10 personas, que tienen el carácter de usuarios habituales, incluyendo el interior de las viviendas) y la **contrahuella**, una altura comprendida entre **13-18,5 cm** (13-20 cm en escaleras de uso restringido y 13-17 cm en centros docentes de nivel infantil, primaria y secundaria, y centros de la tercera edad). En los **tramos curvos**, la línea de paso se sitúa a 50 cm del borde interior de la escalera, debiéndose cumplir las dimensiones determinadas en estos puntos. En estos casos, la huella medirá como mínimo 5 cm en el lado más estrecho y máximo 44 cm en el más ancho.



Requisitos geométricos a tener en cuenta en el dimensionamiento de los peldaños (izda.). Figura 4.2 del CTE DB SUA, Seguridad de utilización y accesibilidad, pág. 20. Requisitos geométricos y de diseño en las escaleras con trazado curvo (dcha.). Figura 4.3 del CTE DB SUA, Seguridad de utilización y accesibilidad, pág. 20.

Se pueden disponer **escalones sin tabica** excepto en escaleras de evacuación ascendente (plantas bajo rasante) o en edificios de uso mayoritario de niños, ancianos o personas con discapacidad. En el caso de no disponer tabica, la proyección de las huellas se superpondrá al menos 2,5 cm, pero esta dimensión no computará en la establecida para la huella. De existir contrahuella, esta será vertical o inclinada hacia dentro un ángulo no superior a 15°.



Requisitos geométricos a tener en cuenta en el dimensionamiento de los peldaños sin tabica (izda.). Figura 4.2 del CTE DB SUA, Seguridad de utilización y accesibilidad, pág. 20. Requisitos geométricos a tener en el diseño de la tabica (dcha.). Figura 4.2 del CTE DB SUA, Seguridad de utilización y accesibilidad, pág. 20.

4.2. TRAMOS

El **número de peldaños** de cada tramo de escalera debe ser no inferior a 3 y no mayor a 16, salvando como máximo una altura de 3,2 m (2,5 m en uso hospitalario y 2,1 m en uso docente infantil, primaria, secundaria y residencias de la tercera edad). Los tramos pueden ser rectos o curvos, a excepción de los casos mencionados, en que deberán ser rectos.

El **ancho o ámbito** de cada tramo debe ajustarse a las prescripciones del **CTE DB SI**, que determina:

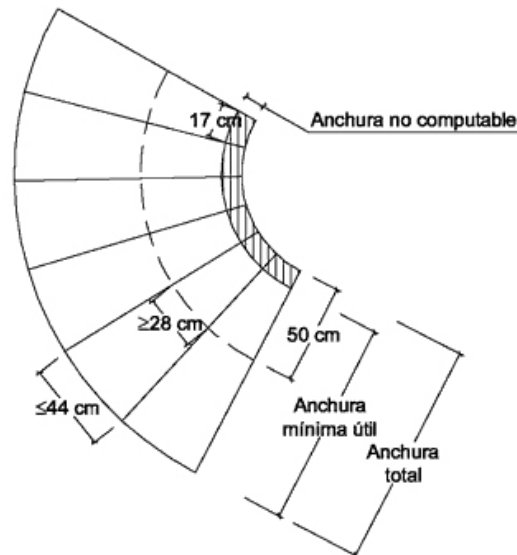
- Evacuación descendente (plantas sobre rasante): $A \geq P / 160$
- Evacuación ascendente (plantas bajo rasante): $A \geq P / (160 - 10h)$

Siendo: A el ancho del tramo, P el número de personas a evacuar y h la altura en metros de evacuación ascendente.

Así mismo, el **CTE DB SU** determina el **ancho mínimo útil** de cada tramo en función del uso del edificio en:

- Uso hospitalario: 1,4 m en zonas destinadas a pacientes y 1,2 m en el resto.
- Uso docente infantil, primaria y secundaria: 1,2 m.
- Pública concurrencia o comercial: 1,2 m.
- Escaleras de uso restringido: 0,8 m.
- Otros: 1 m.

El ancho mínimo útil debe estar **libre de obstáculos** y se medirá la distancia comprendida **entre paredes o barreras de protección**, sin descontar los pasamanos que no sobresalgan más de 12 cm de estos elementos. En los tramos curvos se descontarán para establecer esta dimensión aquellas zonas cuya huella sea inferior a 17 cm.



Requisitos geométricos y de diseño en las escaleras con trazado curvo. Figura 4.3 del CTE DB SUA, Seguridad de utilización y accesibilidad, pág. 20.

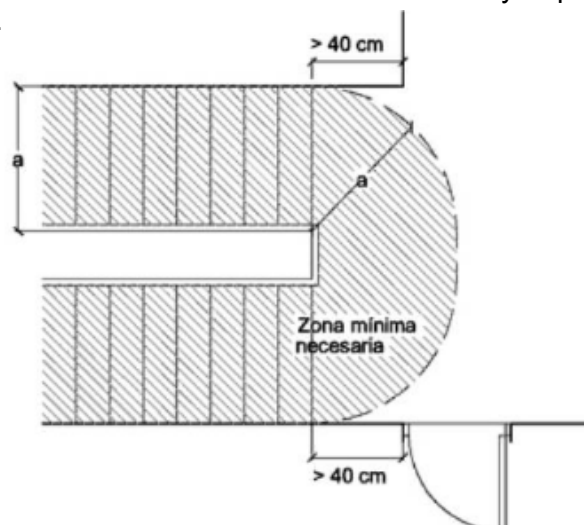
La **altura libre** establecida en el CTE DB SU es de **2,1 m** en zonas de **uso restringido** y de **2,2 m** en el **resto de zonas**.

4.3. MESETAS

Las mesetas, rellanos o descansillos dispuestos entre los diferentes tramos de una escalera tendrán un **ancho mínimo igual al de los tramos** de escalera que llegan hasta la misma.

En el caso de existir varios **tramos con distinta dirección**, el ancho no se reducirá a lo largo de la meseta, dejando todo el recorrido libre de obstáculos y sin que este espacio pueda ser invadido por el ámbito de giro de ninguna puerta.

La distancia mínima entre el desembarco de la escalera y la puerta más cercana será no inferior a 40 cm.

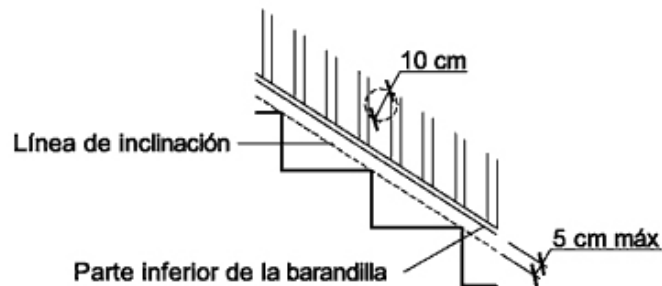


Requisitos geométricos y de diseño en el cambio de dirección entre dos tramos de escalera. Figura 4.4 del CTE DB SUA, Seguridad de utilización y accesibilidad, pág. 23.

4.4. BARRERAS DE PROTECCIÓN

Las barreras de protección tendrán una **altura de 0,9 m cuando la altura que protegen no exceda los 6 m y de 1,1 m en el resto de casos**. Esta distancia se medirá desde el vértice de los peldaños hasta el límite superior de la barrera.

Las barreras de protección de las escaleras comunitarias **no** deben ser **escalables**, de modo que no se dispondrán puntos de apoyo entre 20-70 cm sobre el nivel del suelo o sobre la línea de inclinación de la escalera. Así mismo, las aberturas no deben permitir el paso de una **esfera de diámetro superior a 10 cm**, excepto en los triángulos generados por el límite inferior de la barrera y los peldaños. La distancia entre ésta y la línea de inclinación creada por los vértices de los peldaños **no debe exceder los 5 cm**.



Requisitos geométricos y de diseño en la línea de inclinación y en la parte inferior de la barandilla. Figura 3.2 del CTE DB SUA, Seguridad de utilización y accesibilidad, pág. 17.

4.5. PASAMANOS

Las escaleras que salven una **altura superior a 5,5 m** deben disponer de un **pasamanos continuo** al menos en uno de los lados. Si el **ámbito de la escalera es superior a 1,2 m**, será necesario disponer **pasamanos a ambos lados**, disponiendo además de **uno intermedio si en ancho supera los 2,4 m**.

La **altura** a la que se disponga el pasamanos oscilará **entre 0,9-1,1 m**, con un pasamanos adicional a 0,65-0,75 para usos docentes de infantil y primaria.

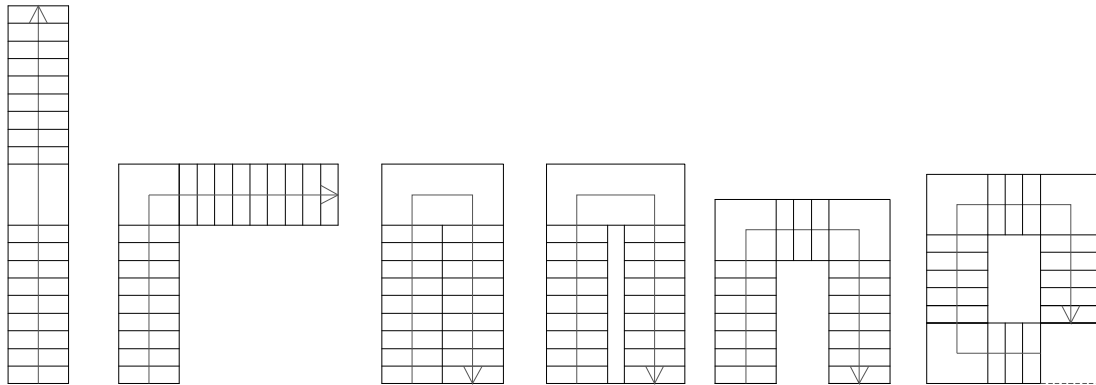
Se situarán fijados a los paramentos o sistemas de protección de las escaleras, separados al menos 4 cm de los paramentos.

5. TIPOLOGÍAS

5.1. SEGÚN LA FORMA DE SU TRAZADO

Existen muchas variedades de escaleras. Atendiendo a la **forma de su trazado** podemos destacar las siguientes **tipologías**:

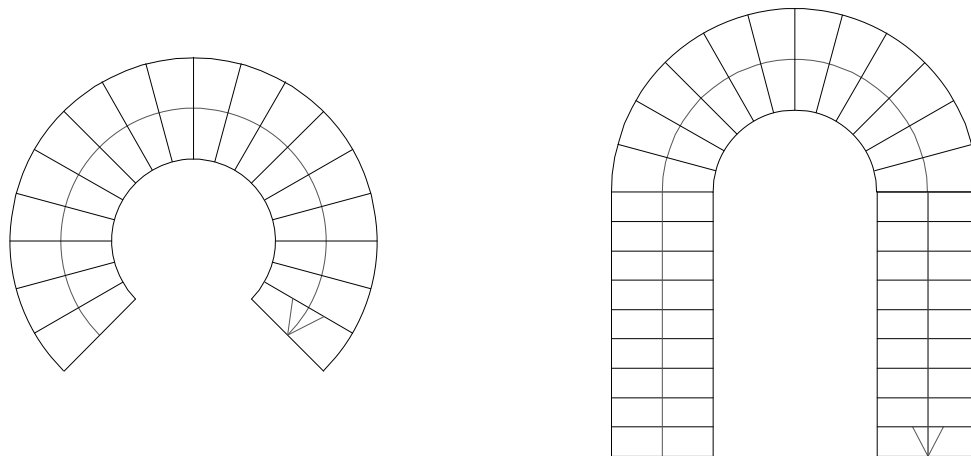
- **Escaleras rectas**: son aquellas escaleras compuestas por uno o varios tramos rectos, intercalando o no descansillos intermedios. Destacan las escaleras de un solo tramo (con o sin descansillo), en L o cuarto de vuelta (giro de 90°), de ida y vuelta o media vuelta (giro de 180°), con o sin ojo central, de tres tramos y de cuatro tramos.



Esquema de escaleras compuestas por tramos rectos. $E = 1/125$.

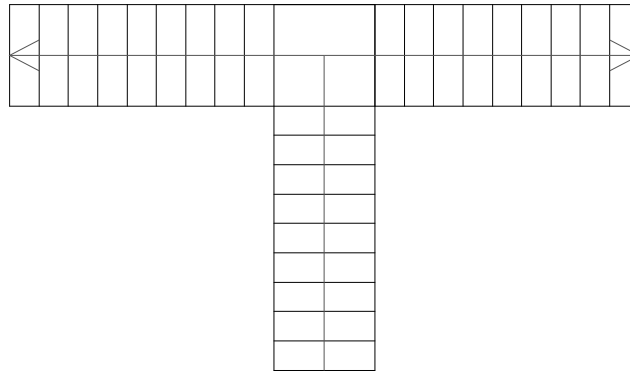
- **Escaleras curvas**: son aquellas escaleras helicoidales, cuyo trazado en planta dibuja formas circulares, ovaladas, elípticas, etc. Son llamadas también escaleras de caracol. Incluyen además aquellas escaleras de trazado radial inscritas en una caja cuadrada o rectangular.

- **Escaleras compensadas**: son aquellas escaleras que no disponen de descansillos intermedios, aprovechando todo el recorrido mediante la disposición de los denominados peldaños compensados, habitualmente de trazado curvo, uniendo dos tramos rectos. Suelen ser escaleras de un cuarto de vuelta o de media vuelta.



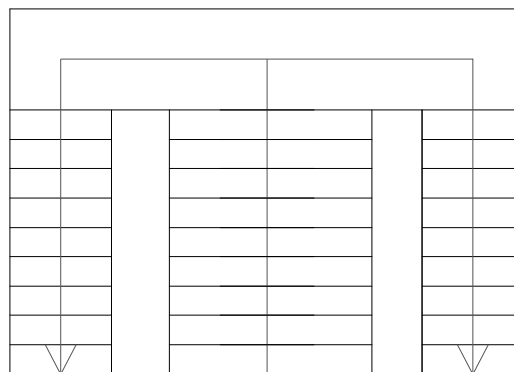
Esquema de escaleras curvas y compensadas. $E = 1/75$.

- **Escaleras desdobladas:** son aquellas que parten de un tramo común, dividiéndose en dos tramos de sentido opuesto en el siguiente tiro tras el descansillo.



Esquema de escalera desdoblada. $E = 1/75$.

- **Escaleras imperiales:** son aquellas escaleras de ida y vuelta que disponen de un tramo de ida único, de un ancho mayor, y dos tramos de vuelta, dispuestos en paralelo al tramo de ida.



Esquema de escalera imperial. $E = 1/75$.

5.2. SEGÚN EL MATERIAL

En **función del material**, existe hoy en día un amplio abanico de tipologías de escaleras, que combinan en sus diseños uno o varios materiales tanto tradicionales como de nueva generación. Podemos destacar entre ellos **dos tipologías básicas**, las más utilizadas a lo largo del último siglo: la escalera a la catalana (conocida también como escalera tabicada) y a escalera de hormigón armado.

- **Escaleras a la catalana o tabicadas:** se trata de escaleras formadas por dos o tres capas de rasilla cerámica, recibidas con yeso (pasta de rápido fraguado), cuyo perfil dibuja una catenaria invertida.

- **Escaleras de hormigón armado:** son aquellas escaleras ejecutadas con hormigón armado, habitualmente construidas in situ, aunque también existen escaleras de hormigón armado prefabricadas.

5.2.1. ESCALERAS TABICADAS O A LA CATALANA

La **bóveda tabicada** es un sistema constructivo actualmente en desuso, pero utilizado durante siglos para la construcción de bóvedas ligeras de gran resistencia. Se trata de bóvedas de ladrillo cerámico, habitualmente rasillas (ladrillo cerámico de unos 3 cm de espesor), con dos o tres hojas, capas o roscas, cuyo perfil dibuja la forma de una catenaria invertida, salvando la altura entre dos puntos de apoyo, cuyas cargas de transmiten según los principios del arco de descarga, que transfiere los empujes verticales hacia los laterales produciendo una componente vertical y otra horizontal. Los diferentes tramos de la escalera apoyan en la bóveda inferior, pudiendo alcanzar la altura deseada.



Tablero de una escalera tabicada de dos tramos a "contracaballo". Fuente: http://www.generadordeprecios.info/obra_nueva/Demoliciones/Estructuras/Fabrica/DEF060_Demolicion_de_escalera_con_boveda_t.html [Consulta: 12 de abril de 2012].

El primer paso en el **proceso de ejecución** de estas escaleras es el **replanteo**, idéntico al de cualquier otro tipo de escalera:

- El oficial traza una franja de yeso sobre el muro sobre el que apoyará la bóveda, en el que marca el arranque y desembarco de la escalera, cotas que sirven para calcular la huella y tabica según las fórmulas establecidas en la normativa.
- Con la ayuda de la cinta métrica y el nivel de burbuja se traza la línea de acabado de los peldaños, a la que se descuenta el espesor del pavimento de acabado, unos 5 cm.
- Bajo el replanteo de los peldaños se traza la curva del tablero con una regla flexible. Las curvaturas factibles del tablero para asegurar el buen funcionamiento de la bóveda son muchas, por lo que se traza a sentimiento por los oficiales cualificados. En general se parte del peldaño central, punto en que el tablero estará más cerca del pavimento acabado, donde se determina el espesor de las distintas capas que configuran la

bóveda. A partir de ahí se mide en el arranque un espesor aproximadamente igual al doble del anterior, alcanzando en el caso del desembarco un trazado prácticamente horizontal.

A continuación se practica una **roza** a lo largo del trazado de la bóveda, en la que posteriormente se empotra uno de los canutos de la rasilla, de modo que proporcionamos un punto de apoyo a la primera línea de rasillas durante la ejecución, a la vez que se facilita la transmisión de los esfuerzos al muro una vez terminada ésta.

Una vez realizados estos trabajos previos, se procede a la ejecución una pequeña **zapata de fábrica** en el arranque, que soportará los esfuerzos horizontales transmitidos por la bóveda. El tipo de ladrillo cerámico utilizado dependerá de la intensidad de estos empujes.

La primera capa de rasillas o **primera rosca**, se toma con yeso (material de rápido fraguado), sin humedecer previamente la pieza para que su empleo en seco facilite el rápido secado de la pasta. Se toma la primera pieza, se aplica el yeso y se coloca en su posición, sujetándola unos segundos hasta que se sostiene por sí misma. Esta primera capa dispone el lado largo de la pieza en el sentido del trazado de la curvatura. Las distintas piezas en contacto deben disponerse a matajuntas, de modo que se cortará la rasilla del arranque contiguo y de aquellas piezas que por efecto de la curvatura provoquen la alineación de la junta.

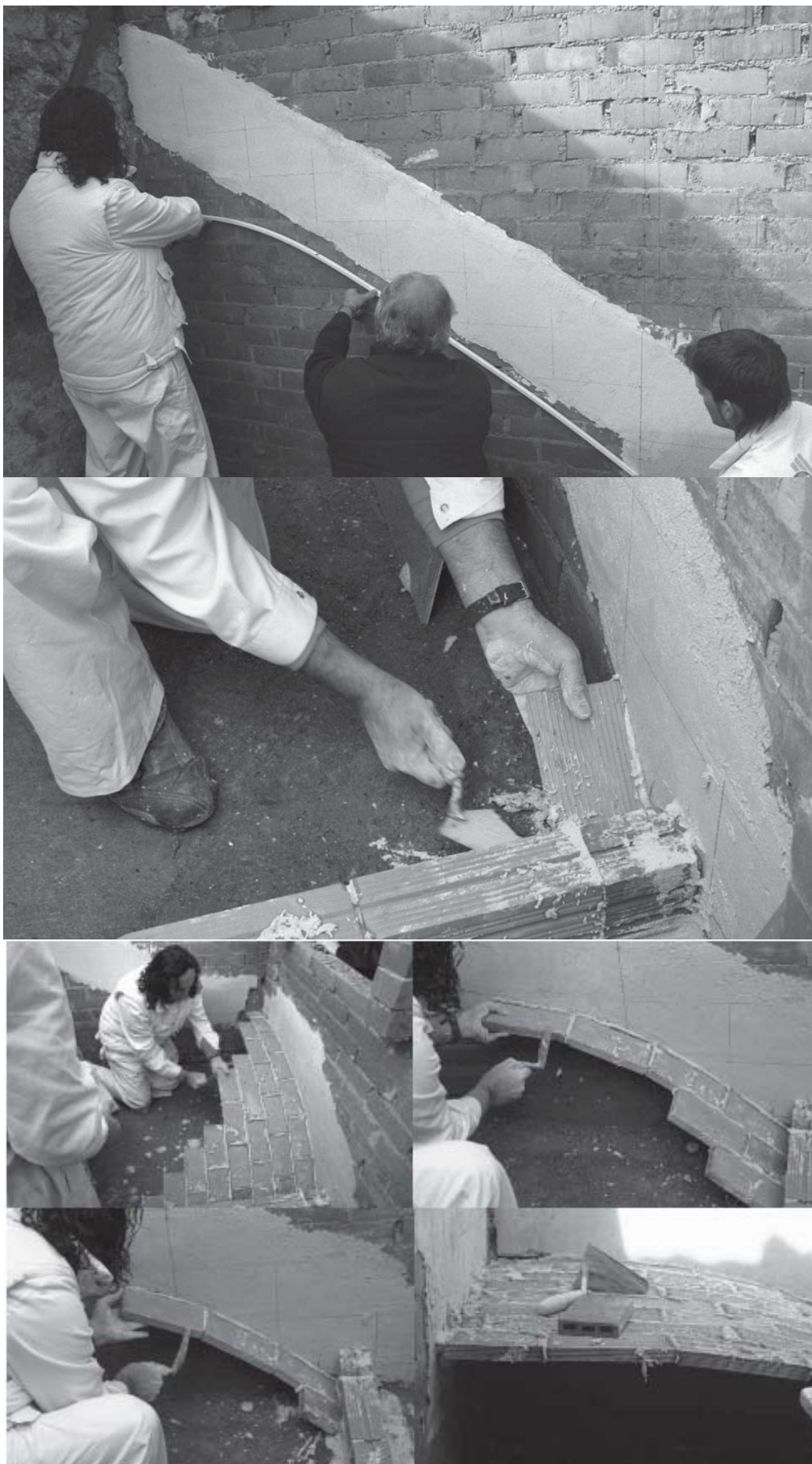
El orden de colocación de las piezas va desde el muro hacia el exterior, avanzando cada hilada a la vez que arrancan las sucesivas, de modo que cada pieza colocada descarga sobre la pieza sobre la que apoya y sobre las hiladas anteriores. Así continuará hasta finalizar el tramo, que se encontrará con el muro transversal, cuyo encuentro se produce mediante una línea completamente horizontal.

El **siguiente tramo** apoya **sobre el vivo de la bóveda inferior**, evitando de este modo efectos de deslizamiento, procediendo por lo demás en la ejecución del mismo modo que en el primer tramo y así sucesivamente.

La **segunda rosca** se dispone sobre la primera, girando las piezas 90° respecto a la primera, de modo que se maten las juntas entre ambas. En este caso las piezas se humedecen previamente para garantizar un fraguado más lento y una mejor cohesión entre el ladrillo y la pasta, que en este caso puede tratarse de mortero (tradicionalmente de cal) o yeso.

Finalizada la segunda hoja, se repite este mismo procedimiento para efectuar la **tercera rosca**, volviendo a girar las piezas, dando por finalizada la ejecución de la bóveda que configura el tablero de la escalera tabicada.

Por último, se ejecutan los **peldaños** con ladrillo hueco y se dispone el **pavimento de acabado** de la escalera.





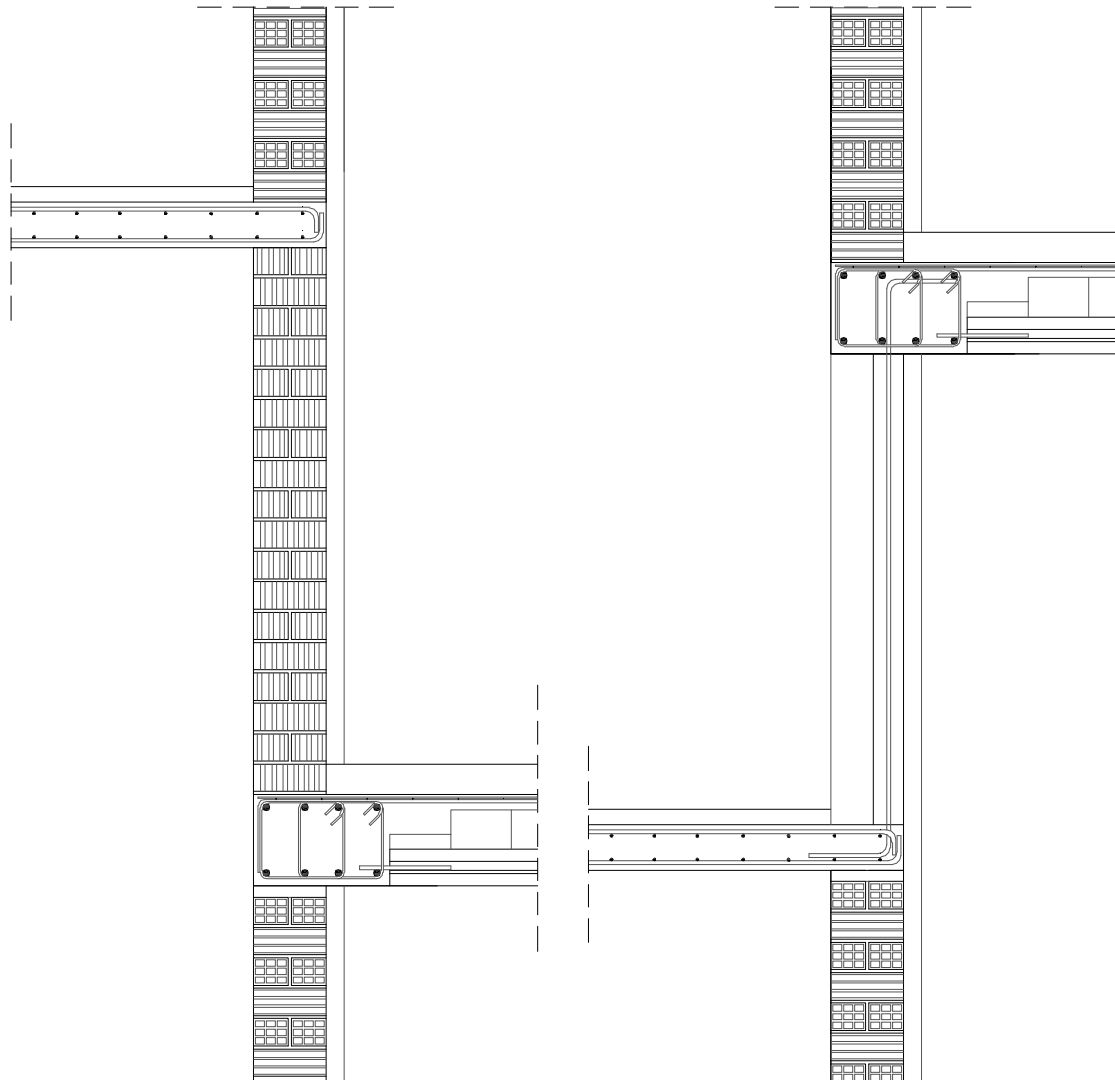
Trazado de la escalera. Fuente: Oppidum, nº 3. Universidad SEK. Segovia, 2007, 317-328 - I.S.S.N.: 1885-6292.

5.2.2. ESCALERAS DE HORMIGÓN ARMADO

Las **escaleras de hormigón armado** son una de las soluciones más comúnmente utilizadas en la actualidad, principalmente para la ejecución de las escaleras de uso comunitario en los edificios. Se trata habitualmente de escaleras de ida y vuelta, compuestas por **tableros y mesetas de hormigón armado**, sobre los que descansan los **peldaños**, realizados con **ladrillo cerámico**, piezas especiales o incluso hormigón.

Las escaleras pueden estar diseñadas de múltiples formas, de las cuales dependerá su forma de trabajo y comportamiento, en función de la disposición de los apoyos.

Uno de los casos más frecuentes es el de aquellas escaleras cuya meseta inferior y superior descansa en la viga, zuncho o brochal situado en el borde del forjado, disponiendo la meseta intermedia, que se encuentra a una altura determinada entre plantas, apoyada en el forjado inferior o colgada del superior.



Meseta de hormigón armado apoyada en el forjado inferior o colgada del superior. E = 1/25.

El **apoyo de la meseta intermedia en el forjado inferior** se suele realizar mediante una pared de fábrica de ladrillo macizo, cuya resistencia será la adecuada para soportar las cargas transmitidas en el apoyo.



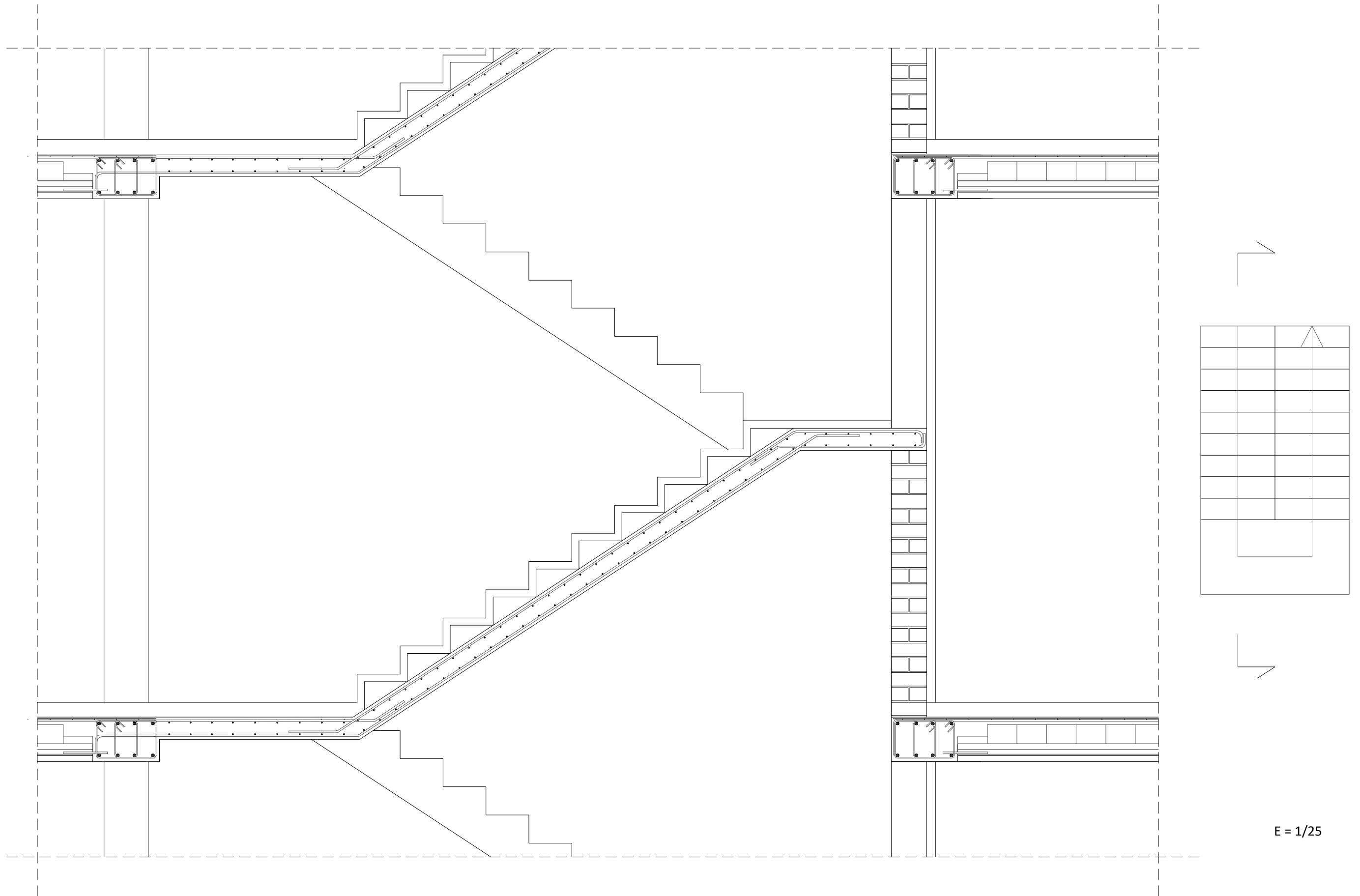
Escalera de hormigón armado con descansillo colgado del forjado superior.

En el caso de resolver el **apoyo colgado del forjado superior**, se dispondrán armaduras en espera que actuarán como tirantes, ancladas tanto a la meseta como a la viga mediante la prolongación y el solapo de sus armaduras.

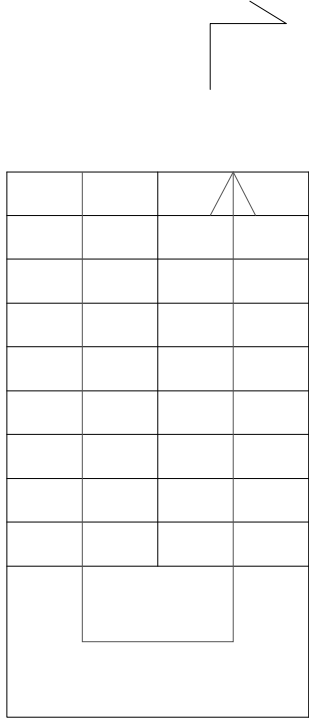
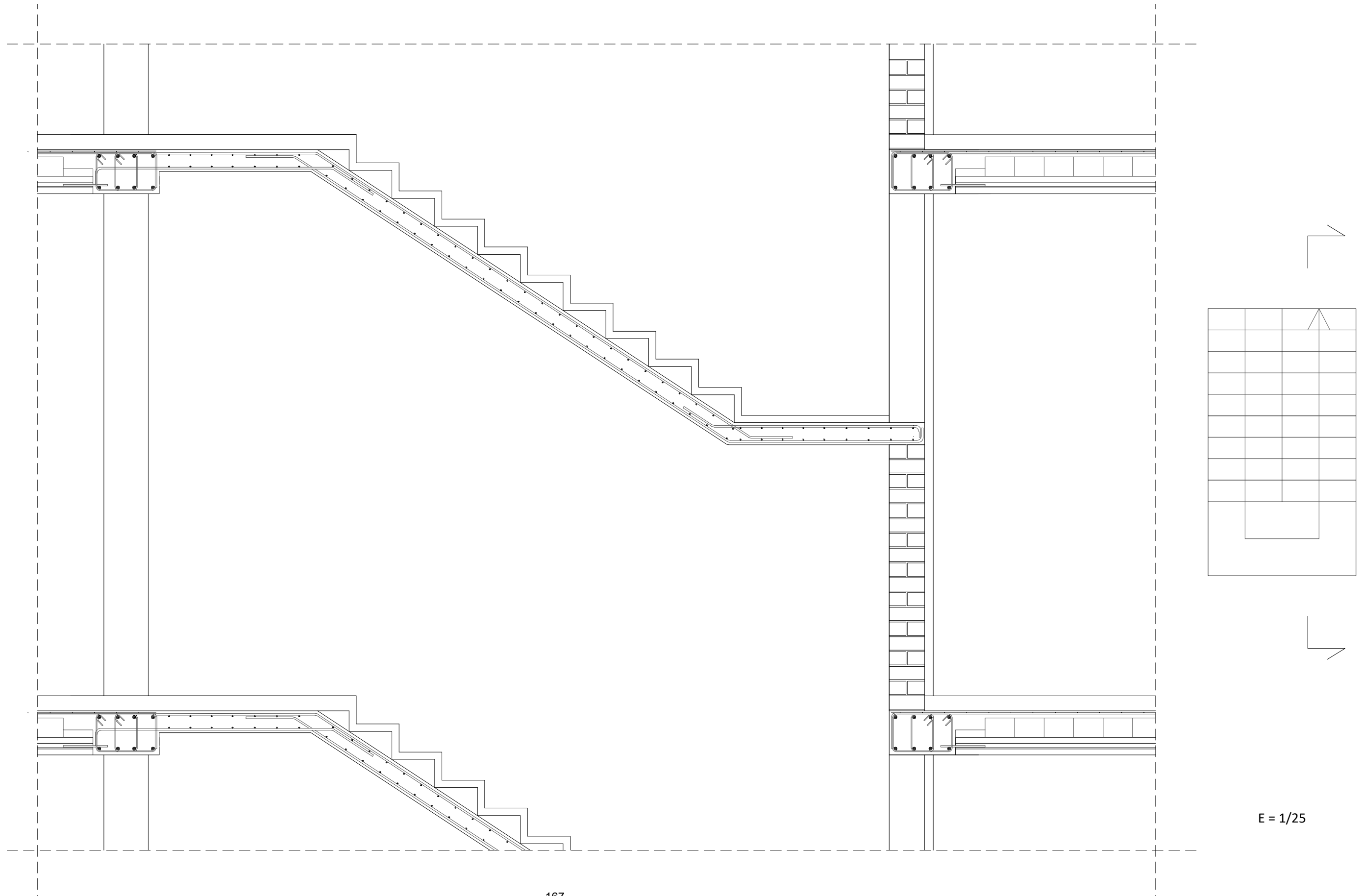


Escalera de hormigón armado con descansillo apoyado en murete de carga de ladrillo perforado de medio pie.

Tanto el **tablero** como las mesetas están formados por una **losa de hormigón armado**, con armadura longitudinal y transversal tanto en la cara superior como en la cara inferior, perfectamente solapada y anclada en los encuentros mediante su doblado y prolongación.



E = 1/25



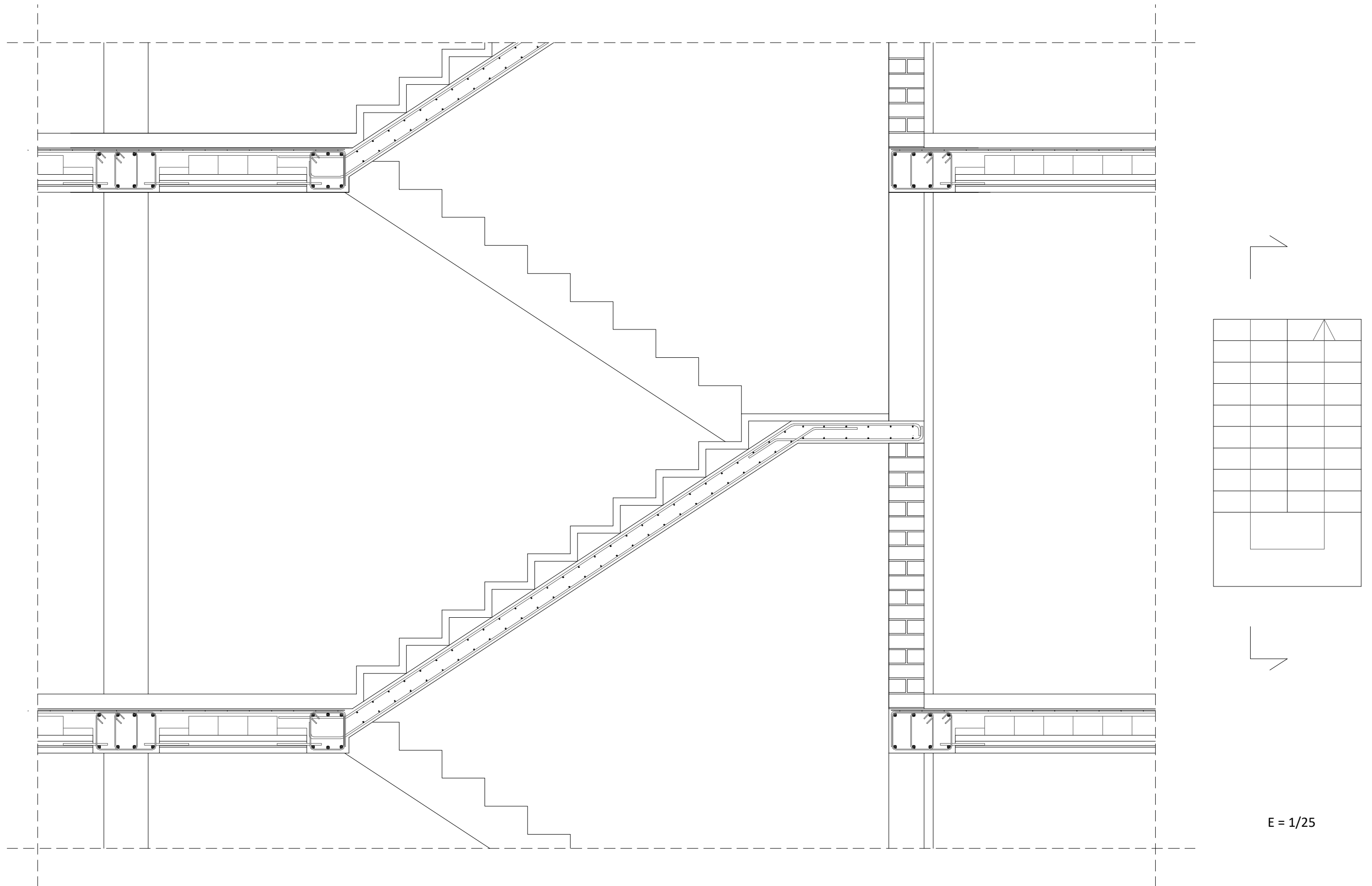
E = 1/25

Otra de las situaciones más frecuentes es la disposición del **tablero apoyando directamente en la viga**, zuncho o brochal de borde.

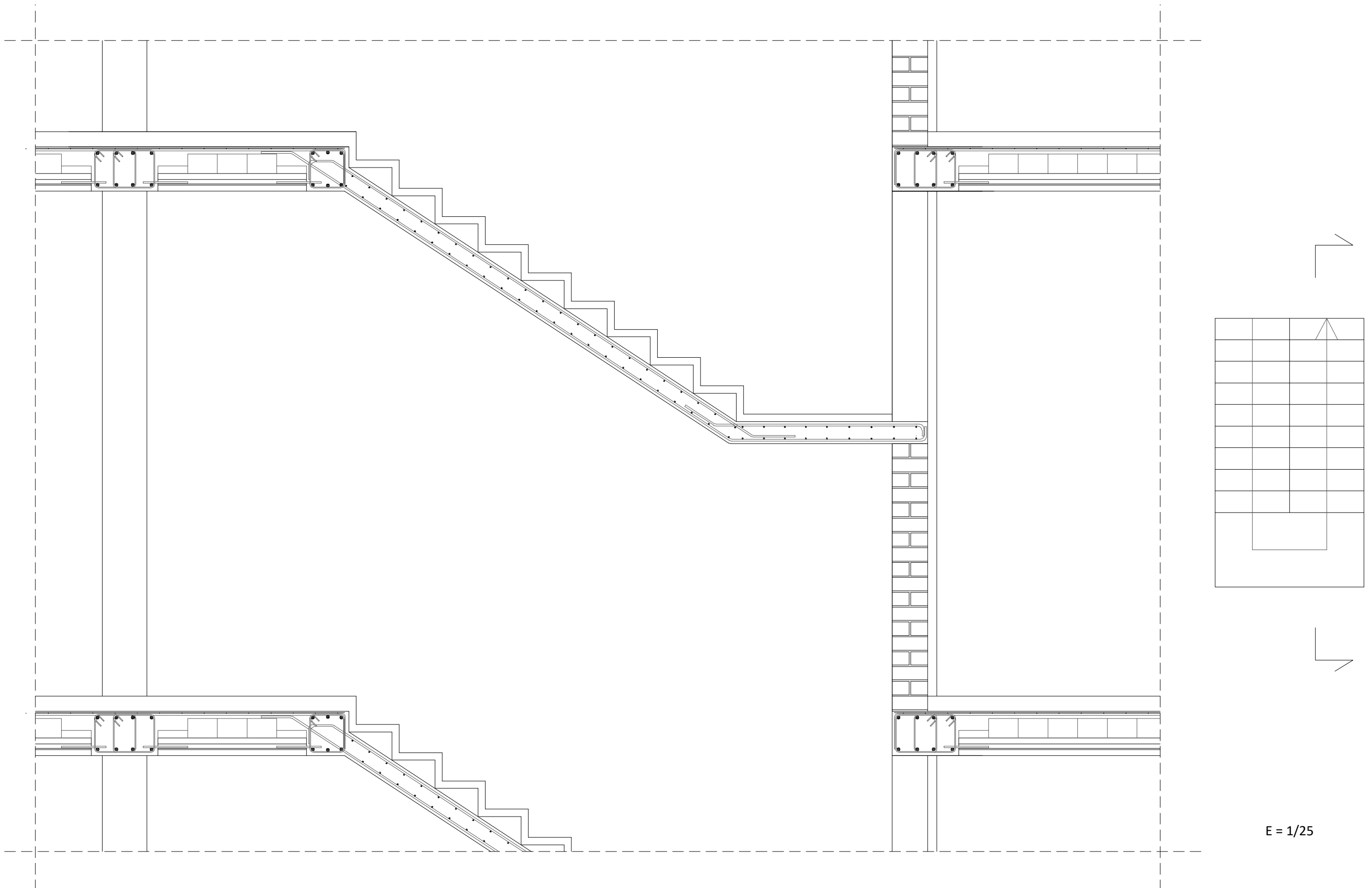


Forjado con armaduras en espera para su atado con las armaduras del tablero de hormigón armado.

En este caso la solución de la meseta puede contemplar las mismas posibilidades que en el anterior.

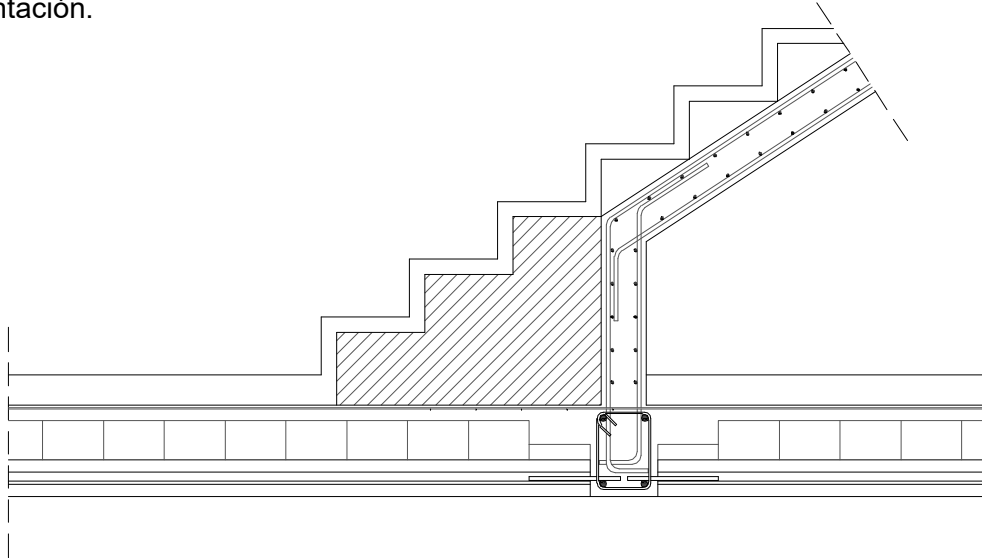


E = 1/25

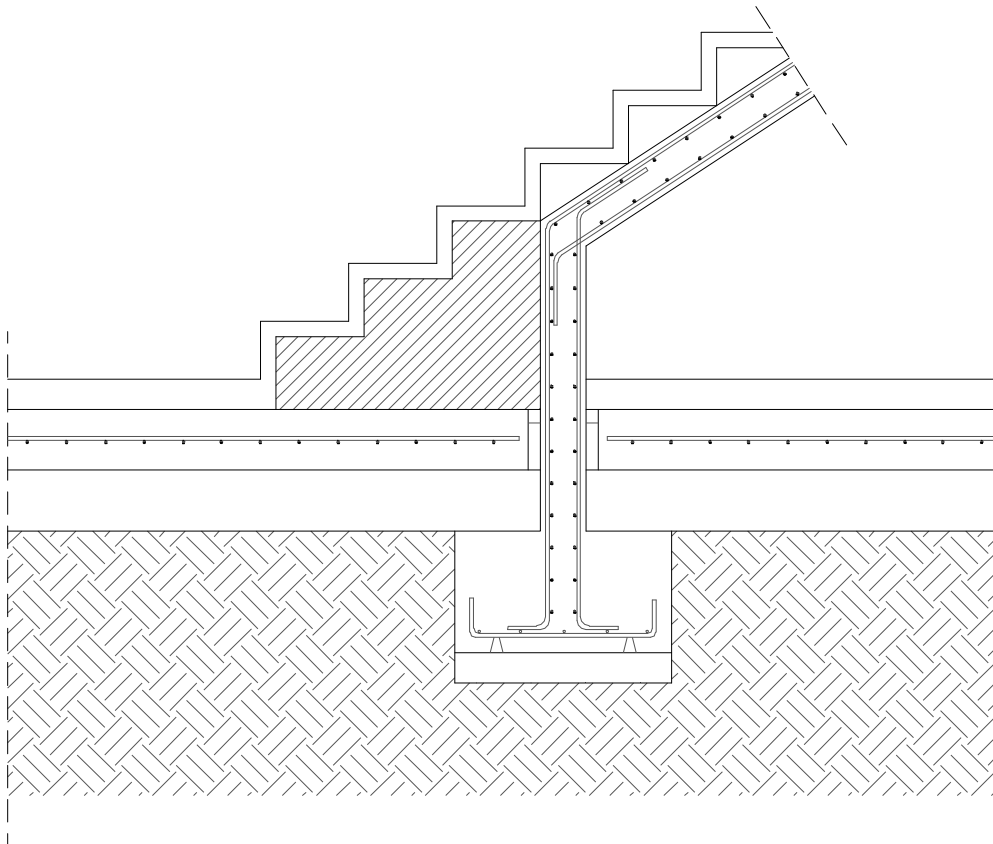


E = 1/25

En el **arranque inferior** de la escalera es habitual resolver los primeros peldaños mediante un **recrecido** de ladrillo macizo, hormigón o solución similar. En muchas ocasiones se trata de peldaños compensados. En estos casos el tablero apoyará sobre un pequeño murete de hormigón armado o de fábrica resistente, que descansará a su vez sobre una viga, un zuncho o incluso sobre una losa o zapata de cimentación.



Apoyo de murete de arranque de la escalera sobre forjado, previa disposición del elemento resistente correspondiente: viga, zuncho, brochal, etc.. E = 1/25.



Apoyo de murete de arranque de la escalera sobre zapata. E = 1/25.



Peñaños de arranque de escalera ejecutado con recrecio de ladrillo perforado y rasillas cerámicas.



Arranque de escalera con recrecio de hormigón armado.

Los **peldaños** suelen realizarse al modo tradicional, con ladrillo hueco cerámico del 7 rellenando los senos y rasilla cerámica configurando el remate de la huella.



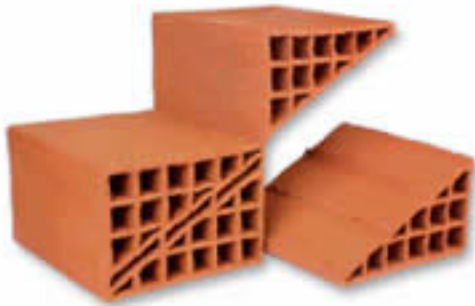
Peldaños de escalera de hormigón armado ejecutados al modo tradicional, in situ, con ladrillo hueco cerámico.

También es muy habitual la realización de peldaños de hormigón, ejecutados simultáneamente al tablero o posteriormente con un hormigón pobre.



Peldaños de escalera de hormigón armado, hormigonados de forma simultanea al tablero.

Otra posibilidad es el uso de piezas especiales de cerámica u hormigón, las cuales materializan con una única pieza el relleno del peldaño.



	Bloque	Peldaño
Alto	190 mm	150 mm
Ancho	300 mm	300 mm
Longitud	275 mm	275 mm
Peso	10.200 gr	5.100 gr
Peldaños por bloque	2	
Euros Ud		

Bloques de peldaño cerámico prefabricados. Fuente: <<http://materialesdeconstruccionmadrid.com/ladrillos/termoarcilla.htm/>> [Consulta: 18 de marzo de 2012].

El **proceso constructivo** de estas escaleras comienza con el **replanteo** en obra, reproduciendo su trazado sobre una capa de mortero aplicada sobre la pared de cerramiento. Se tendrá en cuenta el espesor de unos 5 cm del pavimento de acabado de la escalera, tanto en los peldaños como en las mesetas.



Replanteo de la escalera en obra. Trazado del tablero y los peldaños sobre capa de mortero.

A continuación se colocan los tableros de encofrado, los costeros y puntales que sirven de base para el hormigonado in situ del tablero y los descansillos, en su caso.



Encofrado de la escalera, disposición de costeros y puntales.

Sobre los encofrados se colocan las armaduras establecidas en el cálculo, asegurando un correcto empalme con las esperas, el cumplimiento de las longitudes de solapo y los recubrimientos.

Si los peldaños son de hormigón, se procede a colocar las armaduras y los costeros que permiten realizar el hormigonado de los peldaños.



Disposición de las armaduras del tablero y los peldaños de la escalera de hormigón armado.

Por último se procede al hormigonado de la escalera. Una vez el hormigón ha fraguado y alcanzado la resistencia requerida, a la ejecución de los peldaños.



Escaleras de peldaños de hormigón o peldaños tradicionales de ladrillo cerámico hueco.

El último paso es proceder a revestir la escalera con el **pavimento** escogido para la misma.



Recubrimiento de los peldaños con el material de acabado, en este caso pétreos naturales.

TEMA 5 - MUROS DE FÁBRICA

1. INTRODUCCIÓN

Los **muros de fábrica** son aquellos ejecutados con piezas simples de forma más o menos prismática, dispuestas en seco o tomadas con mortero, formando un elemento lineal resistente capaz de soportar las cargas transmitidas al mismo. Se denominan también **muros aparejados** al estar constituidos por piezas dispuestas de forma ordenada, formando hileras sucesivas.

Los muros de fábrica se podrían **clasificar**:

- Según el material:
 - Fábricas de tierra: ejecutados con adobe y bloque de tierra compactada.
 - Fábricas de piedra: destacando la sillería (piezas prismáticas) y la mampostería.
 - Fábricas de ladrillo cerámico: ladrillo macizo, perforado o hueco.
 - Fábricas de bloque de hormigón vibrado: hueco o macizo (relleno).
- Según el tipo de junta:
 - Sin material de junta, a hueso o en seco.
 - Con material de junta: solo en tendeles (junta horizontal) o en tendeles y llagas (juntas horizontales y verticales).
- Por el sistema de refuerzo:
 - Fábrica armada: disposición de armaduras en los tendeles.
 - Refuerzos verticales.
 - Refuerzo vertical y horizontal.

Actualmente los más utilizados son los de ladrillo cerámico y bloque de hormigón, aunque en la arquitectura tradicional podemos encontrar numerosos ejemplos de fábricas de piedra y de tierra, sistemas actualmente casi en desuso, reservado prácticamente a obras de restauración y rehabilitación, o a zonas rurales, como los muros de contención de tierras de piedra en seco.

La **capacidad portante** de estos muros depende de su espesor y de la correcta disposición de sus piezas, del aparejo y la trabazón entre las mismas, que permite transmitir parte de la carga por tracción/cortante, además del material de junta, que transfiere parte de las cargas por adherencia mecánica y rozamiento. La correcta **relación** entre las propiedades de ambos materiales, **pieza y mortero**, condicionará el futuro comportamiento del muro.

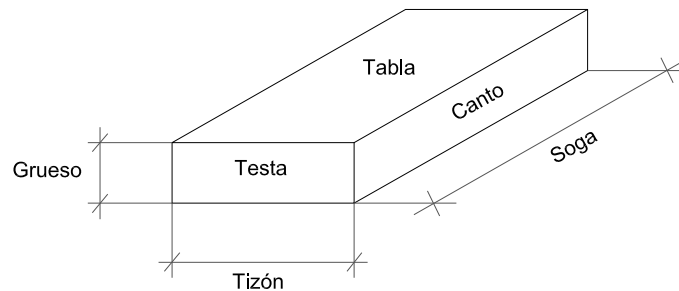
Actualmente los muros de fábrica están regulados por el Código Técnico de la Edificación, Libro 5, Documento Básico Seguridad Estructural: Fábrica (**CTE DB SE-F**).

2. FÁBRICAS DE LADRILLO CERÁMICO

2.1. LADRILLOS CERÁMICOS

Los **ladrillos cerámicos** son piezas prismáticas elaboradas con arcilla cocida.

Las **partes** que configuran la pieza son la tabla, el canto y la testa. Sus dimensiones se denominan: soga (lado mayor), tizón (lado medio) y grueso (lado menor).



Nomenclatura de las partes que conforman un ladrillo cerámico. E = 1/5.

En el caso de los **ladrillos vistos**, las relaciones que se establecen entre sus dimensiones son:

- 1 soga = 2 tizones + 1 junta = 4 gruesos + 3 juntas
- 1 tizón = 2 gruesos + 1 junta

Los **tipos de ladrillo cerámico** más utilizados habitualmente en la ejecución de muros de fábrica son:

- Ladrillos macizos: no presentan orificios, o los mismos se disponen perpendicular a la tabla, sin superar el 10% del volumen y de tamaño inferior a 2,5 cm² cada uno. Sus dimensiones más habituales son 11,5 x 24 cm de tabla, y gruesos que suelen estar entre 3,5, 5, 7 cm. Estas medidas suelen variar sensiblemente en función del fabricante y de si se trata de ladrillo para fábricas a revestir o caravista. Pueden llevar rebajes en la tabla o la testa (cazoleta) para permitir crear juntas ocultas.



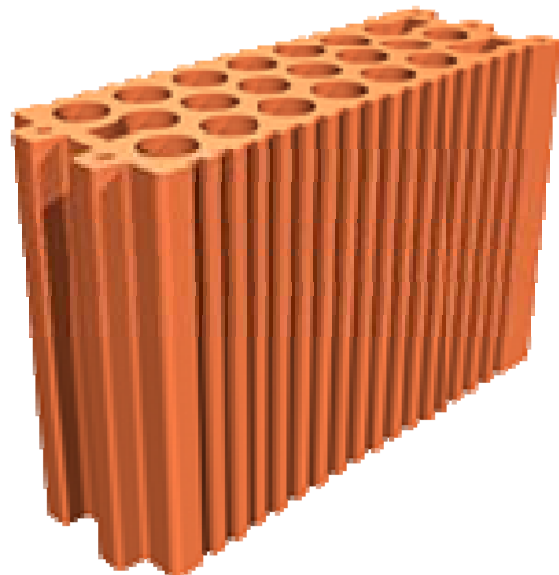
Ladrillos cerámicos macizos con y sin cazoleta. Fuente: <www.planos-casas.com> [Consulta: 17 de abril de 2018].

- Ladrillos perforados: son ladrillos con orificios perpendiculares a la tabla cuyo volumen supera el 10%. Las dimensiones más habituales son 11,5 x 24 cm de tabla y gruesos de 3,5, 5, 7, 10 cm. Estas medidas suelen variar sensiblemente en función del fabricante, existiendo también formatos caravista y para revestir.



Ladrillos cerámicos perforados con acabados para revestir y con formatos caravista.

Existen grandes formatos cuya longitud ronda los 30-50 cm y la altura los 20 cm.



Ladrillo perforado gran formato. Fuente: <<http://www.ceranor.es>> [Consulta: 17 de abril de 2018].

En el caso de los ladrillos caravista tanto macizos como perforados, existe una amplia gama de colores y acabados especiales: vitrificados, hidrófugos, etc.

- Ladrillos huecos: son ladrillos con orificios perpendiculares a la testa. En función del espesor tendremos ladrillos de hueco sencillo, de doble hueco o de triple hueco. Las dimensiones más habituales son: 11,5 x 24 x 7/9/1 para doble y 11,5 x 24 x 7/9/11 para triple hueco.



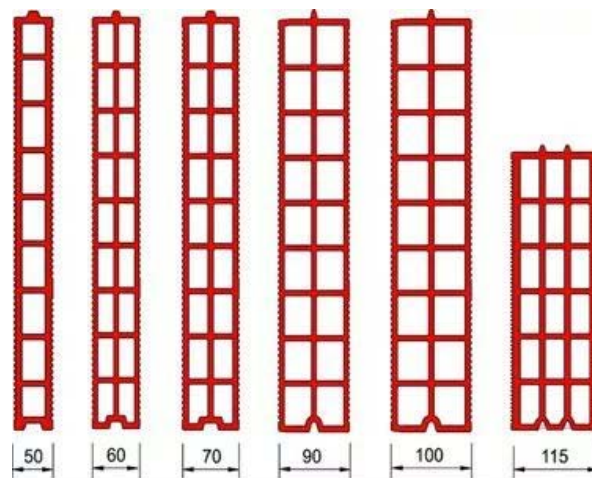
Ladrillos cerámicos de doble hueco (7 cm de espesor) y de triple hueco (11 cm de espesor).

Los ladrillos huecos de reducido espesor, de hueco sencillo, entre 2,5, 3, 4 cm, son denominados **rasillas**. Debido a su reducido espesor, las tablas pueden alcanzar mayores dimensiones que los de doble o triple hueco, con longitudes que pueden alcanzar los 100 cm.



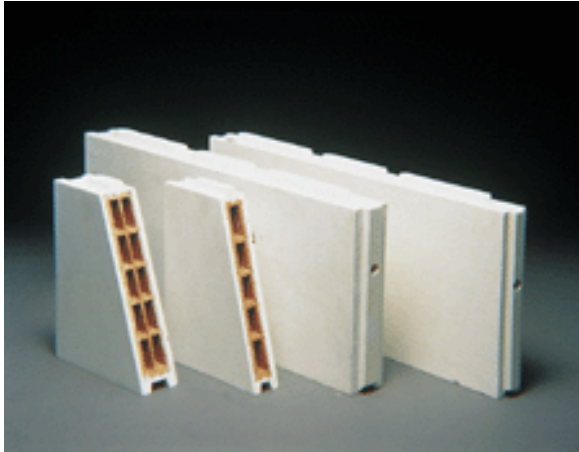
Rasilla, ladrillo cerámico de hueco sencillo.

Los grandes formatos suelen tener una tabla de dimensiones que alcanzan los 40 x 70 o 50 x 70 cm, con gruesos que van de los 4 o 5 cm para los de hueco sencillo, 6/7/9/10 cm para hueco doble y los 11,5 cm para hueco triple.



Dimensiones habituales en los grandes formatos. Fuente: <www.proyecto y reforma.es> [Consulta: 17 de abril de 2018].

Existen variedades de estos grandes formatos que incluyen un revestimiento de yeso, apto para acabados interiores (Ladryeso).



Ladrillo de gran formato con revestimiento de yeso incorporado. Ladryeso ©

- Bloques de termoarcilla: se trata de bloques cerámicos de arcilla, aligerados con perforaciones ranuradas en la tabla y testa machihembrada. Las dimensiones más habituales son 30 cm de soga, 19 cm de grueso y tizón o espesor variable: 14, 19, 24 y 29.

Son fábricas cerámicas muy utilizadas en cerramientos de fachada, debido a sus óptimas prestaciones de aislamiento térmico y acústico. Existen numeros tipos de piezas especiales.

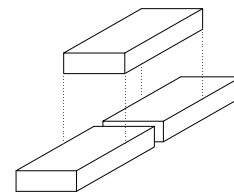
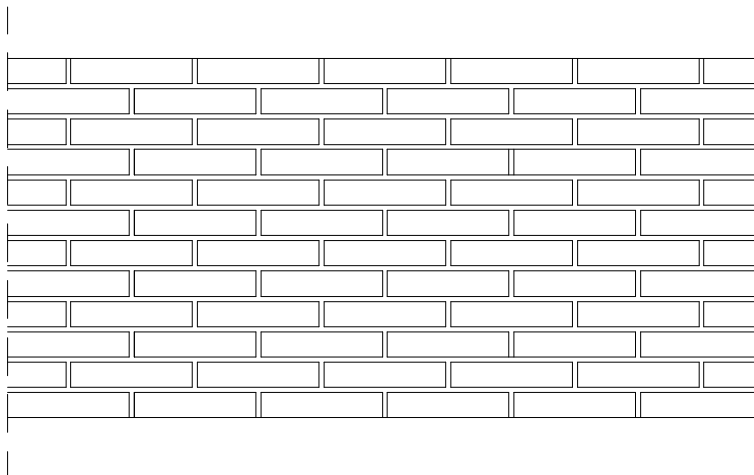
Tipos de bloque de termoarcilla. Fuente: <www.arqhys.com> [Consulta: 11 de mayo de 2016].



2.2. DISPOSICIONES DE LOS LADRILLOS

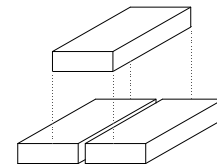
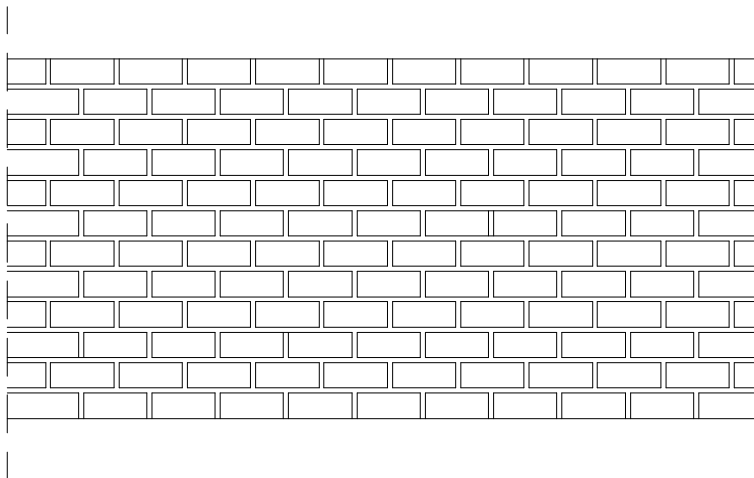
Las **posibles disposiciones** de los ladrillos para crear una fábrica son:

- A sogá: se trata de la fábrica creada con ladrillos apoyados sobre su tabla, unidos por su testa, de modo que el canto define la cara exterior del paramento.



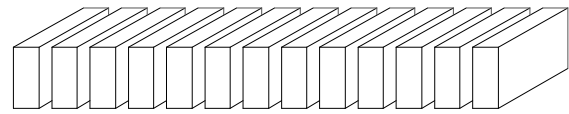
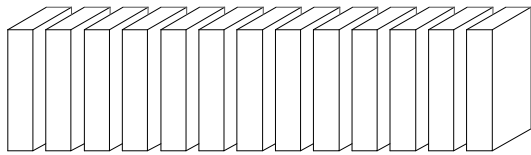
Fábrica con ladrillos dispuestos a sogá. E = 1/15.

- A tizón: se trata de la fábrica creada con ladrillos apoyados sobre su tabla, unidos por su canto, de modo que la testa define la cara exterior del paramento.



Fábrica con ladrillos dispuestos a tizón. E = 1/15.

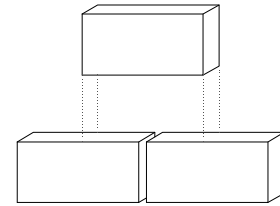
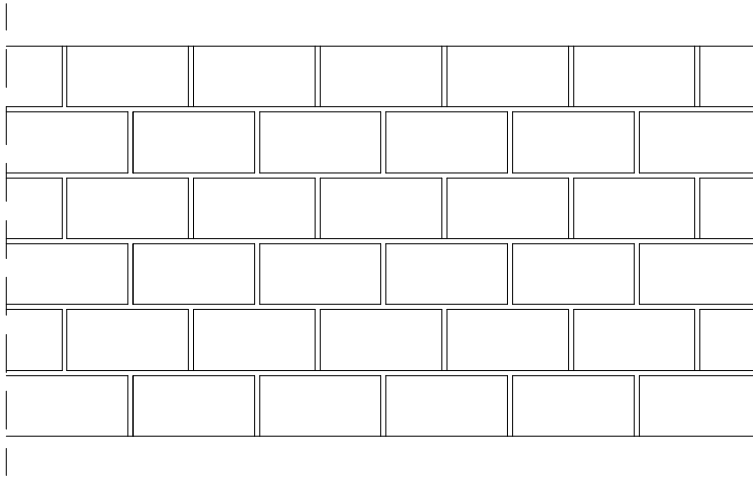
- A sardinel: cuando los ladrillos apoyan sobre el canto o la testa, quedando unidos por sus tablas. Esta disposición no suele ser utilizada para la conformación de fábrica, sino de otros elementos como los clásicos dinteles o cargaderos de la fábrica superior de los huecos de fachada, los frentes de forjado, etc.



Dintel de ladrillo cerámico caravista a sardinela vertical u horizontal. E = 1/15.

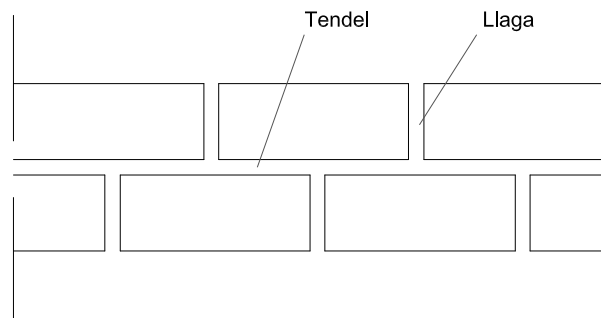
- A panderete: cuando los ladrillos apoyan sobre el canto, unidos por la testa, configurando las tablas la cara exterior del paramento.





Fábrica a panderete. E = 1/15.

La sucesión de piezas que se crea al disponer unas a continuación de las otras se denomina **hilada**. La junta vertical creada entre dos piezas consecutivas de una misma hilada es la denominada **llaga**. La junta creada entre dos hiladas sucesivas es el denominado **tendel**.



Nomenclatura de las juntas creadas entre las distintas piezas que componen una fábrica. E = 1/5.

El tipo de junta y su espesor depende de si se trata de una **fábrica caravista** o de una **fábrica a revestir**. Las fábricas revestidas siempre tienen llagas y tendeles, de aproximadamente 1 cm de espesor.



Llagas y tendeles de una fábrica cerámica a revestir.

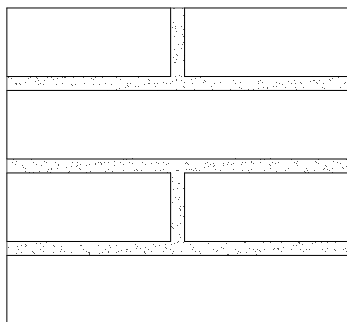
En las fábricas caracvista, es posible que las llagas y tendeles tengan el mismo espesor, aproximadamente de 1 cm, pero es habitual también que se dispongan algunas de las juntas ocultas, especialmente las llagas. El tipo de junta escogida determina por completo la estética de la fábrica, definiendo un plano más homogéneo o remarcando la horizontalidad



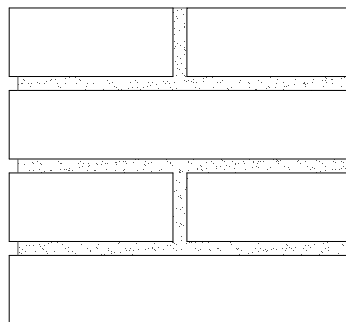


Muros con tendeles de un centímetro y llaga resuelta con junta oculta. Se consigue un efecto que refuerza la horizontalidad del muro.

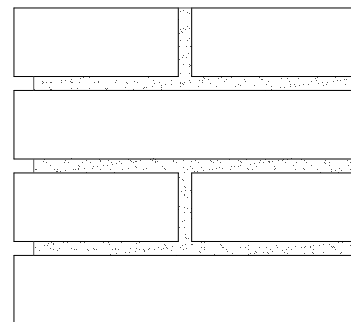
El **acabado** puede quedar: enrasado, rehundido, degollado, redondeado, matado en la parte superior o incluso oculto (ladrillos especiales con la tabla rehundida).



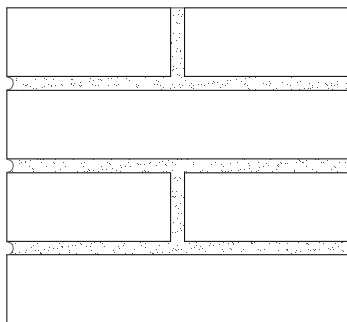
Junta enrasada



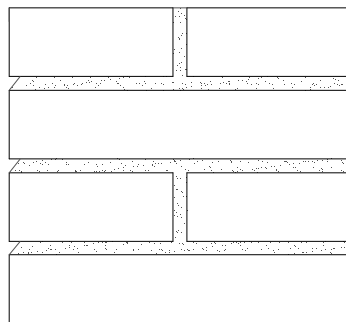
Junta rehundida



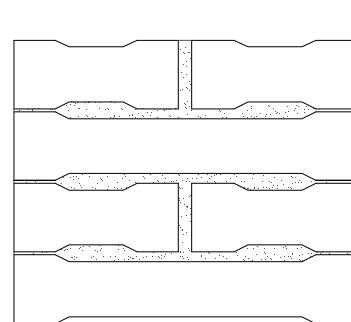
Junta degollada



Junta redondeada



Junta matada



Junta oculta

Posibles acabados de la junta en una fábrica. E = 1/5.

Así mismo, algunos tipos de junta no son adecuados desde el punto de vista del **mantenimiento**, debido a que favorecen la acumulación de polvo y suciedad, que puede producir churretones en la fábrica conocidos como "**lavado diferencial**" por el efecto del agua de lluvia, la cual arrastra estas partículas.

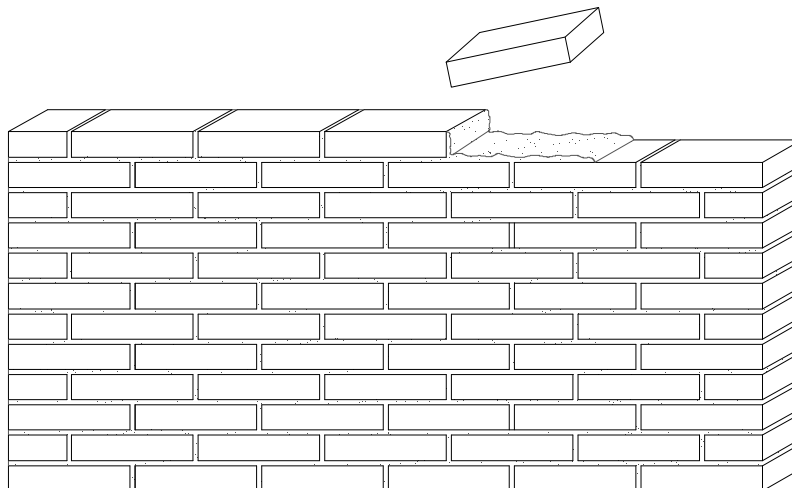


Lavado diferencial en fachada de ladrillo caravista.

2.3. FORMAS DE COLOCACIÓN

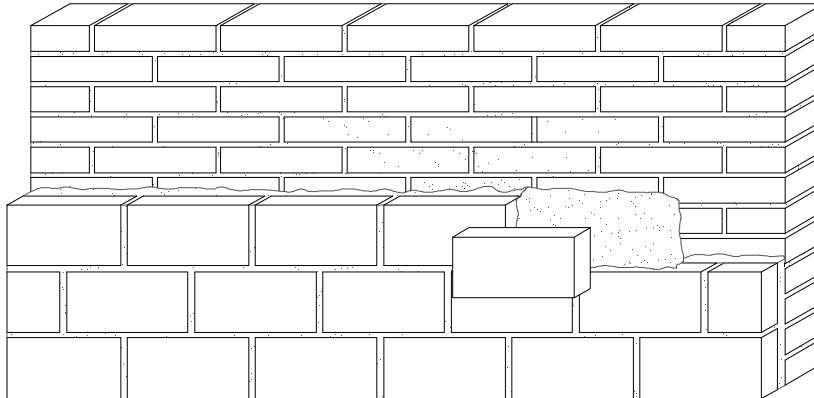
Las posibles **formas de colocación** de los ladrillos son:

- A torta y restregón: cuando se coloca el ladrillo apoyado sobre su tabla, restregando sobre una pellada de mortero dispuesta sobre la hilada inferior hasta que la pasta rebose por llagas y tendeles, retirando posteriormente las rebabas.



Colocación de los ladrillos a torta y restregón. E = 1/15.

- A bofetón: cuando la pieza se coloca restregando la tabla sobre el paramento de otra fábrica anteriormente ejecutada.



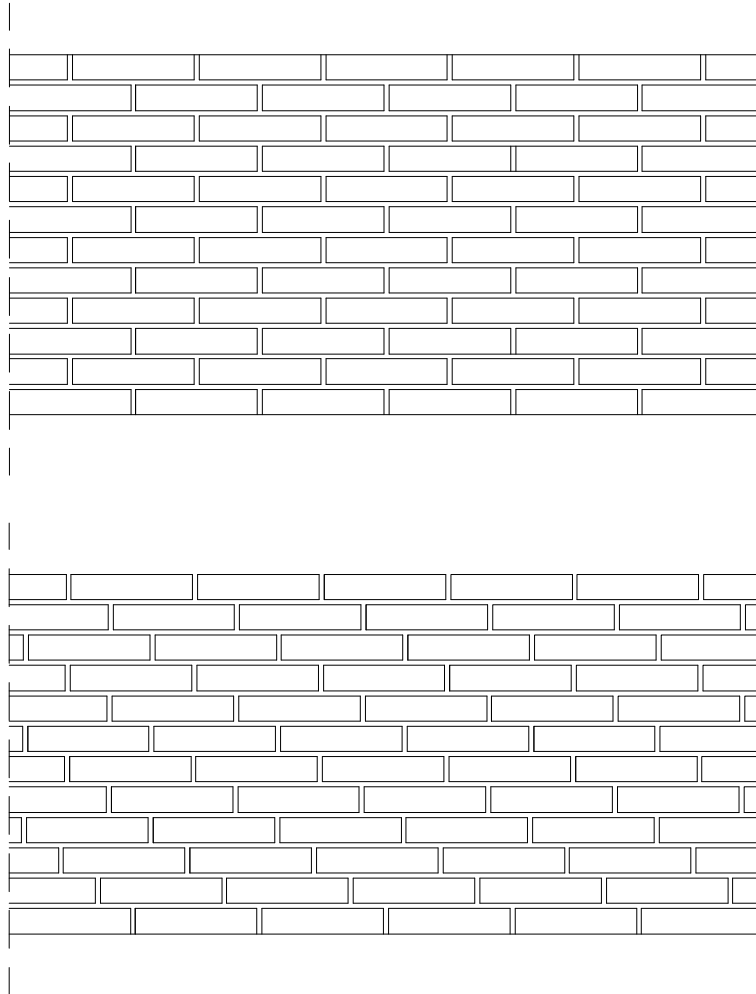
Colocación de los ladrillos a bofetón $E = 1/15$.

2.4. APAREJOS

Los **tipos de aparejos** de un muro de fábrica son:

- Aparejo de sogas: es el creado mediante la disposición de hiladas sucesivas dispuestas a soga, **desplazadas** en sentido longitudinal **medio ladrillo para matar las juntas** de una hilada a otra. Cuando el desplazamiento es tal que únicamente se produce el solape de **un cuarto** de ladrillo se denomina **aparejo de chimenea**.

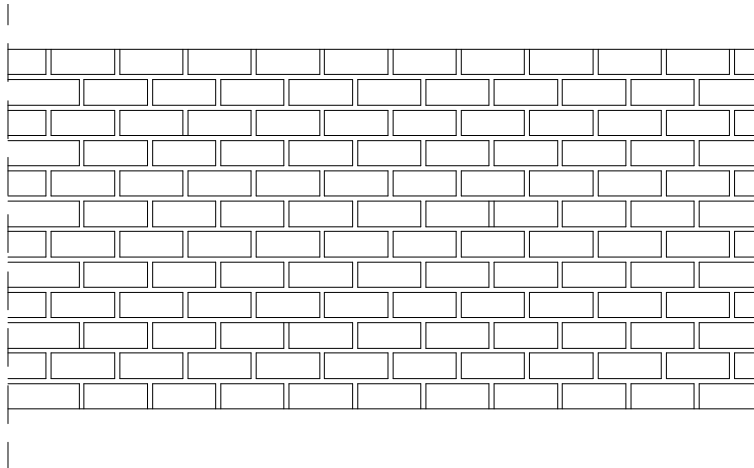




Aparejo de sogas y aparejo de chimenea (sogas con solape de 1/4). E = 1/15.

- Aparejo de tizones o a la española: es el creado mediante la disposición de hiladas sucesivas dispuestas a tizón, **desplazadas** en sentido longitudinal **medio ladrillo para matar las juntas** de una hilada a otra.

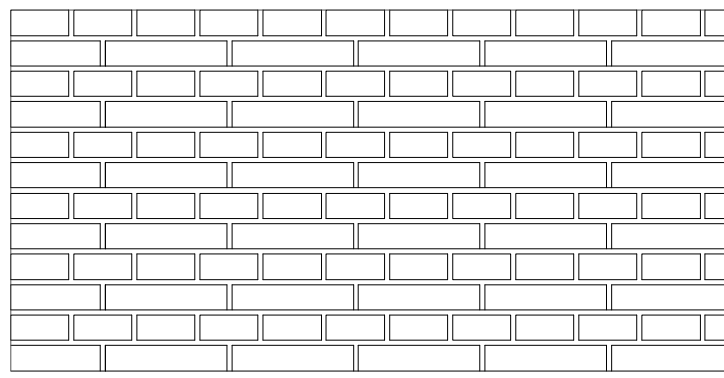




Aparejo de tizones. E = 1/15.

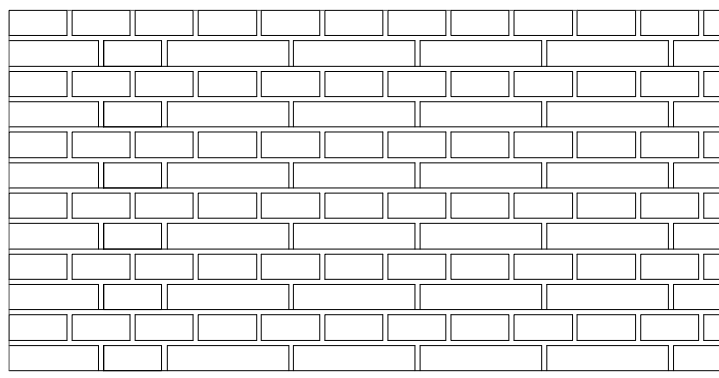
- Aparejo de sogas y tizones en hiladas alternas:

- aparejo inglés: se alterna una hilada de sogas y una de tizones. Las hiladas de sogas **arrancan con una pieza de 3/4.**



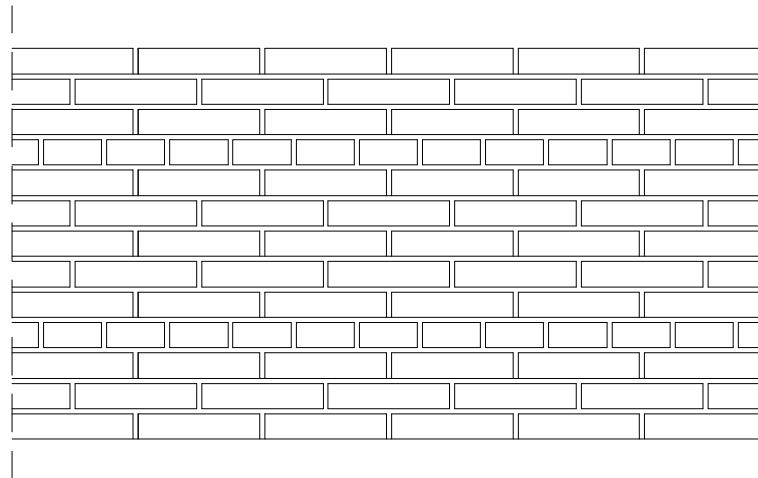
Aparejo inglés. E = 1/15.

- aparejo belga: igual que el inglés, solo que en las hiladas de sogas, **se coloca un tizón tras las piezas de 3/4.**



Aparejo belga. E = 1/15.

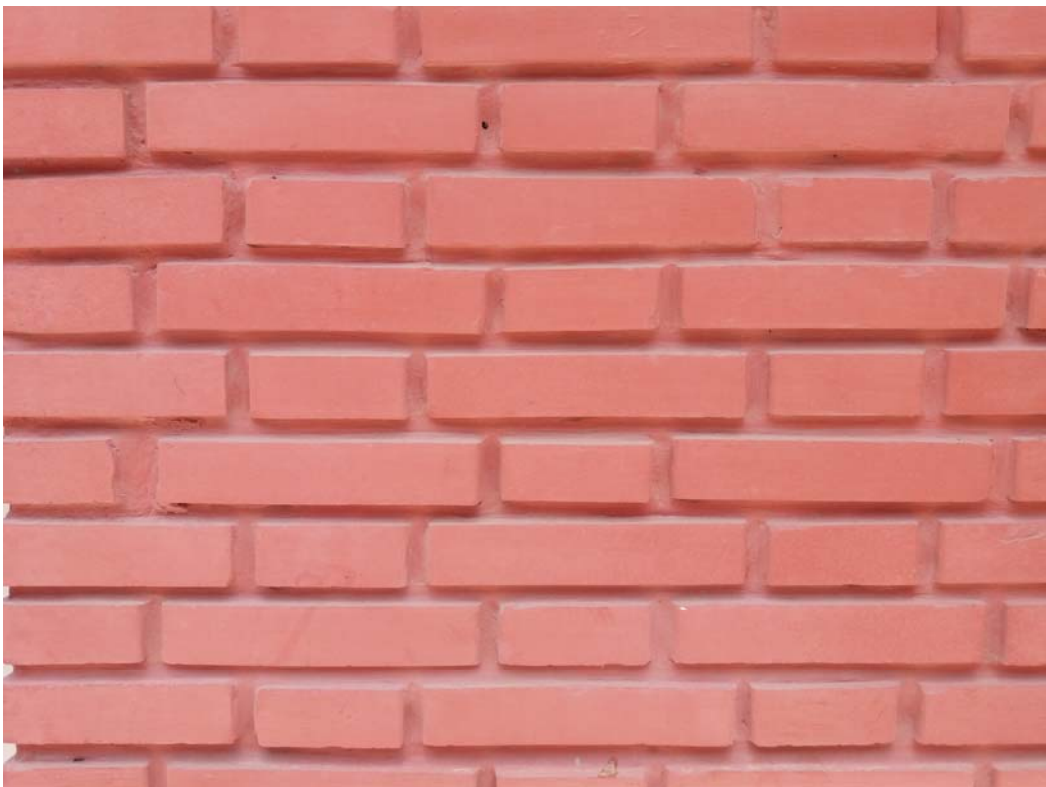
- aparejo americano: se configura con hiladas a soga combinadas con una hilada de tizoneas cada 5 o 6 hiladas.

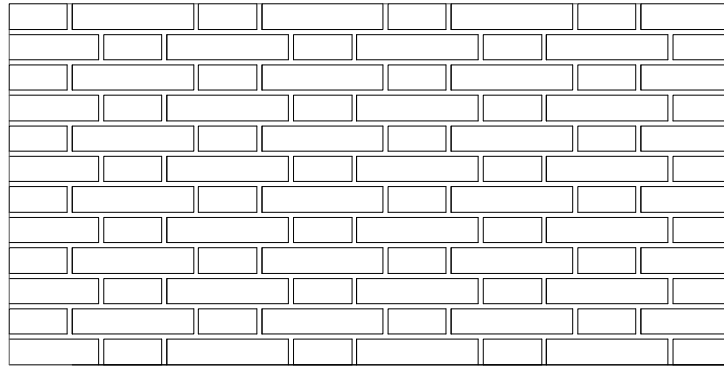


Aparejo americano. E = 1/15.

- Aparejo de sogas y tizones alternos en una misma hilada:

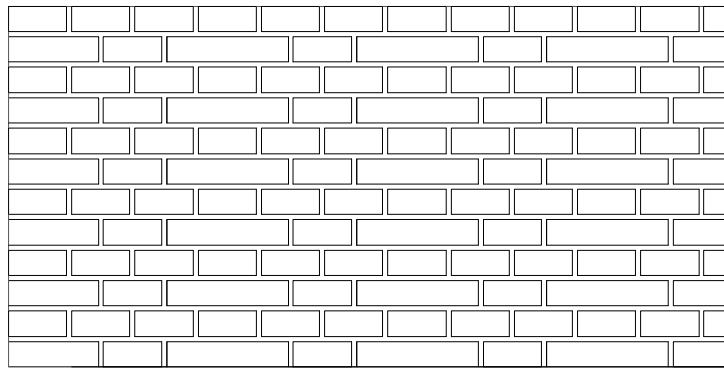
- aparejo flamenco o gótico: dispone hiladas consecutivas de sogas y tizones alternos.





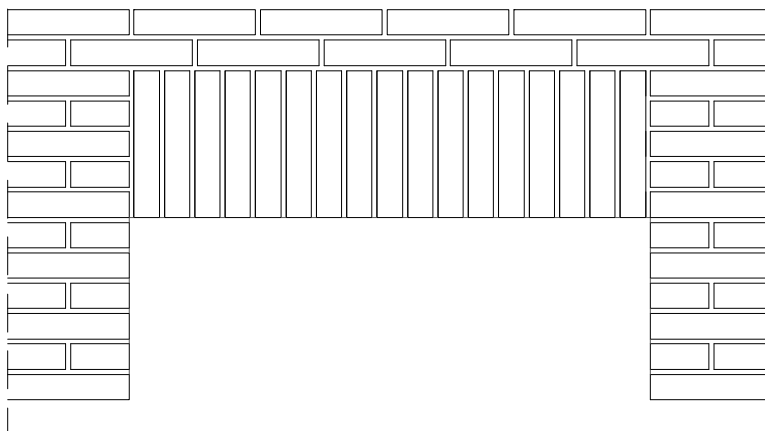
Aparejo flamenco o gótico. E = 1/15.

- aparejo holandés: alterna una hilada de tizones con una hilada de sogas y tizones, arrancando éstas con piezas de 3/4 a soga.



Aparejo holandés. E = 1/15.

- Aparejo de sardineles o roscas: está formado por ladrillos colocados a sardinel creando elementos especiales de la fábrica: dinteles, arcos, arranques, remates, etc. No constituye un verdadero aparejo puesto que no existe solape vertical.



Aparejo de sardineles en dintel de ventana. E = 1/15.

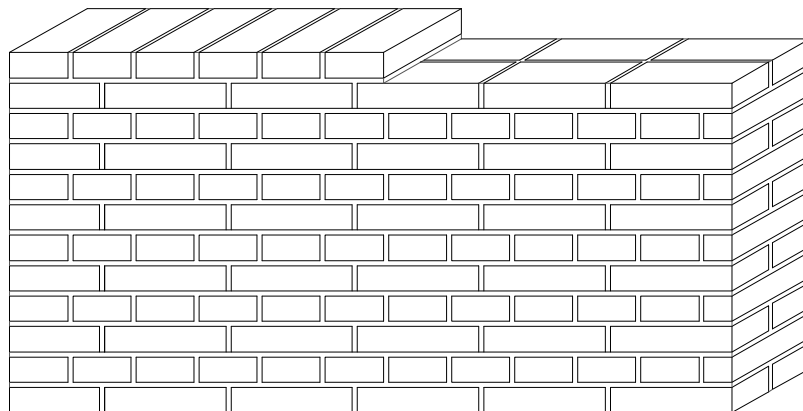


Fachadas de ladrillo caravista con aparejo de sardineles en dinteles de ventana y frentes de forjado.

2.5. TIPOS DE MUROS DE FÁBRICA

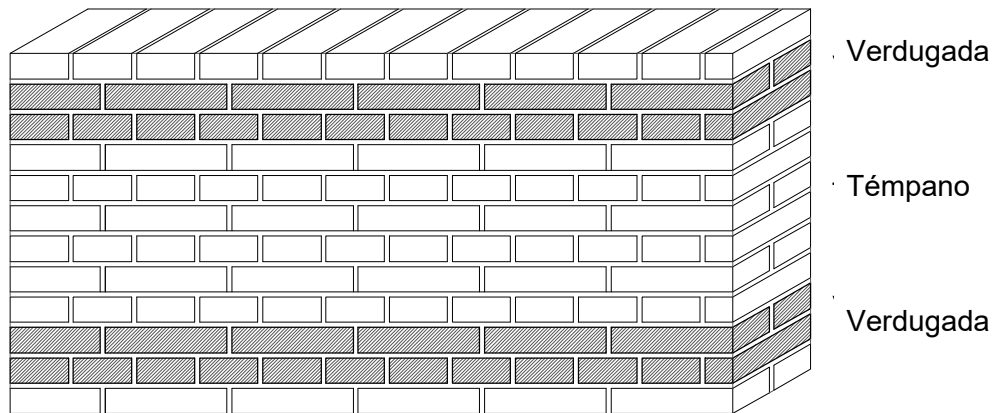
Los principales **tipos de muros de fábrica** son:

- **Muro aparejado**: son aquellos muros **trabados** en todo su espesor y ejecutados con **una sola clase de ladrillo**. Aquellos que sustentan forjados tendrán un espesor no menor a 11,5 cm y los muros transversales no menor a 9 cm.



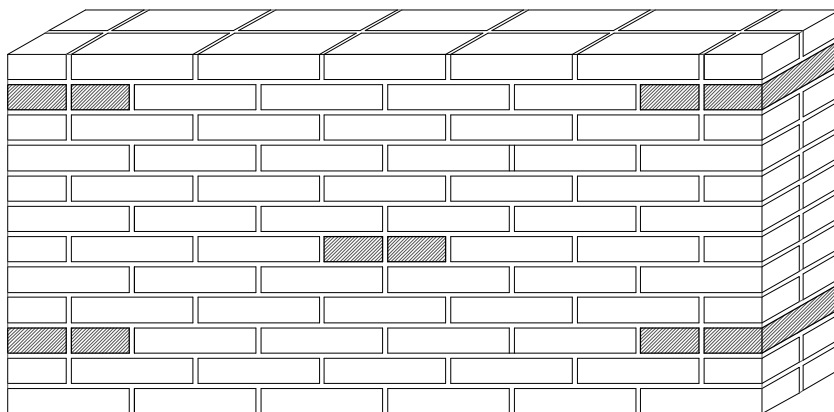
Muro aparejado. E = 1/15.

- **Muro verdugado**: muro aparejado que **alterna témpanos** de una clase de ladrillo **con verdugadas de ladrillo más resistente**, pudiendo estas éstas armadas. La altura de la verdugada será **no menor que 2 hiladas ni que 12,5 cm**. La altura de cada **témpano** será **no mayor que 7 veces** la altura de **la verdugada**.

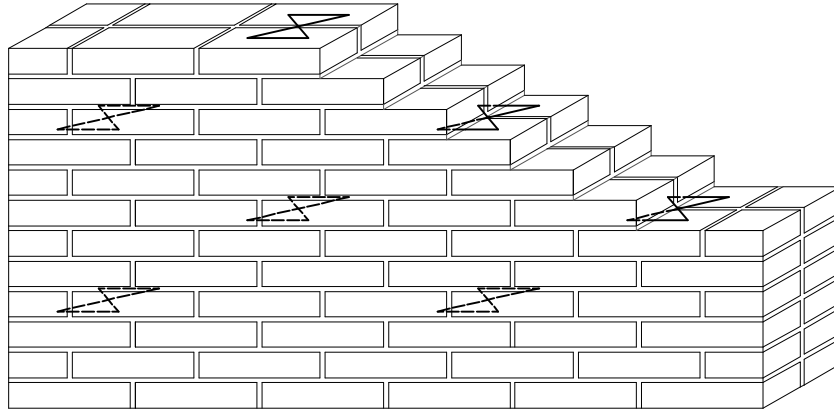


Muro verdugado. E = 1/15.

- **Muro doblado**: muro de **dos hojas adosadas**, de la misma o distinta clase de ladrillo, de espesor no inferior a 9 cm, **unidas por elementos de enlace**: verdugadas, llaves de ladrillo con entrega en cada hoja de al menos 9 cm, anclajes de acero galvanizado (dispuestos al tresbolillo con una separación entre centros no superior a 60 cm) y bandas continuas de chapa plegada galvanizada (centradas en la junta, de ancho no inferior a 12 cm y con una separación en vertical no superior a 1 m). Las dos hojas se ejecutarán simultáneamente, **rellenando la junta** entre ambas **de mortero de cemento**.

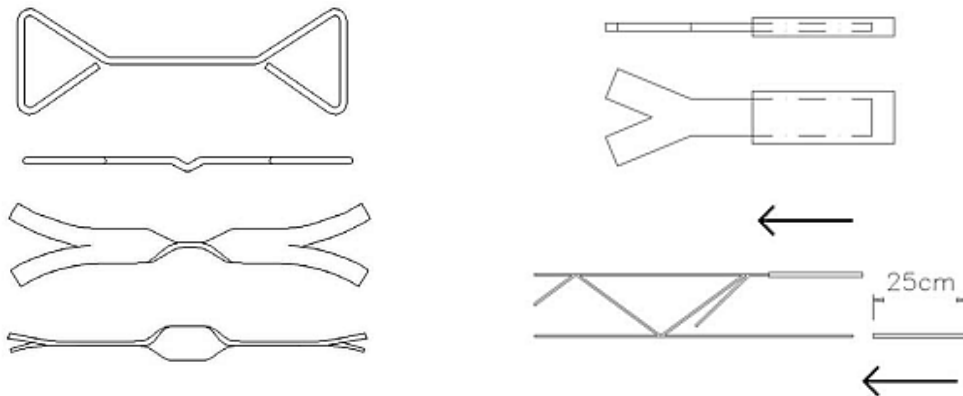


Muro doblado con elementos de enlace de ladrillo. E = 1/15.



Muro doblado con elementos de enlace de acero galvanizado. E = 1/15.

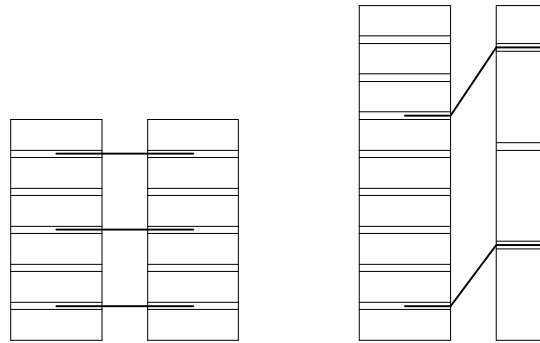
- Muros capuchinos: muro de dos hojas, de la misma o de distinta clase de ladrillo, de espesor no inferior a 9 cm, **separadas mediante** la disposición de **una cámara intermedia**, enlazadas por elementos como: verdagadas, bandas, llaves o anclajes.



Llaves de atado de acero galvanizado para muros capuchinos, con movimiento restringido (izda.) o con libertad de movimiento (drcha.). Fuente: <www.construmatica.com> [Consulta: 5 de mayo de 2016].

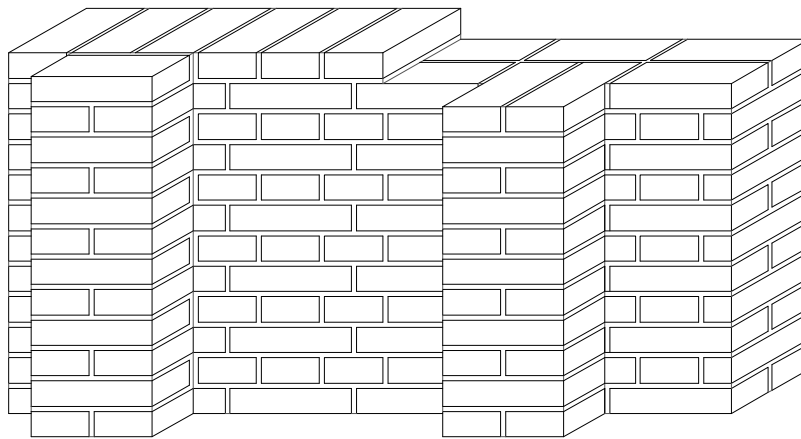


Llaves de atado de acero galvanizado para muros capuchinos. Fuente: <www.bever.de> [Consulta: 5 de mayo de 2016].



Muro capuchino con llaves de atado. Los tendeles pueden quedar a la misma o distinta altura en función del tipo de hojas que configuran el muro. En caso de no coincidir, las llaves irán salvando la diferencia de altura. E = 1/10.

- Muro apilastrado: muro aparejado **con resaltos de pilastras**. Pilastras y muro se ejecutan simultáneamente, convenientemente aparejados entre sí.



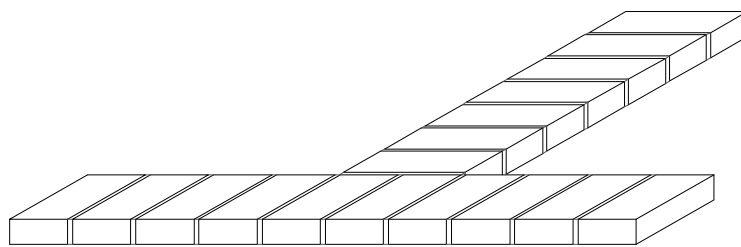
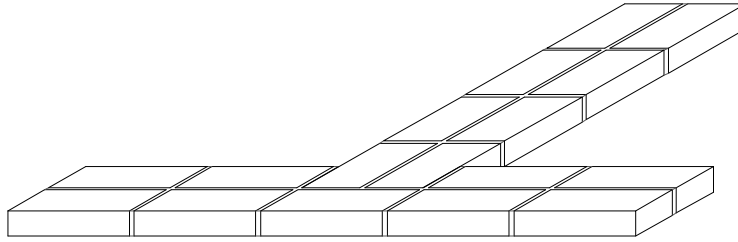
Muro de fábrica apilastrado. E = 1/15.

2.6. ENCUENTROS ENTRE MUROS DE FÁBRICA

Los **encuentros entre muros** pueden presentar una **gran variedad**, dado el elevado número de tipos de aparejos existentes. Con carácter general, las **trabas** en los distintos tipos de encuentros tienen que ser como **mínimo de 1/4 de la longitud del ladrillo**.

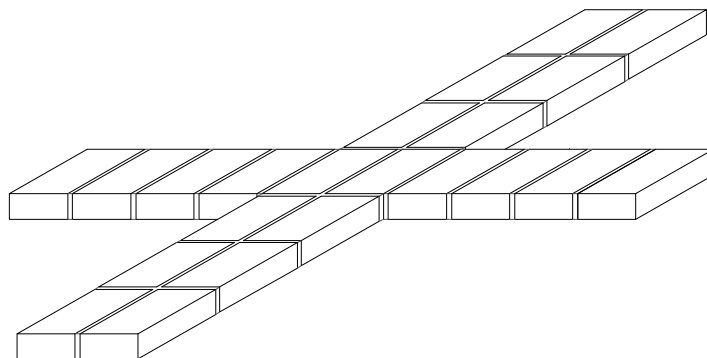
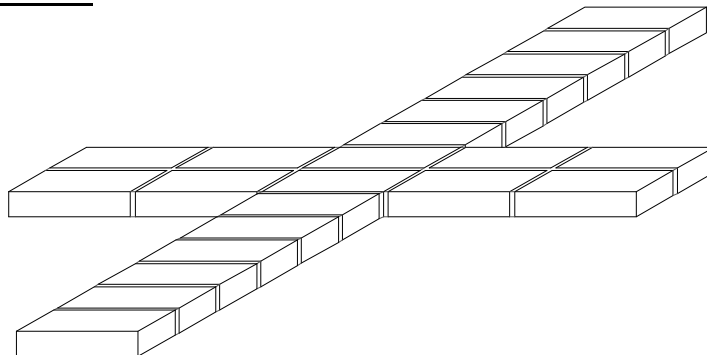
Podemos distinguir entre:

- Encuentros en T:



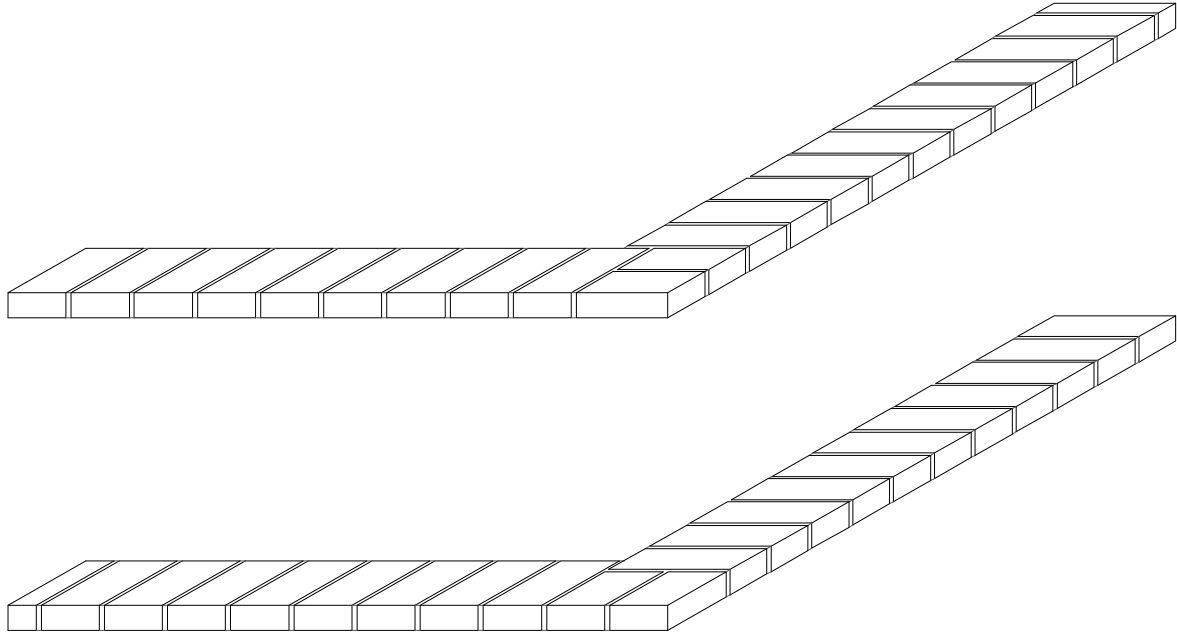
Encuentro en T de muros de fábrica. $E = 1/15$.

- Encuentros en cruz:



Encuentro en cruz de muros de fábrica. $E = 1/15$.

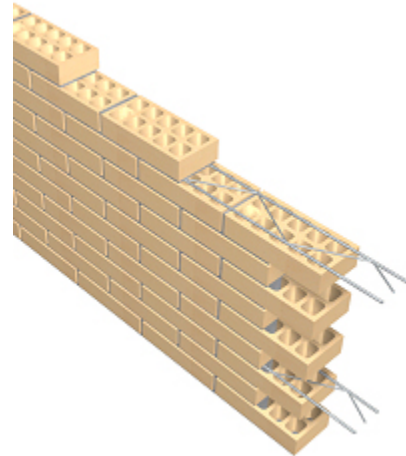
- Encuentros en esquina:



Encuentro en esquina de muros de fábrica. E = 1/15.

2.7. FÁBRICA ARMADA

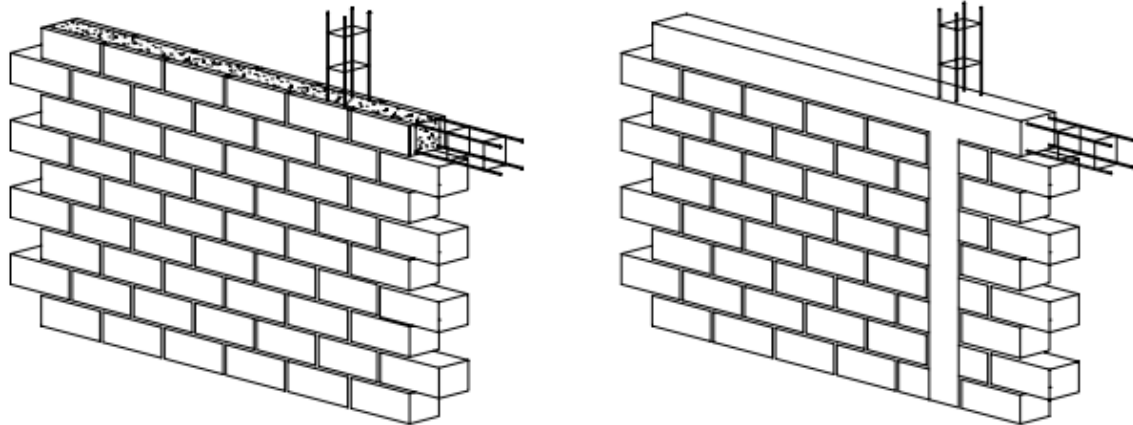
Los muros de fábrica **pueden incorporar armaduras** (barras o mallas) **embebidas** en el mortero de **los tendeles**. La función principal de este armado es **impedir la abertura de la fábrica**, actuando como un tirante que absorbe las fuerzas de tracción producidas por **acciones contenidas en el plano del muro** como: cargas gravitatorias, flexiones producidas en los cargaderos o dinteles de los huecos, etc. El armado no mejora el comportamiento del muro frente a esfuerzos cortantes.



Fábrica cerámica armada. Fuente: <www.generadordeprecios.info> [Consulta: 5 de mayo de 2016].

2.8. FÁBRICA CONFINADA

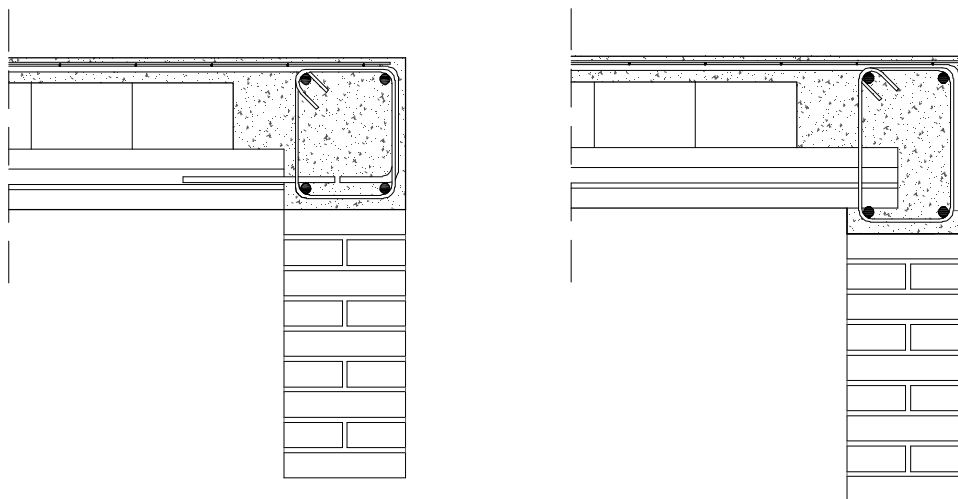
Se trata de muros de fábrica contruidos entre **elementos de hormigón armado o de fábrica armada**, no superando la distancia entre los elementos de confinamiento los 4 m, tanto en sentido horizontal como vertical. La **dimensión mínima** de dichos elementos será de **10 cm**, y serán hormigonados una vez ejecutada la fábrica, disponiéndose convenientemente anclados a ésta.



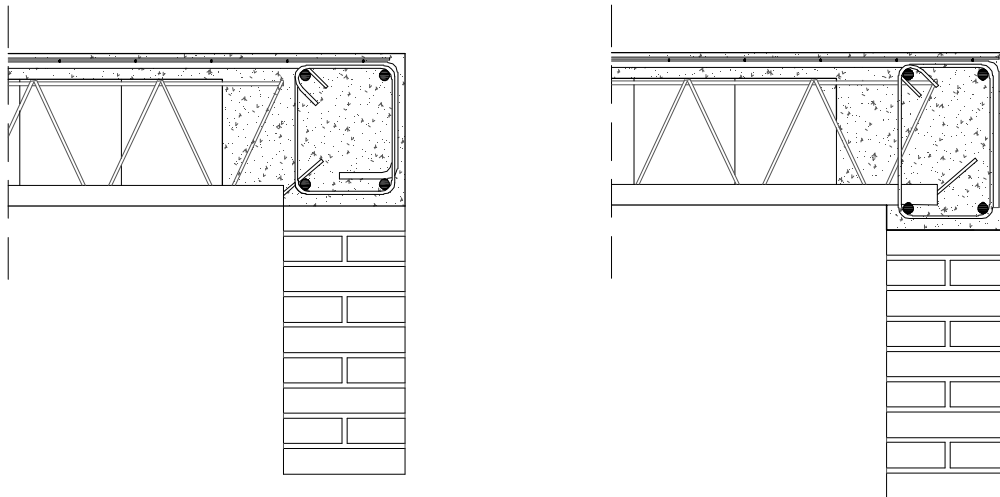
Muro confinado entre vigas y pilares de fábrica o de hormigón armado. Fuente: CTE DB SE-F, Seguridad Estructural, Fábrica, pág. SE-F-45.

2.9. APOYO DE FORJADOS EN MUROS DE FÁBRICA

El **apoyo o encuentro de los forjados sobre los muros** de fábrica debe resolverse mediante la **disposición de un elemento de reparto tipo zuncho**, que asegure una correcta transferencia de las cargas, proporcione un apoyo lineal y continuo del forjado, distribuya de forma proporcional las tensiones, evitando su concentración en puntos determinados, y centre a su vez las cargas para impedir el vuelco. En esta última cuestión, las **uniones empotradas** muro-forjado incrementan el monolitismo del sistema frente a las acciones horizontales, reduciendo el riesgo de vuelco de los muros.



Apoyo indirecto y apoyo directo de forjado de viguetas semirresistentes pretensadas en muro de fábrica. E = 1/15.

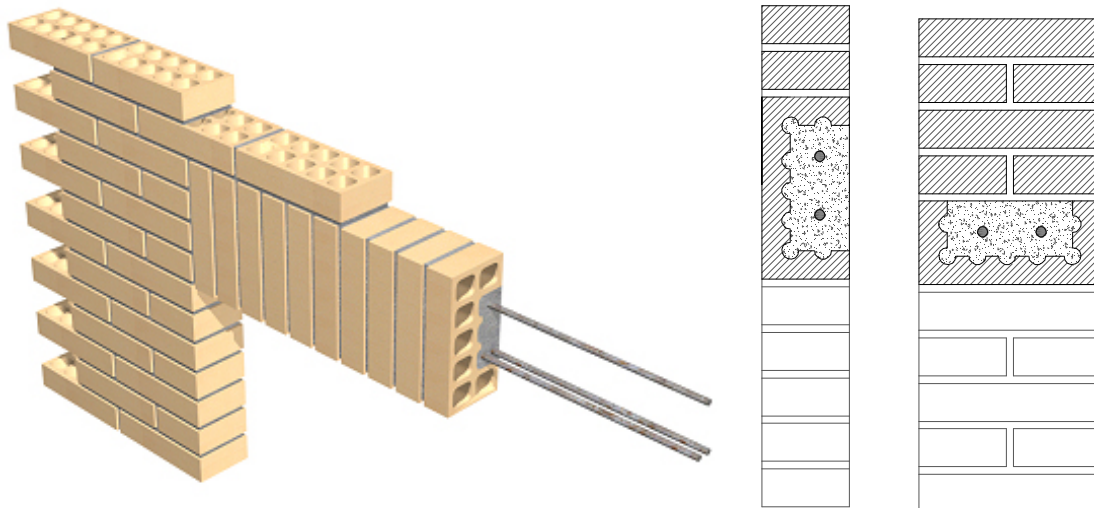


Apoyo indirecto y apoyo directo de forjado de semiviguetas armadas en muro de fábrica. E = 1/15.

2.10. ABERTURA DE HUECOS

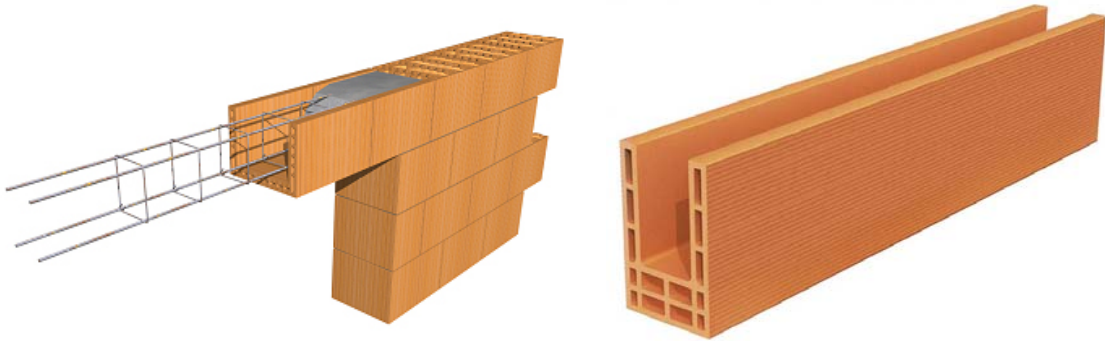
Los muros de fábrica deben resolver el apoyo de las piezas que quedan si sujeción debido a la abertura de huecos, mediante la **disposición de dinteles o cargaderos**. Las **soluciones más habituales** son:

- Dinteles de fábrica: dinteles de ladrillos dispuestos a sardinel vertical u horizontal, creando una caja donde se disponen las armaduras correspondientes para absorber los esfuerzos de tracción, rellenos de hormigón a modo de zuncho.



Dintel a sardinel, vertical y horizontal ejecutado in situ. E = 1/10. Fuente: <www.generadordeprecios.info> [Consulta: 5 de mayo de 2016].

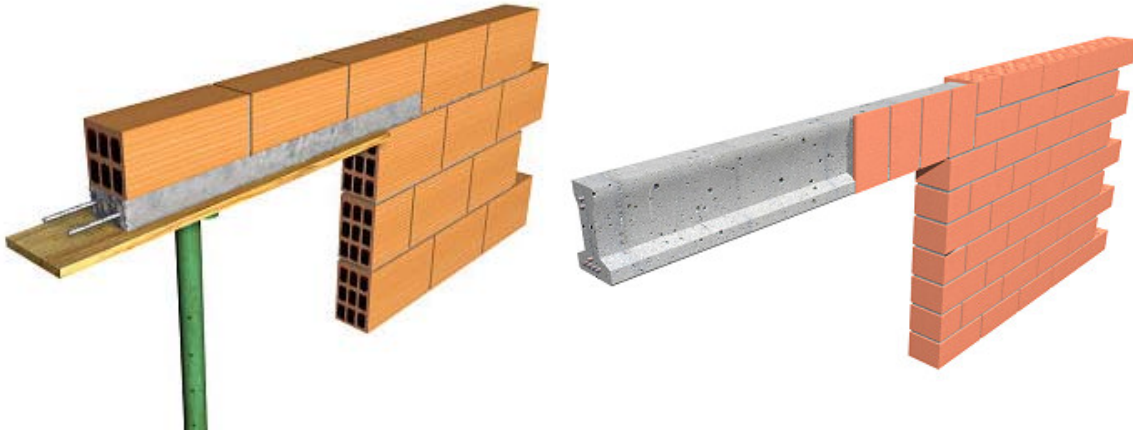
Existen también piezas especiales en U que sirven de encofrado para la ejecución del dintel in situ.



Piezas especiales en U para creación de dinteles cerámicos. Pueden estar configurados por una secuencia de piezas o una única de gran formato Fuente: <www.generadordeprecios.info> [Consulta: 5 de mayo de 2016].

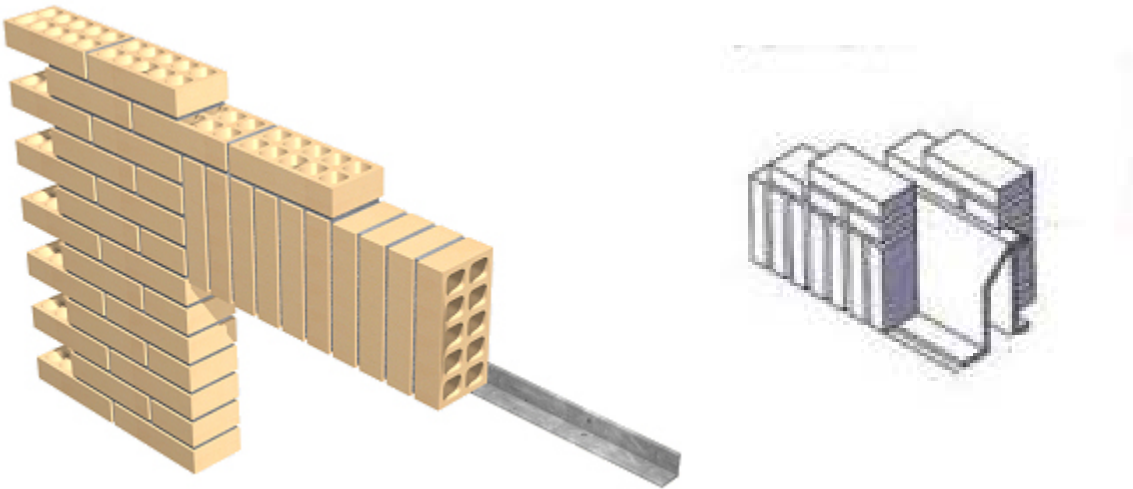
- Dinteles de hormigón armado: en este caso el dintel es un pequeño cargadero de hormigón armado ejecutado in situ, previo encofrado, o bien una vigueta o semivigueta prefabricada.





Dintel de hormigón armado ejecutados in situ o prefabricados. Fuente: <www.generadordeprecios.info> [Consulta: 5 de mayo de 2016].

- Dinteles metálicos: en estos casos las piezas descansan en un **angular metálico** apoyado a su vez en los paños inferiores de la fábrica. Los ladrillos pueden mantener la misma disposición que en el resto de la hilada o colocarse a rosca o a sardinel. Se puede utilizar **el mismo perfil metálico para sujetar ambas hojas**, la exterior y la interior, tipo babero.



Dintel formado con el apoyo de la fábrica en angulares metálicos. En angular puede dar apoto a una hoja de fábrica o a las dos hojas en los muros capuchinos. Fuente: <www.generadordeprecios.info> [Consulta: 5 de mayo de 2016].

Cuando el angular **recibe un peso excesivo o su luz es considerable**, es posible que necesite minimizar la flecha en centro de vano con la disposición de uno o varios **tirantes intermedios**.



Dintel metálico sobre el que descansan las hiladas de ladrillo cerámico perforado superiores dispuestas a soga. Al tratarse de un escaparate en planta baja de gran longitud, se dispone un tirante anclado al forjado superior en el centro de vano.

2.11. RECOMENDACIONES CONSTRUCTIVAS

Antes de proceder a la ejecución de la fábrica, **se barrerá y limpiará bien la superficie** sobre la que ha de asentar. **Se replanteará el espesor del muro** mediante tiralíneas, colocando la **primera hilada**, que será comprobada por la dirección técnica. Se dispondrán **regles** en las esquinas, encuentros en general y en el centro de los paños, con una distancia entre los mismos no mayor de 4 m. Se marcará la altura de cada hilada, donde se colocará la cuerda que sirve de guía durante la ejecución.



Regles cada 4 m, a los que se atan las cuerdas que marcan la altura de cada una de las hiladas.

Los ladrillos se humedecerán por aspersión o inmersión durante unos minutos antes de su colocación, con la intención de que la cerámica no absorba parte del agua del mortero de agarre, variando con ello la consistencia del mismo.

Las piezas **se colocarán a torta y restregón**, colocando una pellada de mortero de unos 2 cm de espesor sobre la que se dispondrá el ladrillo, a una distancia del contiguo igual a unas 2 veces el espesor de la llaga, restregándolo con pequeños golpes de paleta hasta que el mortero rebose por llagas y tendeles, retirando entonces la pasta sobrante.

No se moverá ningún ladrillo tras su colocación, retirándolo por completo junto a su mortero de agarre si fuese necesario corregir su posición.

Las fábricas deben **levantarse por hiladas** horizontales **en toda la extensión** de la obra, siempre que sea posible. Si dos partes de una fábrica deben levantarse en periodos interrumpidos de tiempo, la primera parte se dejará preferentemente

escalonada y, de no ser posible, con un **acabado dentado** a base de **entrantes (adarajas) y salientes (endejas)**.



Enjarjes en muros de fábrica cerámica. Los diferentes paños pueden ser de distintos tipos de formatos, como se aprecia en la imagen de la derecha.

Las hiladas consecutivas **solaparán las piezas** para que el muro se comporte como un elemento estructural único, con un **solape mínimo de 0,4 veces el grueso de la pieza** (no menor a 40 mm), matando las juntas verticales. En las esquinas y encuentros, los **enjarjes** asegurarán un **solapo** entre las piezas **no menor a su tizón**.

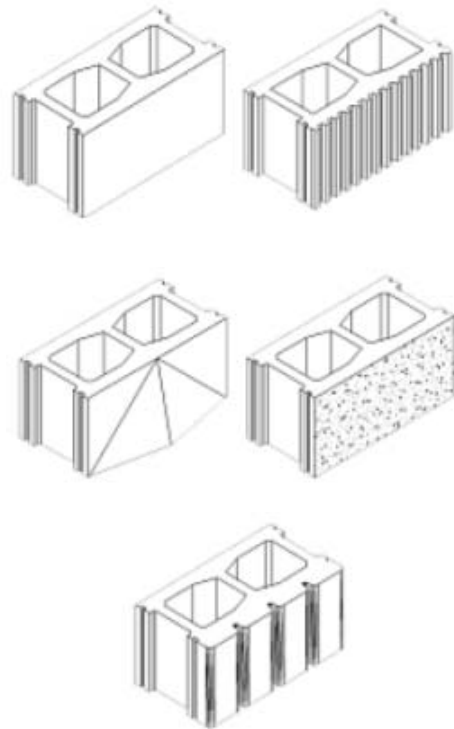
3. FÁBRICAS DE BLOQUE DE HORMIGÓN VIBRADO

3.1. TIPOS DE BLOQUES

Los **bloques de hormigón** son piezas paralelepédicas, constituidas por un conglomerado de cemento y un árido natural o artificial. Sus dimensiones, considerablemente superiores a las piezas de ladrillo cerámico, permiten la **ejecución de muros de fábrica de forma rápida y sencilla**, ejecutando el espesor total del muro con una sola pieza. Las fábricas ejecutadas con bloques de hormigón vibrado alcanzan gran resistencia, por lo que suelen constituir muros de carga, hojas resistentes de cerramientos o particiones de gran resistencia.

Se pueden utilizar distintos **tipos de bloque**:

- **Bloque hueco**: con perforaciones uniformemente repartidas, perpendiculares al plano de asiento, con un volumen no superior a los 2/3 del total. Sus medidas más habituales son **19 x 19 x 39 cm**. Existen **piezas para revestir y caravista**, las cuales pueden presentar **distintos tipos de acabados**: lisos, ranurados, etc.

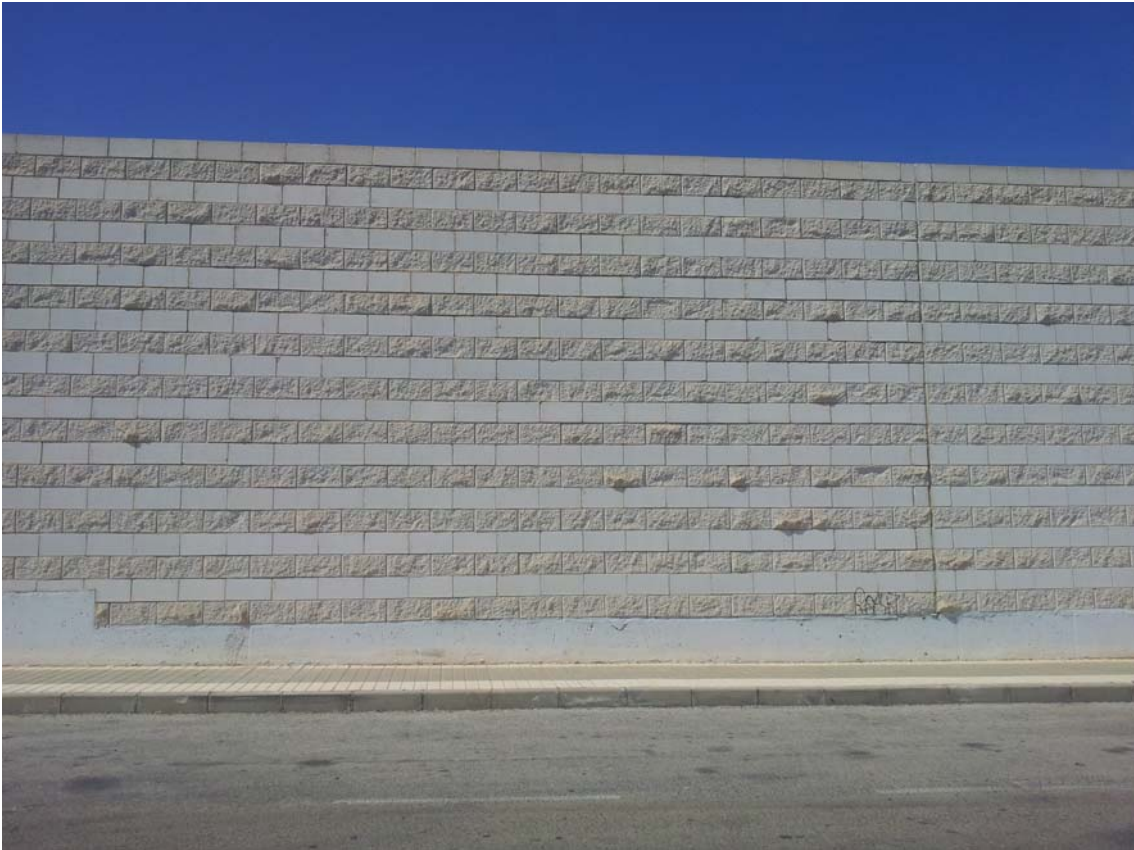


Bloques huecos de hormigón vibrado. Fuente: <www.eiros.es> [Consulta: 10 de mayo de 2016].
Fachada de bloque de hormigón vibrado caravista.



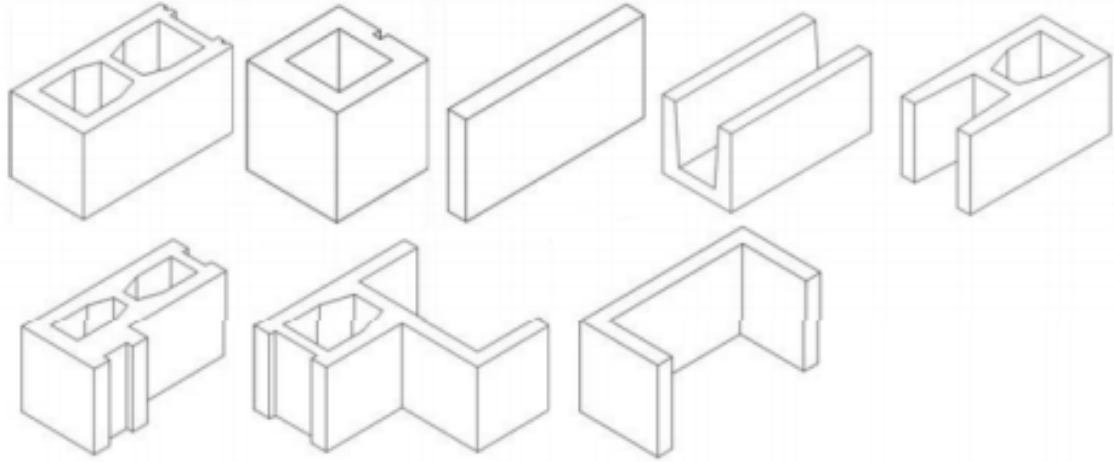
Bloques de hormigón vibrado con distintos acabados para una fábrica vista.

Se utiliza en muchas ocasiones la combinación de los distintos acabados para crear efectos estéticos en las fábricas caravista.

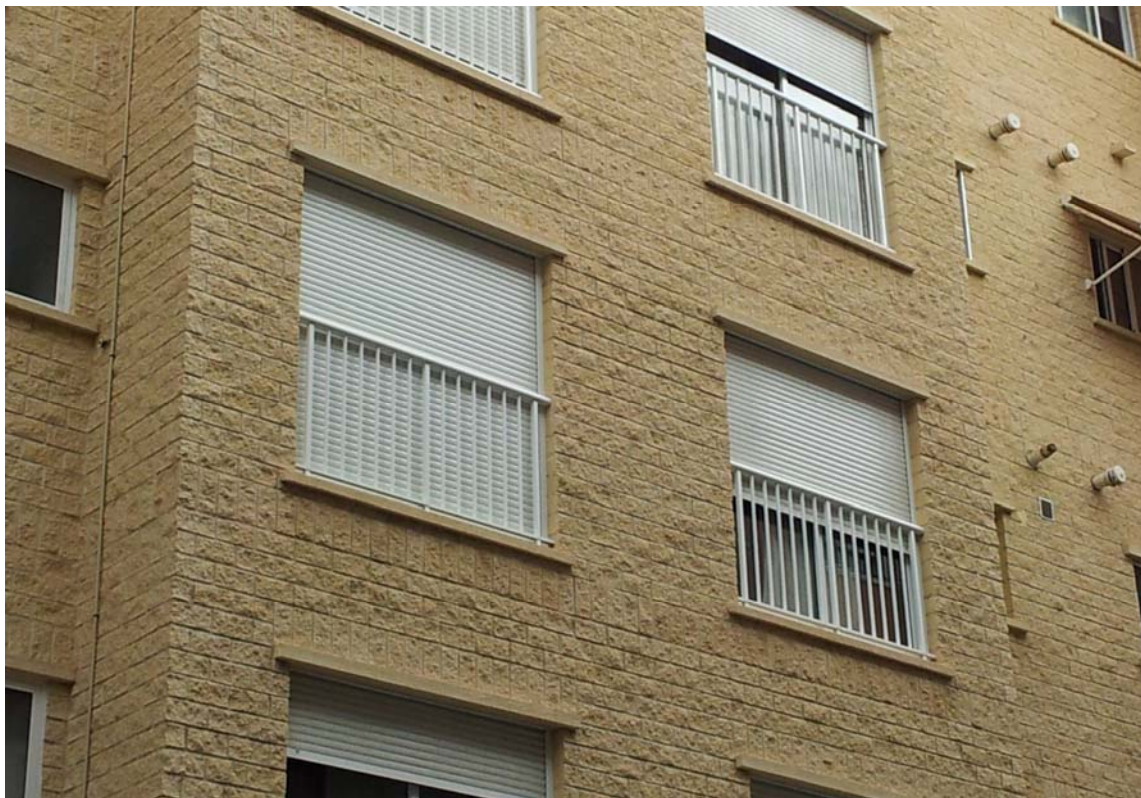


Fábrica de bloque de hormigón vibrado con distintos acabados de las hiladas.

Existen así mismo **piezas especiales** como: bloques de esquina, medios bloques, palquetas, bloques en forma de U para la ejecución de dinteles, zunchos y vigas de hormigón armado, etc.

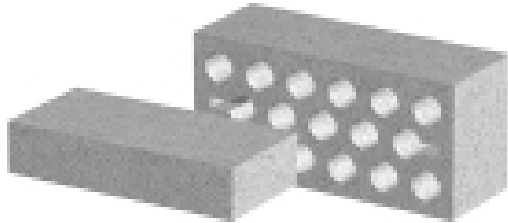


Piezas especiales de hormigón vibrado. Fuente: <www.eiros.es> [Consulta: 10 de mayo de 2016].



Piezas especiales en frente de forjado y dinteles de ventanas en fachada de bloque de hormigón vibrado caravista.

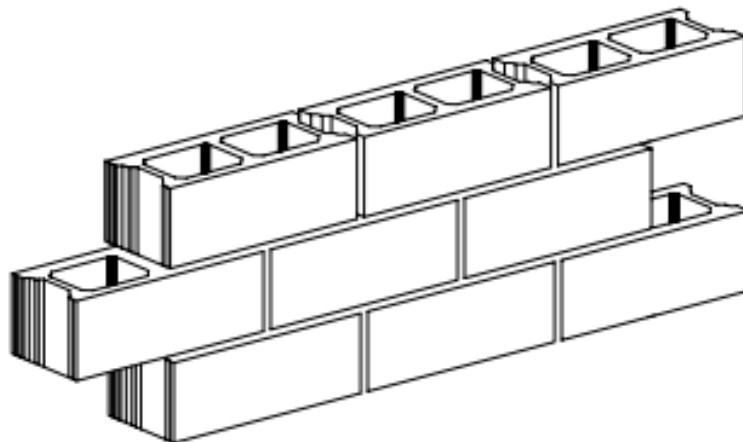
- Ladrillo de hormigón: puede tratarse de ladrillos macizos o perforados. Sus dimensiones habituales son 24 x 11,5 x 5 cm o 28 x 13 x 10 cm.



Ladrillo de hormigón vibrado perforado y macizo. Fuente: <www.tppalau.com> [Consulta: 19 de abril de 2018].

3.2. FORMAS DE COLOCACIÓN

El **proceso de ejecución** es prácticamente idéntico al de los muros de fábrica de ladrillo. En este caso las piezas **se colocan prácticamente en seco**, humedeciendo únicamente la parte en contacto con el mortero. Las hiladas irán trabadas entre ellas, **matando juntas verticales**, con un **solape mínimo igual a 0,4 veces el grueso o 4 cm**. En el caso de interrupción de la fábrica se dejarán igualmente las **adarajas y endejas** para el cosido con la fábrica contigua.

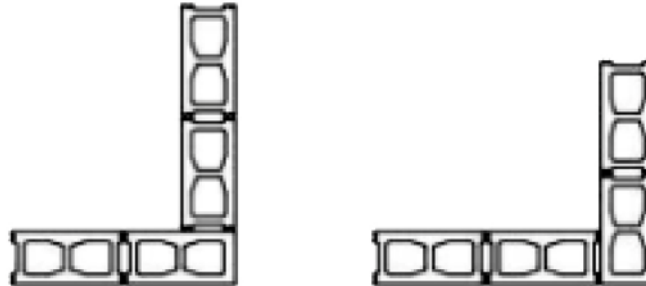


Traba de los muros de fábrica de bloque de hormigón vibrado. Fuente: CTE DB SE-F, Seguridad Estructural, Fábrica, pág. SE-F-41.

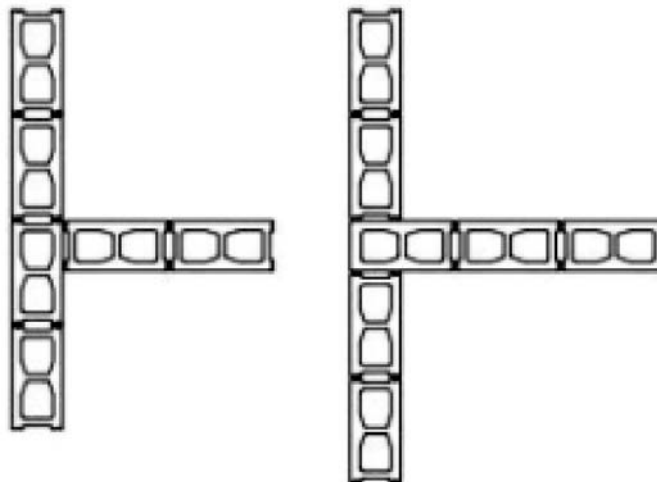
3.3. ENCUENTROS ENTRE MUROS

Los encuentros entre muros son mucho más **sencillos** que en el caso de la fábrica cerámica, principalmente porque el espesor se consigue con **una sola pieza**, sin necesidad de ejecutar complicados aparejos.

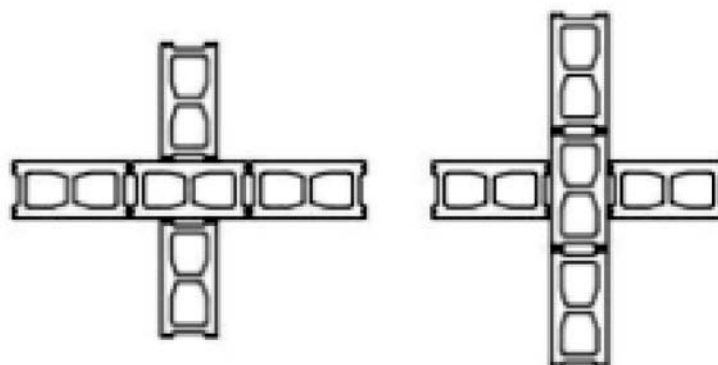
- Encuentros en esquina:



- Encuentros en T:



- Encuentros en cruz:



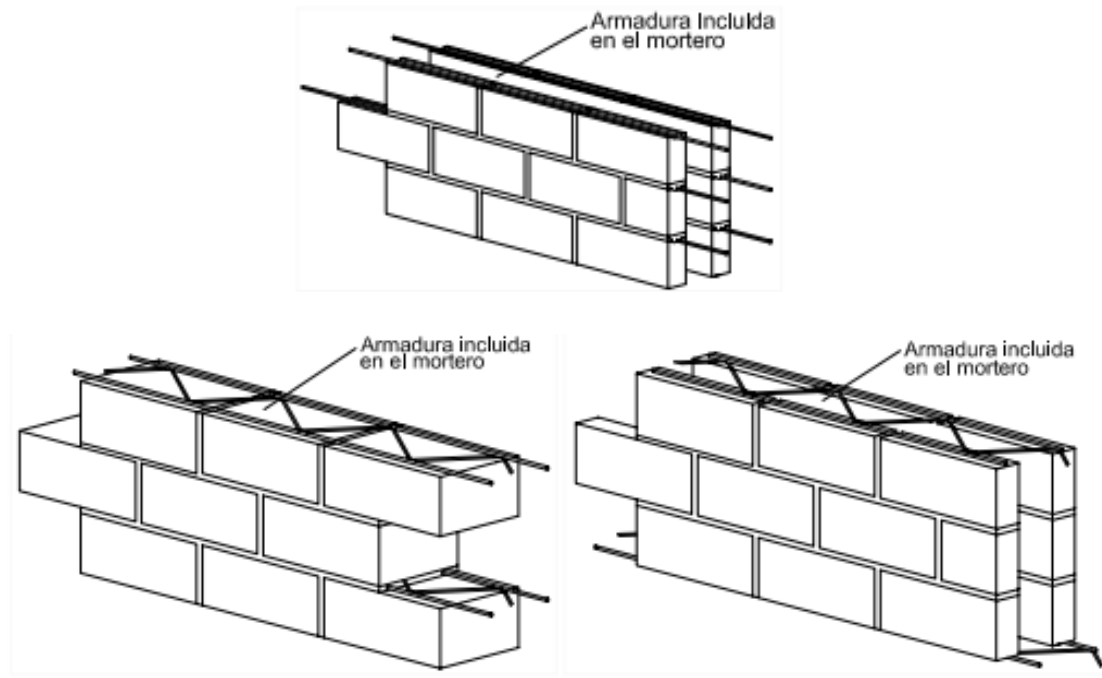
Encuentros entre muros de fábrica de bloque e hormigón vibrado. Fuente: <www.construmatica.com> [Consulta: 5 de mayo de 2016].

3.4. FÁBRICA ARMADA

Existen diferentes posibilidades a la hora de **reforzar la fábrica**:

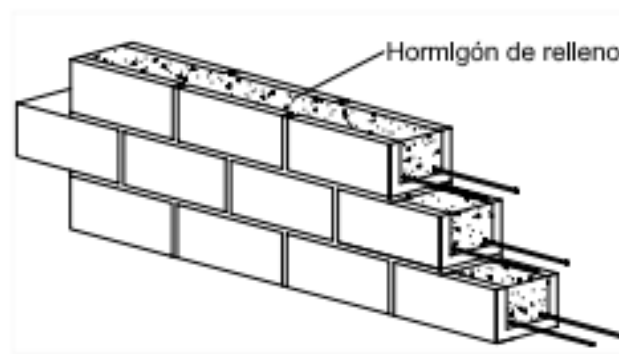
a) Con armadura horizontal:

- Muros con armadura en tendeles:



Muros de bloque de hormigón vibrado con armadura en tendeles. Fuente: CTE DB SE-F, Seguridad Estructural, Fábrica, pág. SE-F-37.

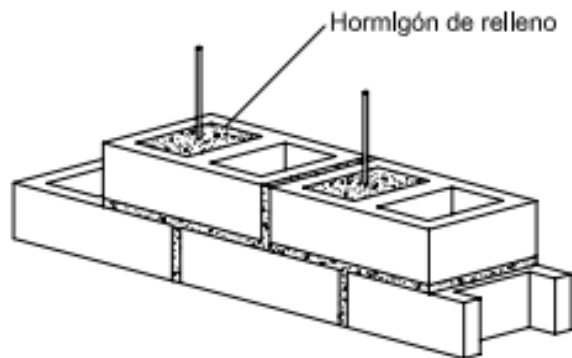
- Armadura horizontal en piezas especiales actuando de encofrado:



Armadura horizontal en relleno de hormigón. Fuente: CTE DB SE-F, Seguridad Estructural, Fábrica, pág. SE-F-36.

b) Con armadura vertical:

- Muro con refuerzo en los huecos verticales:

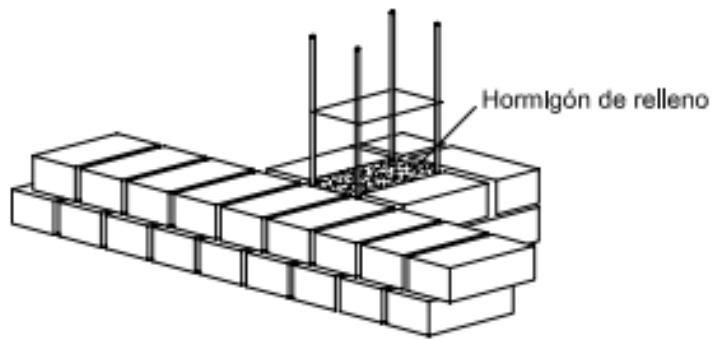


Muro con refuerzo en los huecos verticales. Fuente: CTE DB SE-F, Seguridad Estructural, Fábrica, pág. SE-F-36.



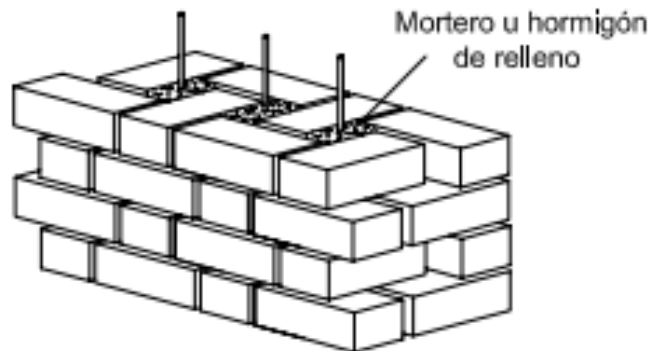
Muro de fábrica de bloque de hormigón caravista con refuerzos verticales en los huecos.

- Muro con pilastras armadas:



Muro con pilastras armadas. Fuente: CTE DB SE-F, Seguridad Estructural, Fábrica, pág. SE-F-36.

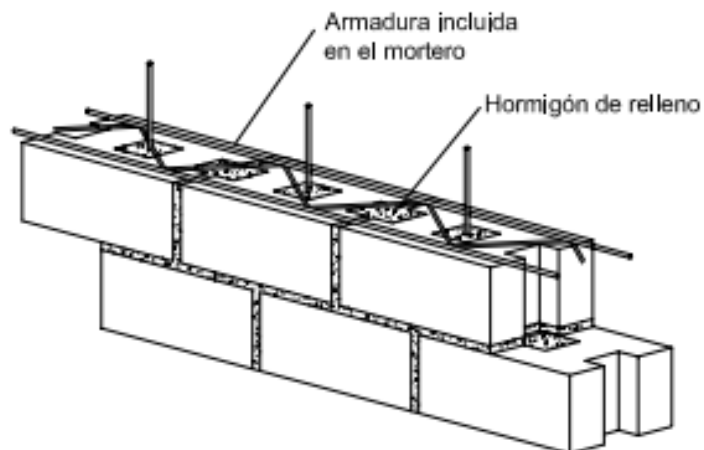
- Muros con aparejo reforzado:



Muros con aparejo reforzado. Fuente: CTE DB SE-F, Seguridad Estructural, Fábrica, pág. SE-F-36.

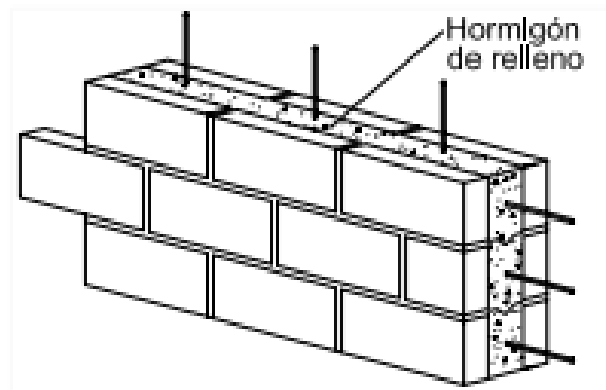
c) Con armadura horizontal y vertical:

- Muro con armadura en huecos verticales y tendeles:



Muro con armadura en huecos verticales y tendeles. Fuente: CTE DB SE-F, Seguridad Estructural, Fábrica, pág. SE-F-36.

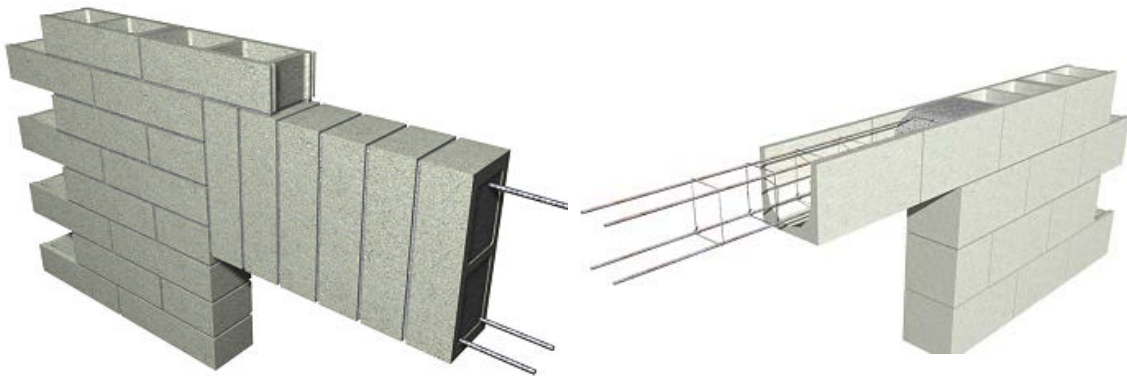
- Muro relleno de hormigón armado:



Muro relleno de hormigón armado. Fuente: CTE DB SE-F, Seguridad Estructural, Fábrica, pág. SE-F-36.

3.5. ABERTURA DE HUECOS

Al igual que en los muros de fábrica cerámica, los huecos pueden resolverse con apoyos configurados con **piezas especiales en U rellenas de hormigón armado** actuando como cargadero, o con **bloques a sardinel hormigonados y armados interiormente**. También pueden disponerse **perfiles metálicos o de hormigón armado o pretensado** como en el caso de la fábrica cerámica.



Dintel formado con sardineles de bloque de hormigón vibrado y con piezas especiales en U, rellenas de hormigón armado. Fuente: <www.generadordeprecios.info> [Consulta: 5 de mayo de 2016].

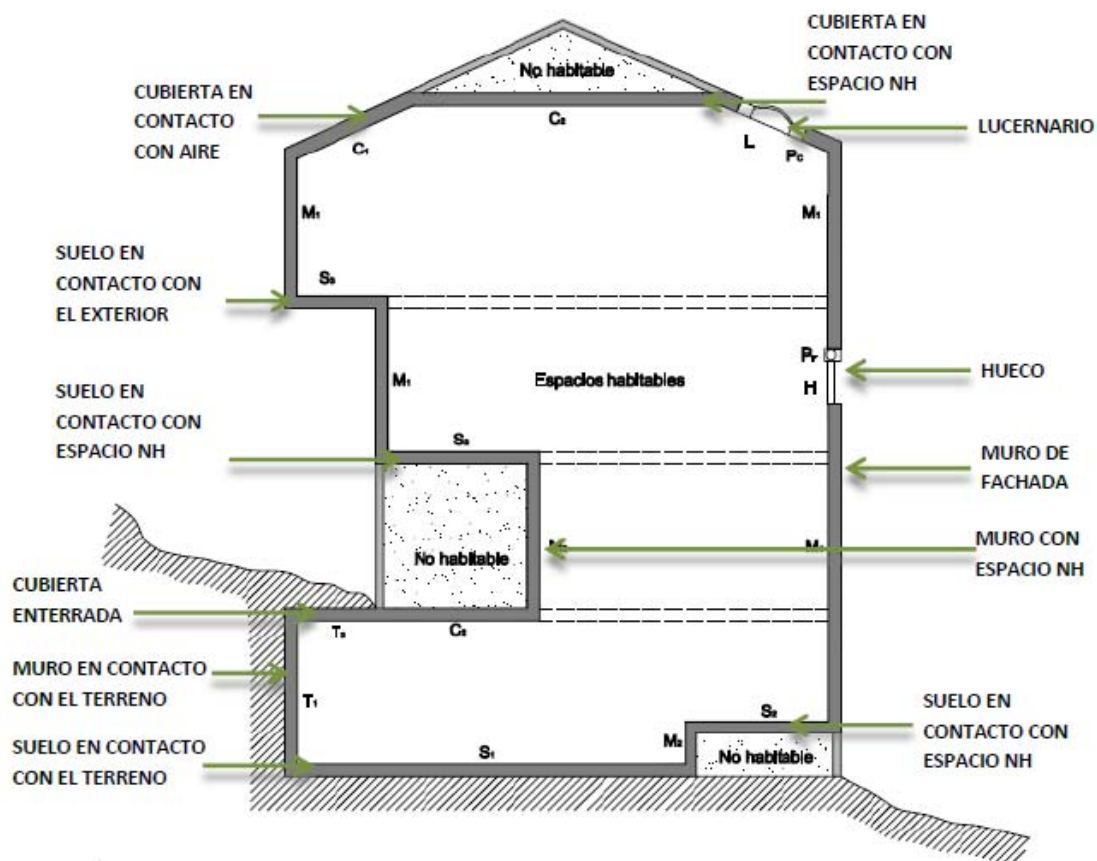
TEMA 6 - LA ENVOLVENTE DEL EDIFICIO I

SUELOS EN CONTACTO CON EL TERRENO Y CERRAMIENTOS DE FACHADA

1. INTRODUCCIÓN

La edificación debe ser capaz de envolver el espacio arquitectónico de forma que garantice un mínimo de confort, protegiéndolo de las agresiones derivadas de la climatología exterior o de cualquier otro tipo.

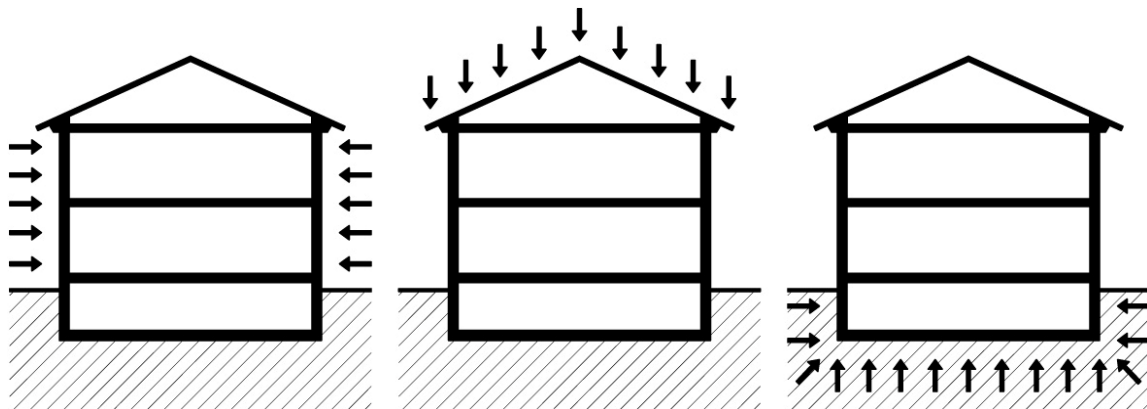
El concepto de **envolvente edificatoria** engloba por tanto diversos elementos constructivos: las **cubiertas**, tanto planas como inclinadas, en contacto con el aire o enterradas; los **suelos**, en contacto con el aire exterior, con espacios no habitables o con el terreno; los **muros de sótano**, en contacto con el terreno; los muros de **fachada**, en contacto con el aire exterior o con espacios no habitables; y otro elementos de carpintería que configuran los **huecos** practicados en la envolvente, como puertas, ventanas y lucernarios.



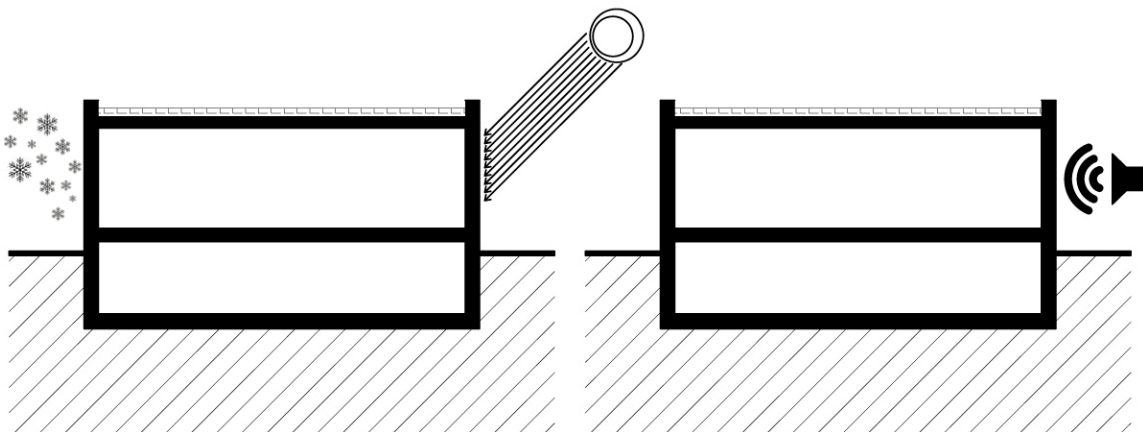
Esquema gráfico de todos los elementos constructivos que forman o pueden formar parte de la envolvente de un edificio. Fuente: <certisev.es> [Consulta: 13 de mayo de 2016]. Basado en Figura 3.2 CTE DB HE1, p. HE1-13.

Los aspectos a los que deben atender cada una de las partes que conforman esta gran corteza o piel del edificio son:

- La **protección frente a la lluvia** (o frente al **agua** en general, independientemente de dónde proceda), **nieve y viento**. Debemos conseguir que la **envolvente** sea **estanca**, es decir, que el espacio habitable esté protegido de filtraciones incontroladas.
- La **protección térmica**, es decir, proteger de los cambios de temperatura y mantener cierta estabilidad ante los flujos de frío o calor a través de sus capas.
- El **confort acústico** dentro del espacio habitable donde, en esta ocasión, la envolvente debería amortiguar el ruido procedente del exterior.



Possible affection of the building due to water infiltrations, aggravated in occasions by the effect of the wind, the pressure, etc.



Other agents against which the envelope must protect the building.

2. SUELOS EN CONTACTO CON EL TERRENO O ESPACIOS NO HABITABLES

Se trata de los elementos constructivos que resuelven la **envolvente inferior** del edificio, elementos que pueden estar directamente en contacto con el terreno base (**soleras**), o ligeramente separados del mismo, creando un espacio que no llega a tener altura suficiente para ser habitable, pero que permite crear una cámara ventilada bajo el mismo (**soleras ventiladas** y **forjados sanitarios**).

2.1. SUELOS EN CONTACTO CON EL TERRENO

Se trata de suelos denominados comúnmente **soleras**. Es un elemento superficial de hormigón, ligeramente armado o en masa, destinado a soportar el tráfico de personas, vehículos o maquinaria, transmitiendo las cargas directamente al terreno. Pueden configurar un pavimento acabado, aplicando en numerosas ocasiones un simple tratamiento superficial, o actuar de base para otro tipo de pavimento, tanto en interiores como en exteriores.



(Izda.) Solera en sótano interior con acabado visto. (Dcha.) Solera base de un pavimento exterior.

La configuración de la solera debe garantizar que en el caso de **presencia de agua** en el subsuelo, ésta no pueda traspasar la solera, **evitando** de este modo la entrada de agua al interior de la edificación.

El **riesgo** de presencia de agua, según la situación del nivel freático, está determinado por el Código Técnico como:

- Bajo: cuando la cara inferior de la solera está por encima del NF.
- Medio: cuando la cara inferior de la solera está a la misma profundidad que el NF.
- Alto: cuando la cara inferior de la solera está 2 o más metros por debajo del NF.

En función del riesgo de presencia de agua y de la permeabilidad del terreno, el CTE nos exige determinados tratamientos a realizar a la solera, así como **disponer capas drenantes e impermeabilizantes** bajo la misma, y otras medidas añadidas, como tratamientos perimétricos en la edificación, etc. Estos tratamientos varían en función de si la envolvente vertical en contacto con el terreno es un muro de sótano o de contención, o un muro pantalla.

Presencia de agua	Coeficiente de permeabilidad del terreno	
	$K_s \geq 10^{-5}$ cm/s	$K_s \leq 10^{-5}$ cm/s
Alta	5	4
Media	4	3
Baja	2	1

Grado de impermeabilidad mínimo exigido a los suelos en contacto con el terreno. Basada en la Tabla 2.3 del CTE DB HS 1, Salubridad, pág. HS1-6.

Grado de impermeabilidad	Muro de sótano o de contención			Muro pantalla		
	Sub-base	Inyecciones	Sin intervención	Sub-base	Inyecciones	Sin intervención
≤ 1		D1	C2+C3+D1		D1	C2+C3+D1
≤ 2	C2+C3	C2+C3+D1	C2+C3+D1	C2+C3	C2+C3+D1	C2+C3+D1
≤ 3	C1+C2+C3+ I2+D1+D2+ S1+S2+S3	C1+C2+C3+ I2+D1+D2+ S1+S2+S3	C2+C3+I2+ D1+D2+C1+ S1+S2+S3	C1+C2+C3+ D1+P2+ S2+S3	C1+C2+C3+ D1+P2+ S2+S3	C1+C2+C3+ D1+D4+P2+ S2+S3
≤ 4	C2+C3+I2+ D1+D2+P2+ S1+S2+S3	C2+C3+I2+ D1+D2+P2+ S1+S2+S3	C1+C2+C3+ I1+I2+D1+ D2+D3+D4+ P1+P2+S1+ S2+S3	C2+C3+D1+ S2+S3	C2+C3+D1+ S2+S3	C1+C2+I1+ D2+D3+P1+ S2+S3
≤ 5	C2+C3+I2+ D1+D2+P2+ S1+S2+S3	C2+C3+I1+ I2+D1+D2+ P1+P2+S1+ S2+S3		C2+C3+D1+ P2+S2+S3	C2+C3+D1+ P2+S2+S3	C1+C2+C3+ I1+D1+D2+ D3+D4+P1+ P2+S2+S3

Grado de impermeabilidad mínimo exigido a los suelos en contacto con el terreno. Basada en la Tabla 2.3 del CTE DB HS 1, Salubridad, pág. HS1-6.

C - Constitución del suelo:

C1 Cuando el suelo se construya in situ debe utilizarse hormigón hidrófugo de elevada compacidad.

C2 Cuando el suelo se construya in situ debe utilizarse hormigón de retracción moderada.

C3 Debe realizarse una hidrofugación complementaria del suelo mediante la aplicación de un producto líquido colmatador de poros sobre la superficie terminada del mismo.

I - Impermeabilización:

I1 Debe impermeabilizarse el suelo externamente mediante la disposición de una lámina sobre la capa base de regulación del terreno.

Si la lámina es adherida debe disponerse una capa antipunzonamiento por encima de ella.

Si la lámina es no adherida ésta debe protegerse por ambas caras con sendas capas antipunzonamiento.

Cuando el suelo sea una placa, la lámina debe ser doble.

I2 Debe impermeabilizarse, mediante la disposición sobre la capa de hormigón de limpieza de una lámina, la base de la zapata en el caso de muro flexorresistente y la base del muro en el caso de muro por gravedad.

Si la lámina es adherida debe disponerse una capa antipunzonamiento por encima de ella.

Si la lámina es no adherida ésta debe protegerse por ambas caras con sendas capas antipunzonamiento.

Deben sellarse los encuentros de la lámina de impermeabilización del suelo con la de la base del muro o zapata.

D - Drenaje y evacuación:

D1 Debe disponerse una capa drenante y una capa filtrante sobre el terreno situado bajo el suelo. En el caso de que se utilice como capa drenante un encachado, debe disponerse una lámina de polietileno por encima de ella.

D2 Deben colocarse tubos drenantes, conectados a la red de saneamiento o a cualquier sistema de recogida para su reutilización posterior, en el terreno situado bajo el suelo y, cuando dicha conexión esté situada por encima de la red de drenaje, al menos una cámara de bombeo con dos bombas de achique.

D3 Deben colocarse tubos drenantes, conectados a la red de saneamiento o a cualquier sistema de recogida para su reutilización posterior, en la base del muro y, cuando dicha conexión esté situada por encima de la red de drenaje, al menos una cámara de bombeo con dos bombas de achique.

En el caso de muros pantalla los tubos drenantes deben colocarse a un metro por debajo del suelo y repartidos uniformemente junto al muro pantalla.

D4 Debe disponerse un pozo drenante por cada 800 m² en el terreno situado bajo el suelo. El diámetro interior del pozo debe ser como mínimo igual a 70 cm. El pozo debe disponer de una envolvente filtrante capaz de impedir el arrastre de finos del terreno. Deben disponerse dos bombas de achique, una conexión para la evacuación a la red de saneamiento o a cualquier sistema de recogida para su reutilización posterior y un dispositivo automático para que el achique sea permanente.

P - Tratamiento perimétrico:

P1 La superficie del terreno en el perímetro del muro debe tratarse para limitar el aporte de agua superficial al terreno mediante la disposición de una acera, una zanja drenante o cualquier otro elemento que produzca un efecto análogo.

P2 Debe encastrarse el borde de la placa o de la solera en el muro.

S - Sellado de juntas:

S1 Deben sellarse los encuentros de las láminas de impermeabilización del muro con las del suelo y con las dispuestas en la base inferior de las cimentaciones que estén en contacto con el muro.

S2 Deben sellarse todas las juntas del suelo con banda de PVC o con perfiles de caucho expansivo o de bentonita de sodio.

S3 Deben sellarse los encuentros entre el suelo y el muro con banda de PVC o con perfiles de caucho expansivo o de bentonita de sodio.

La composición de la **solera** puede contar con las siguientes **capas**:

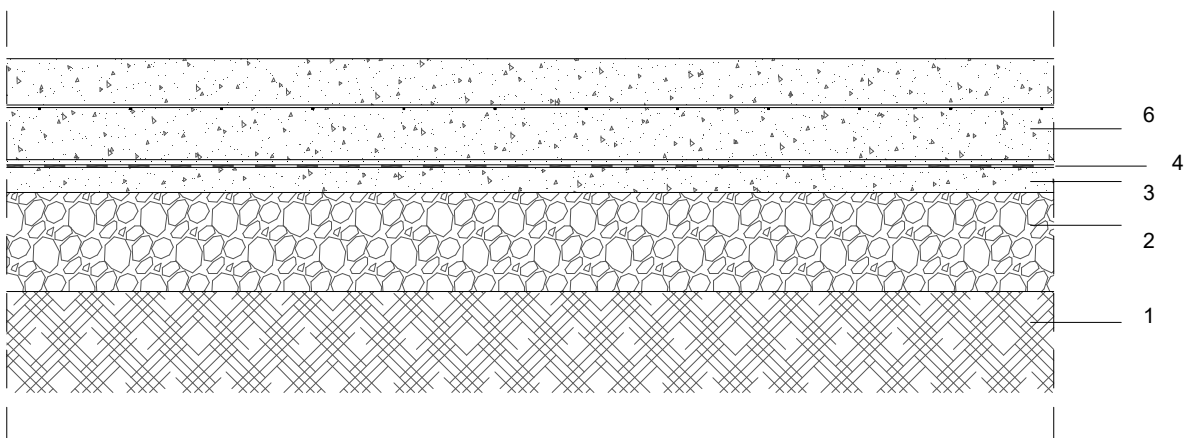
- **Sub-base:** es la parte de terreno directamente afectado por el apoyo y las cargas que le transmita la solera. En principio todo terreno de características normales, debidamente compactado, es una sub-base lo suficientemente buena para admitir el apoyo de una solera. Si el terreno es deficiente, debe acondicionarse mediante el vertido de tongadas de zahorras naturales o artificiales no superiores a los 30 cm de espesor, compactadas mecánicamente.

- **Base de la solera:** está formada por una capa drenante, compuesta por una capa de grava vertida sobre el terreno (encachado de bolos), una lámina drenante, etc. Este elemento evita la ascensión de agua por capilaridad. Es recomendable que toda la solera descansa sobre la misma base, evitando movimientos diferenciales que puedan provocar la aparición de grietas o fisuras en el encuentro de los mismos. Por ello, es recomendable que la base granular se vierta por encima de la cara superior de las zapatas.

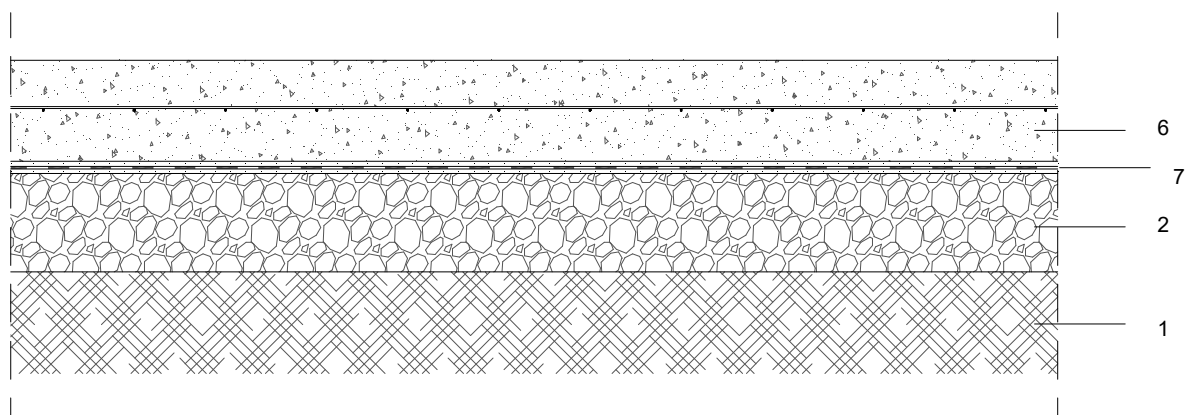
- **Lámina impermeabilizante:** en ciertas ocasiones es necesario impedir el paso de agua, procedente del subsuelo, a través de la solera al interior del local o espacio cerrado. Aunque el cuerpo de la solera construido con hormigón es de por sí altamente impermeable, la posibilidad de ascensión capilar de agua debe ser eliminada empleando membranas o láminas que actúen como barreras impermeables y capaces de crear una solera estanca. Se puede emplear láminas de polietileno o, en caso de necesitar una mayor seguridad respecto a no existencia de humedades puede

emplearse materiales de mayor resistencia como el P.V.C. o materiales bituminosos. También existen compuestos naturales como las mantas de bentonita de sodio. En el caso de disponerse láminas adheridas, será necesario el vertido de una capa de mortero de cemento de regulación sobre la cual adherir la lámina. Así mismo, es posible que sea necesario aplicar imprimaciones en el caso de las láminas adheridas, o disponer fieltros geotextiles de protección en el caso de las no adheridas.

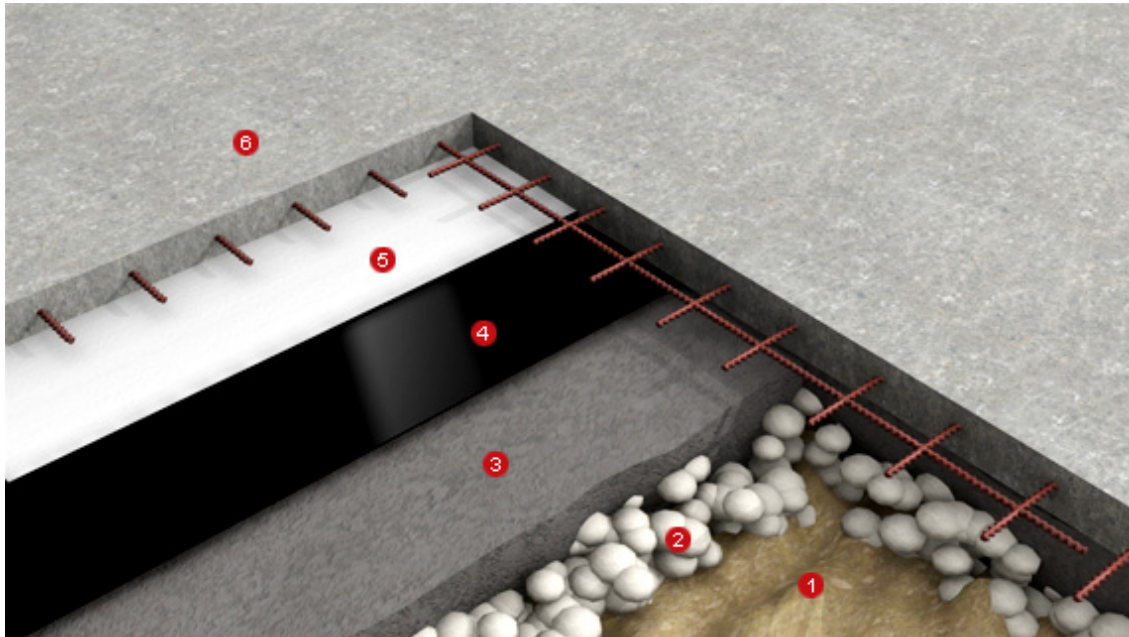
- **Cuerpo de solera:** su construcción se realiza con hormigón, bien en masa y ligeramente armado, con un canto o espesor entre 10 y 20 cm habitualmente. El armado es necesario para controlar las deformaciones causadas por temperaturas diferenciales entre el trasdós y el intradós de la solera, cargas puntuales y deformaciones diferenciales del terreno. Debe de llevarse a cabo mediante armaduras bidireccionales, en forma de mallazo, normalmente electrosoldadas (#15x15 de Ø 3 / 4,5 / 5 / 6 mm). Es muy importante realizar un curado adecuado a la temperatura ambiente, teniendo bien en cuenta de que se trata de un elemento de gran superficie expuesta y en muchos casos construido al exterior.



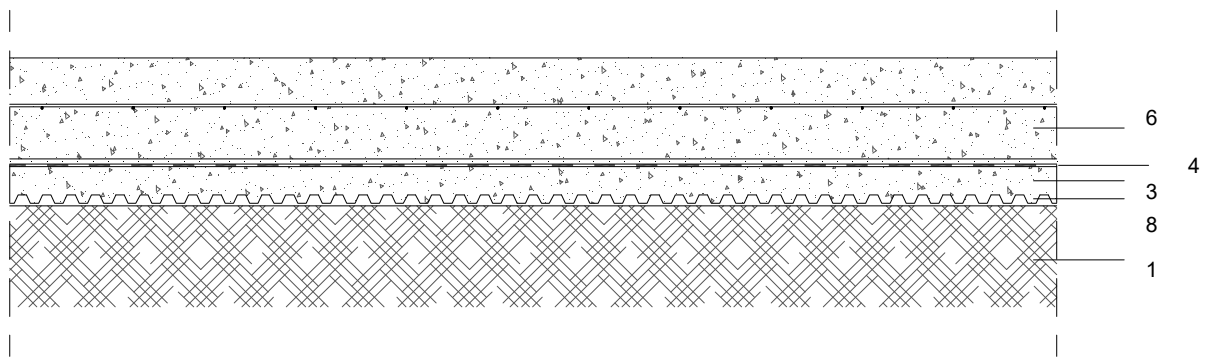
Solera de hormigón armado con drenaje de enchachado de bolos e impermeabilización con lámina bituminosa adherida. E = 1/15.



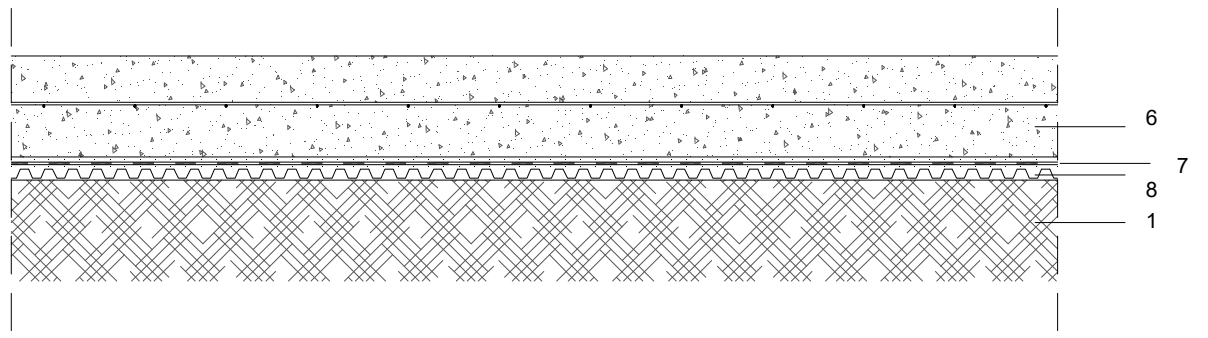
Solera de hormigón armado con drenaje de enchachado de bolos e impermeabilización con manta de bentonita de sodio. E = 1/15.



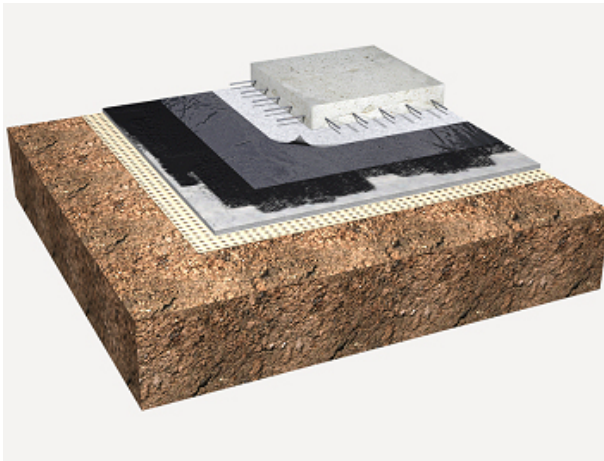
Solera de hormigón armado con drenaje de enchado de bolos e impermeabilización con lámina bituminosa adherida. Fuente: <www.generadordeprecios.info> [Consulta: 13 de febrero de 2012].



Solera de hormigón armado con lámina drenante e impermeabilización con lámina bituminosa adherida. E = 1/15.



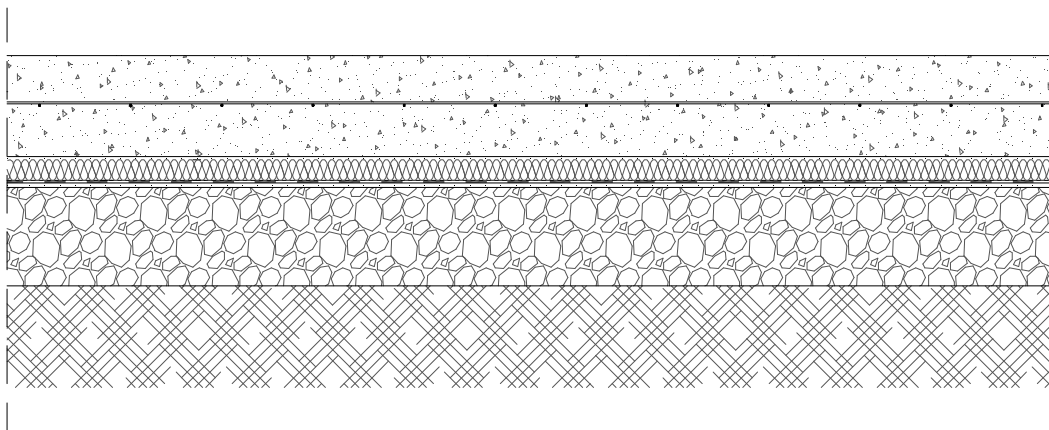
Solera de hormigón armado con lámina drenante e impermeabilización con manta de bentonita de sodio. E = 1/15.

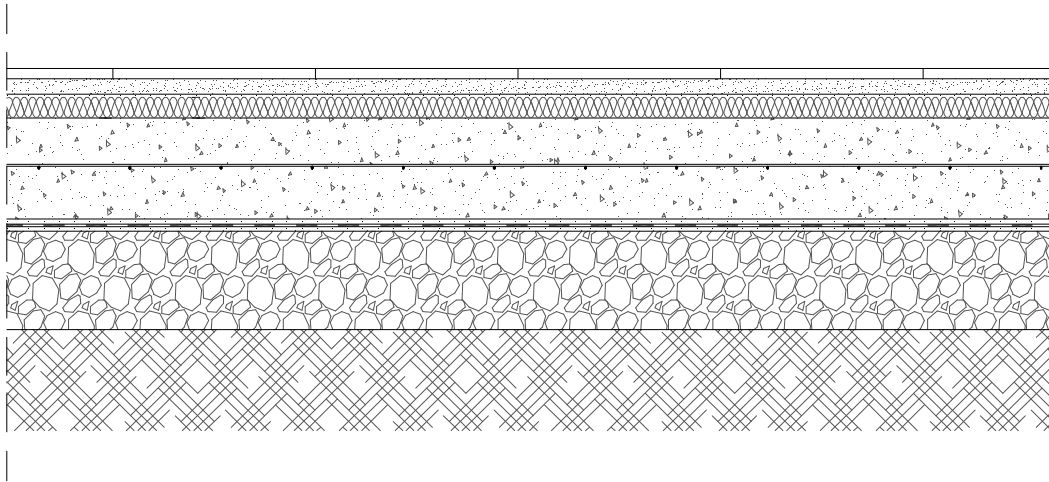


Izda.: Solera de hormigón armado con lámina drenante e impermeabilización con lámina bituminosa. Fuente: <www.generadordeprecios.info> [Consulta: 13 de febrero de 2012]. Drcha.: Solera con láminca drenante sobre zahorra. Fuente: <www.enriquealario.com> [Consulta: 19 de mayo de 2016].

1. Sub-base: terreno compactado.
2. Base: enchado de bolos.
3. Capa de mortero de regulación.
4. Lámina impermeable adherida, tipo bituminosa- fieltro geotextil en la cara superior.
5. Fieltro geotextil de protección de la lámina impermeable.
6. Solera de hormigón armado.
7. Manta de bentonida de sodio - fieltro geotextil por ambas caras.
8. Lámina drenante.

En ciertas situaciones, cuando los espacios sobre la solera son habitables, surge la necesidad de **aislar térmicamente** el espacio al que presta servicio la solera. En este caso es necesario disponer además una capa de aislamiento térmico. Puede colocarse en diferentes posiciones según las exigencias funcionales: puede estar situado bajo el cuerpo de solera, apoyado sobre la membrana impermeable, y también puede estar situado sobre la solera, si se va a pavimentar sobre ella. En el caso de utilizar aislantes térmicos que no pueden entrar en contacto con la humedad, se protegerán del contacto con el hormigón de la solera o con el mortero de agarre del pavimento con un film impermeable.

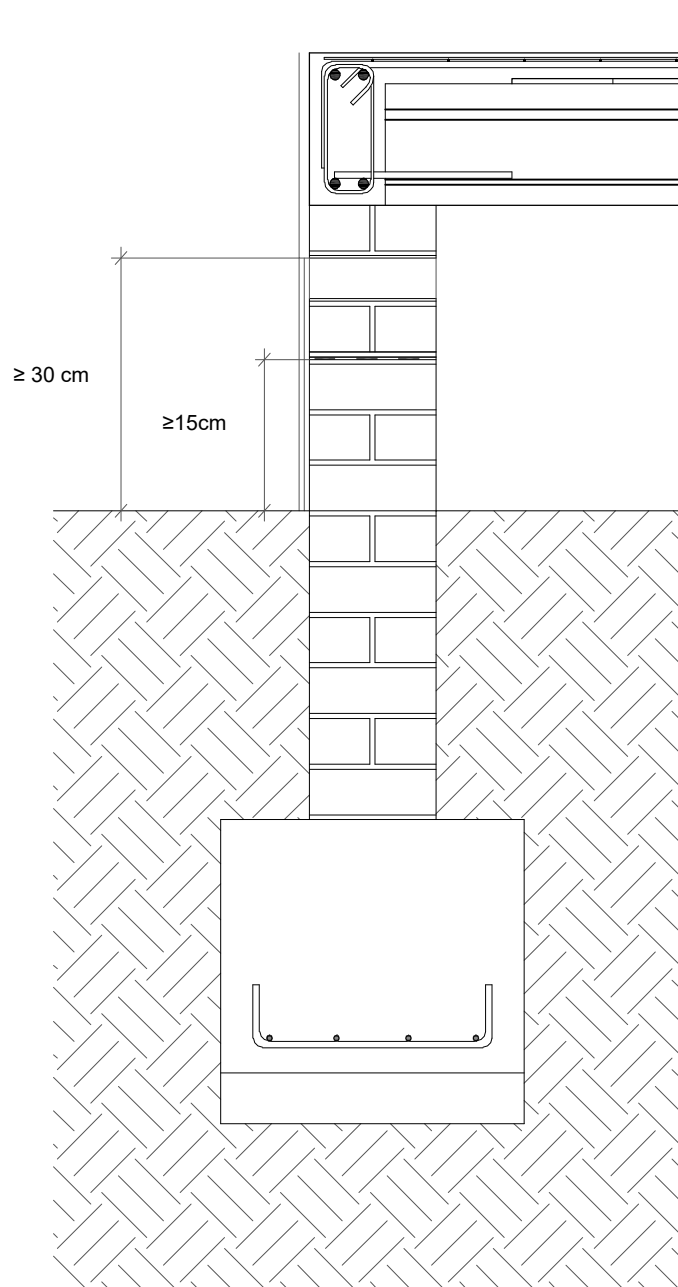




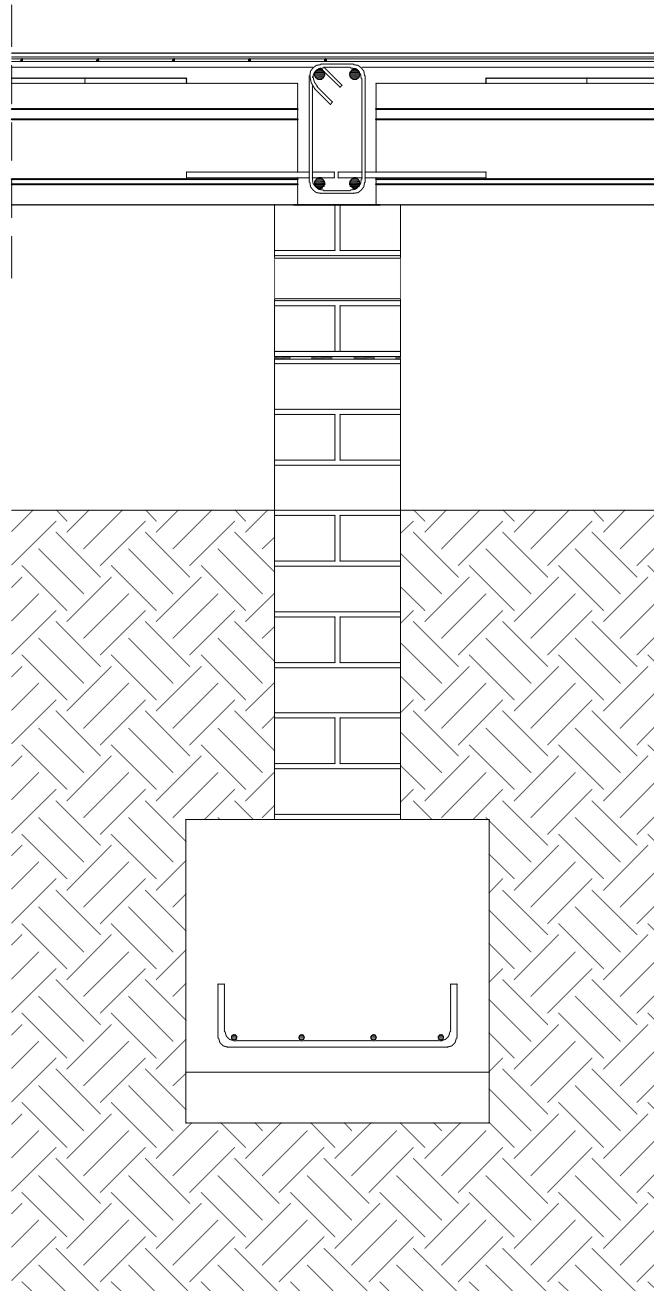
Solera de hormigón armado con aislamiento térmico bajo y sobre solera. E = 1/15.

2.2. CÁMARAS SANITARIAS

Pueden estar constituidas por forjados sanitarios o soleras elevadas o ventiladas. Los **forjados sanitarios** son forjados unidireccionales de viguetas autorresistentes pretensadas, debido a la incapacidad de disponer un encofrado recuperable, **apoyados en** una estructura portante de **muros de carga, de hormigón, de ladrillo cerámico macizo o perforado, o de bloque de hormigón vibrado**.

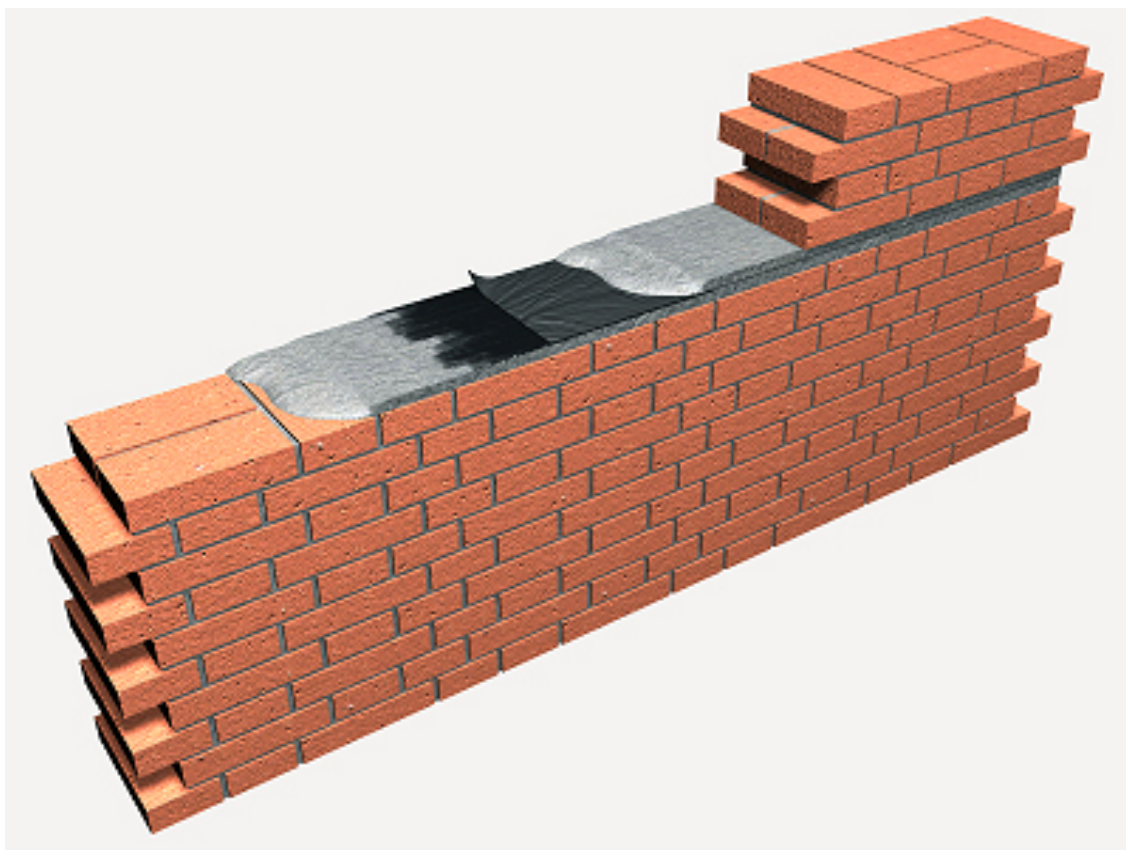


Apoyo exterior de forjado sanitario en muro de carga de ladrillo cerámico macizo. E = 1/15.



Apoyo interior de forjado sanitario en muro de carga de ladrillo cerámico macizo. E = 1/15.

Cuando los muros de apoyo estén contruidos con materiales porosos, fábrica cerámica o de bloque de hormigón, el sistema incluirá una **barrera anticapilaridad**, situada en el muro, **a 15 cm mínimo respecto de la rasante exterior**, que tiene la misión de impedir la ascensión de la humedad, procedente del subsuelo, del agua de escorrentía, de las salpicaduras del agua de lluvia, etc., a través de los poros del material que constituye la fábrica portante. Se protegerá por el exterior con un zócalo de mínimo 30 cm de altura, que tenga un coeficiente de succión inferior al 3%. También es aconsejable distanciar la barrera anticapilaridad un mínimo de 5 cm respecto a la cara inferior del forjado.

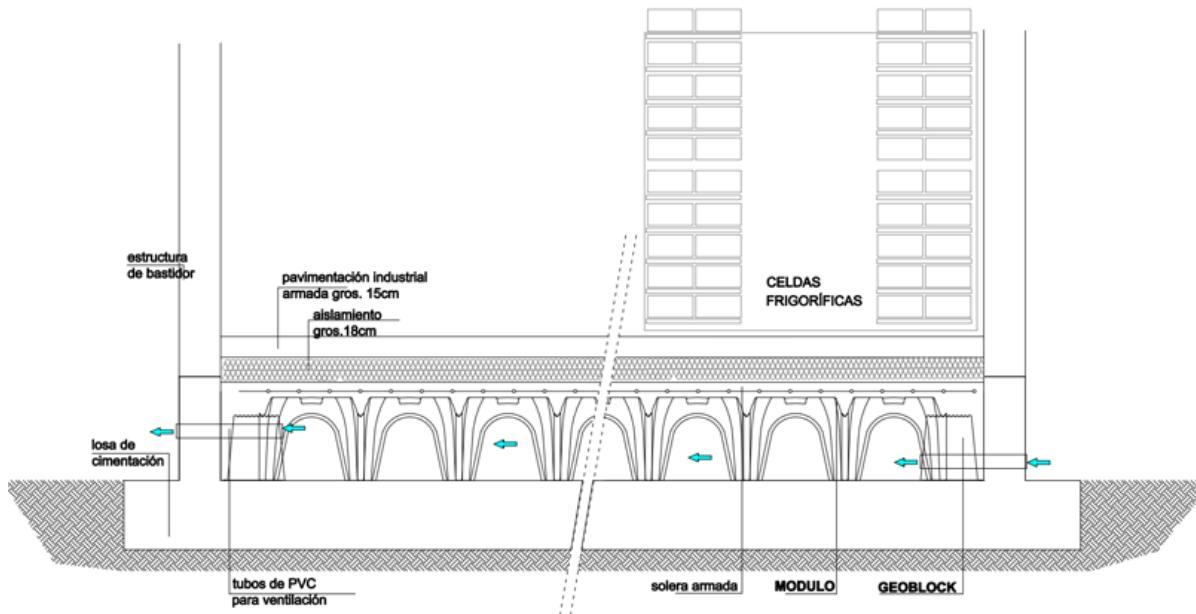


Barrera anticapilaridad en los muros de carga de fábrica cerámica de un forjado sanitario. Fuente: <www.generadordeprecios.info> [Consulta: 13 de febrero de 2012].

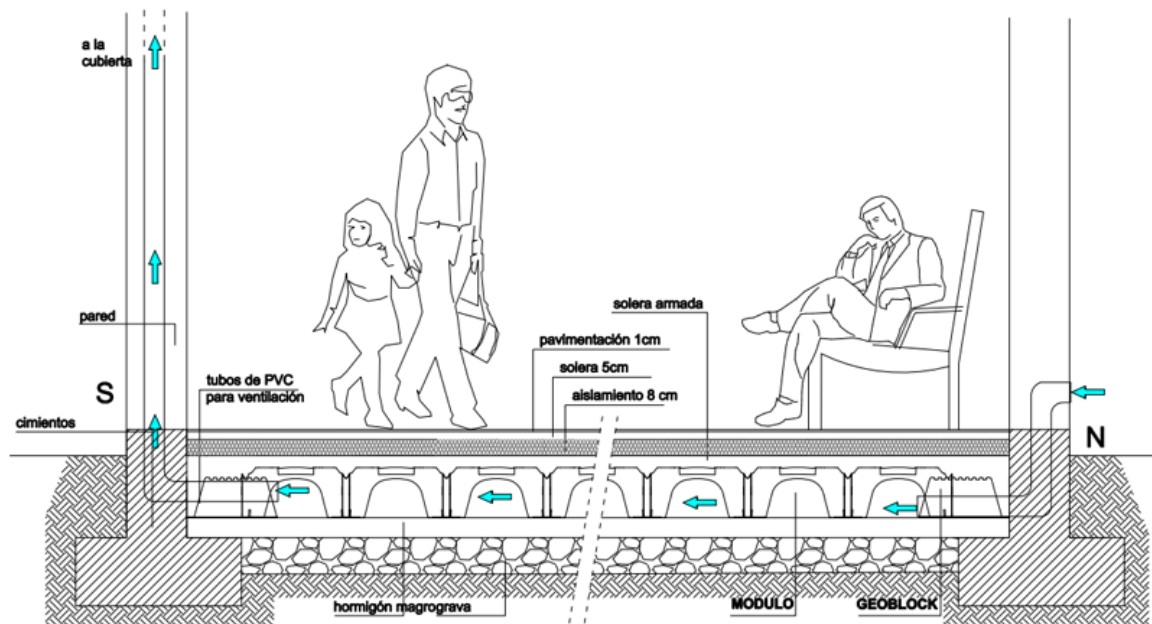


Forjado sanitario sobre muro de hormigón armado. Vista general y detalles.

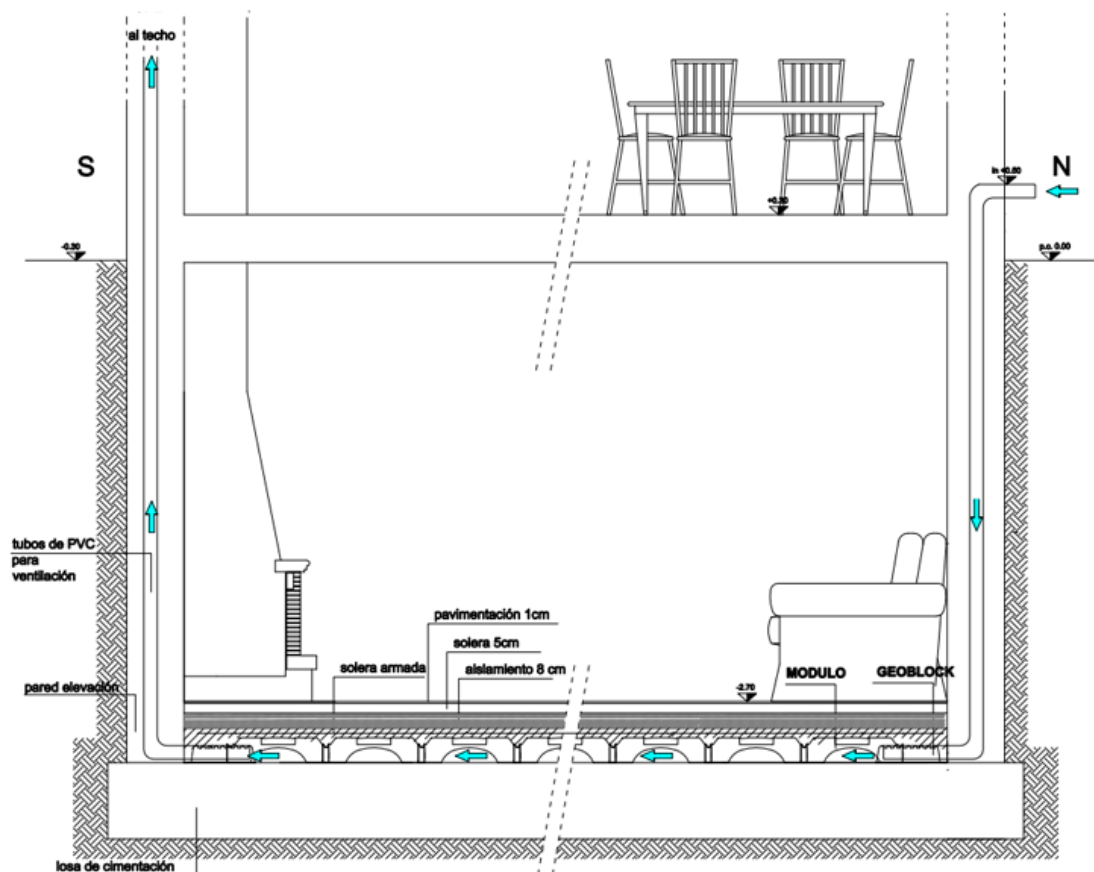
Las **soleras elevadas** son creadas mediante la disposición de **encofrados perdidos de cubetas** (Cúpolex, Geoplast, Elevator, Modí, Daliforma, Arquisolux, etc.).



Solera ventilada con tubo de ventilación sobre. Fuente: <www.generadordeprecios.info> [Consulta: 13 de febrero de 2012].



Solera ventilada con tubo de ventilación integrado en muro de fachada. Fuente: <www.generadordeprecios.info> [Consulta: 13 de febrero de 2012].



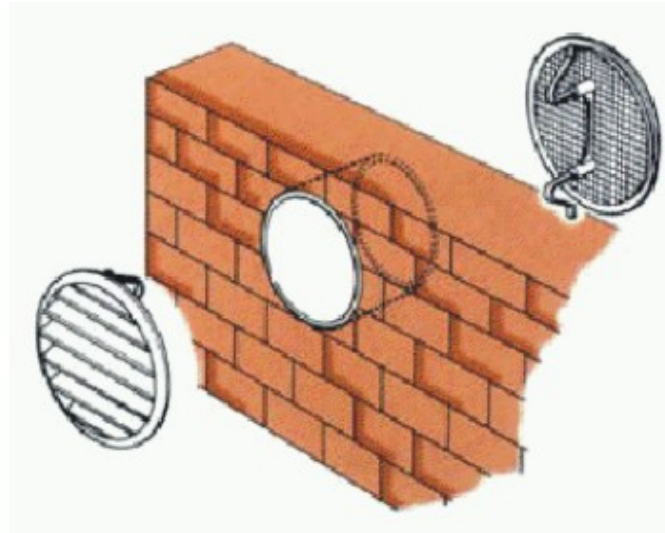
Solera ventilada con tubo de ventilación integrado en muro de fachada. Fuente: <www.generadordeprecios.info> [Consulta: 13 de febrero de 2012].

En ambos casos, tanto los forjados sanitarios como las soleras ventiladas tienen una altura suficiente para cumplir su cometido, habitualmente **más de 50 cm de separación respecto al terreno**, aunque en el caso de las soleras elevadas esta distancia puede ser menor. Se crea de este modo una cámara no habitada, ventilada, que garantiza que el vapor de agua generado por la **humedad del terreno** y la temperatura fría del ambiente sea disipado hacia el exterior, **impidiendo que se produzcan condensaciones** en el trasdós del forjado, ayudando a mantener su integridad funcional.

Las **aberturas** deben repartirse al 50% entre **dos paredes enfrentadas**, dispuestas regularmente a **distancias no superiores a 5 m y al tresbolillo**. La superficie total de las aberturas (S_s), en cm^2 , en función del área de la cámara sanitaria (A_s), debe cumplir la siguiente relación (CTE DB HS, HS1-8):

$$30 > S_s/A_s > 10$$

Las **aberturas** dispondrán rejillas de protección para evitar la entrada de animales.



Rejillas de protección para huecos de ventilación de cámaras sanitarias. Fuente: <www.lacasadelaconstruccion.es> [Consulta: 29 de abril de 2018].

3. FACHADAS

La fachada constituye el **cerramiento o envolvente vertical** de un edificio, forma un ángulo igual o mayor de 60° respecto del plano horizontal, y sirve de protección ante los fenómenos climáticos (lluvia, nieve, calor, frío, vientos) y otros agentes, para los cuales se emplean diferentes soluciones constructivas que incluyen aislamientos térmicoacústicos. Debe cumplir con todas las exigencias propias de los **cerramientos exteriores** conforme a la normativa vigente para el país y para cada comunidad o localidad.

Por otra parte, como expresión arquitectónica, una fachada es, por su diseño, según los materiales empleados, volúmenes, proporciones y otros elementos, lo que determina la identidad del edificio. Es la **única parte del edificio que se percibe desde el exterior**, motivo por el cual merece una **valoración estética y calidad expresiva** que defina y dé carácter al objeto arquitectónico.

3.1. TIPOS DE MUROS DE FACHADA

Existen **distintos tipos** de muros de fachada. **Según su constitución**, podemos diferenciar entre:

- **Muros simples**: constan de **una sola hoja**. La totalidad del espesor del muro está compuesto por un **mismo material**. Podemos englobar dentro de esta tipología tanto muros tradicionales como los de mampostería, sillería, fábrica de ladrillo cerámico macizo, etc., como de nueva generación, tales como muros de termoarcilla, muros de fábrica de bloques de hormigón vibrado, etc. Se caracterizan porque sus **propiedades son bastante homogéneas** en todo su espesor.

- **Muros compuestos**: se trata de muros compuestos por **varias hojas**, de **distintos elementos y materiales**, dispuestas de tal modo que cada una de ellas va cumpliendo una de las **funciones específicas** asignadas a un cerramiento de fachada. En este caso, se trata de muros muy **heterogéneos**.

Puede construirse de forma pesada o de forma ligera. Los **cerramientos pesados** son aquellos cuyo peso medio, macizo y hueco, es superior a **100 Kg/m²**, compuestos de una hoja o varias hojas, con o sin cámara de aire. Las **fachadas ligeras**, están formadas por elementos de reducido peso, **inferior a 100 Kg/m²**, de pequeño espesor, 10 a 15 cm, constituidos habitualmente por materiales y formatos de nueva generación, soportados por una subestructura, habitualmente metálica, y/o por la estructura resistente del edificio.

3.2. REQUERIMIENTOS

Independientemente del tipo de muro de fachada utilizado, todos los cerramientos verticales deben cumplir unas **funciones básicas**, tales como:

- Exigencias **ambientales**: fundamentalmente **higrotérmicas y acústicas**, además de garantizar la **iluminación natural** de determinados espacios, la **calidad** y renovación **del aire interior**, etc.

- **Seguridad y accesibilidad**: estabilidad, resistencia mecánica, protección contra incendios, contra robos, etc.

- **Estética.**
- **Economía** de construcción y mantenimiento.
- **Durabilidad** en el tiempo.

Entre otras.

El cerramiento vertical cumple probablemente más funciones que cualquier otra parte del edificio. Actualmente es difícil encontrar tipologías de muros sencillos que puedan cumplir a la vez todas estas exigencias, por lo que habitualmente recurrimos a **muros compuestos**, cuyas diferentes capas permiten asegurar el cumplimiento de todas estas prestaciones.

3.3. EVOLUCIÓN DEL CERRAMIENTO VERTICAL

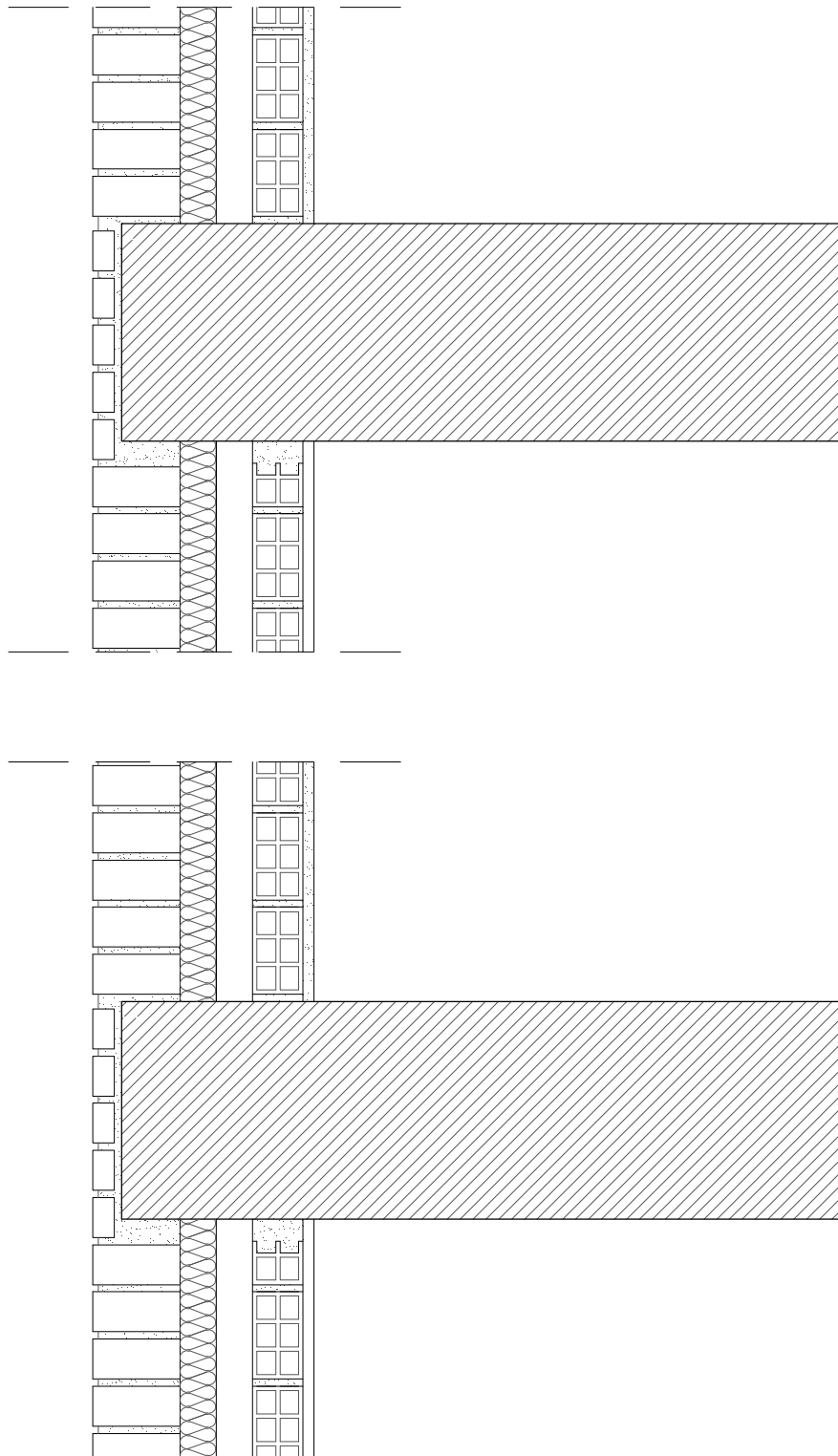
A lo largo de la historia, los **cerramientos** se componen de **una hoja gruesa** que da respuesta a las exigencias de aislamiento térmico, estanquidad y resistencia mecánica. Es a **finales del siglo XIX y principios del XX** cuando estos cerramientos evolucionan hacia muros más delgados, para consolidarse posteriormente en **muros de dos hojas, muros capuchinos, habitualmente con cámara de aire, más o menos ventilada**: la exterior generalmente compuesta por medio pie o un pie de fábrica de ladrillo o bloque, y la interior de ladrillo hueco simple.

Con la aparición de **la NBE-CT-79**, "Norma Básica sobre Condiciones Térmicas en los edificios", creada principalmente por el tema del **ahorro de energía**, los cerramientos **incorporan el aislamiento térmico** para minimizar las pérdidas térmicas a través de los mismos.

Es entonces cuando dicho aislamiento, por facilidad constructiva, **se coloca pegado a la hoja exterior.**

Consecuencia de dicha disposición se generan los **siguientes problemas en cuanto al comportamiento higrotérmico** de la fachada:

- La posible **condensación del vapor de agua** caliente, procedente de los espacios interiores del edificio, al entrar en contacto con la cámara de aire, a temperatura mucho más fría que la interior, se produce **en la cara fría del aislamiento**, es decir, en el plano de contacto entre hoja exterior y material aislante. Esto provoca que este último **se humedezca y disminuya su resistencia térmica** mientras está mojado, cuando se utilizan aislantes tipo lana de roca o fibra de vidrio. Por ello, para evitar este problema, es necesario colocar una **barrera antivapor** que lo proteja.
- El mismo efecto sucederá si se producen **filtraciones de agua** o absorción a través de la hoja exterior.
- Como el aislamiento se inserta entre la estructura resistente del edificio, entre los forjados, se producen **puentes térmicos** en los frentes de forjados y pilares, a no ser que se tomen medidas para solventarlos.
- Además, la **cámara de aire ventilada introduce aire frío** en un espacio en contacto con la **hoja interior**, la hoja caliente.



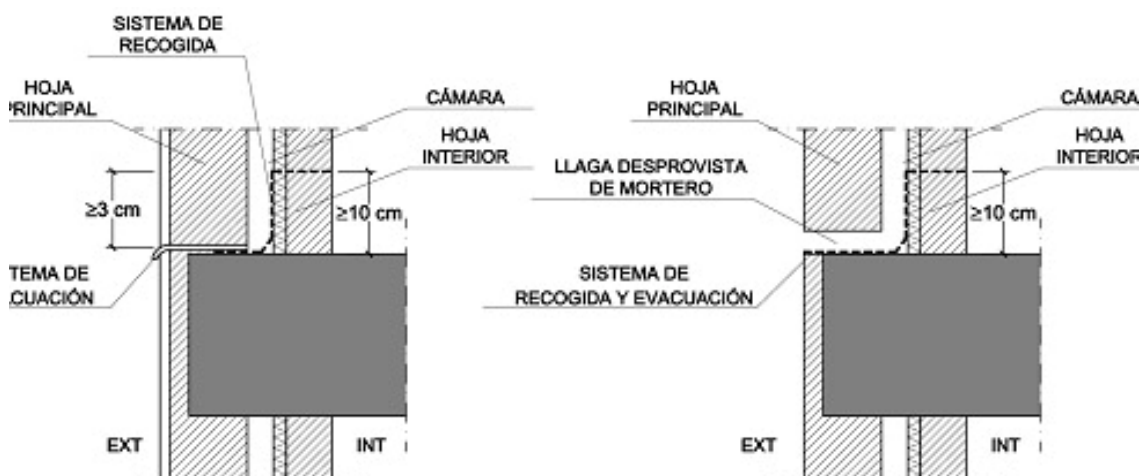
Esquema constructivo de fachada capuchina tradicional de ladrillo caravista con aislamiento pegado a la hoja exterior. E = 1/10.

En la **última década del siglo XX** se ha discutido mucho la eficacia de la descrita **colocación del aislamiento**, empezándose a colocar el mismo **junto a la hoja**

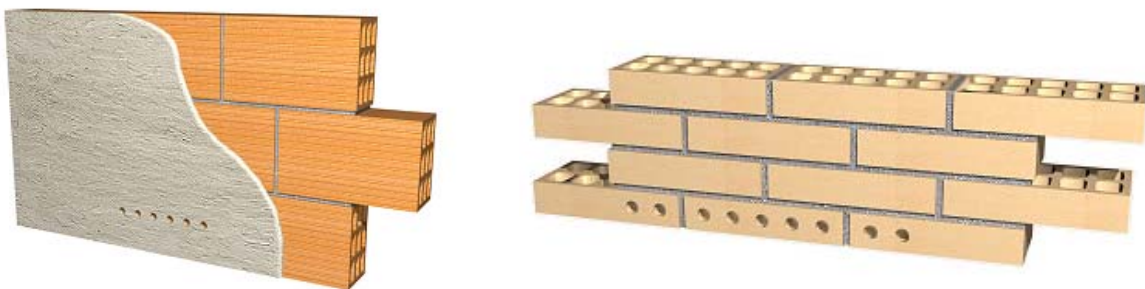
interior, tal y como se hace habitualmente en otros países europeos y en E.E.U.U. De esta forma se mejora el **comportamiento higrotérmico**:

- Las posibles **condensaciones del vapor de agua** procedente del espacio interior se producirán en la **cara fría del aislamiento**, donde se encuentra la **cámara de aire**. La ventilación de la misma solventa el problema de tal manera que no se requiere lámina cortavapor, al igual que en el caso de las filtraciones desde el exterior.

En esta solución, **sobre la cara interior de la hoja exterior** se realiza un **enfoscado de mortero de cemento a buenavista**, tanto si la hoja es caravista como si está revestida por el exterior, que facilita también la evacuación de las condensaciones hacia la zona inferior de la cámara de aire, y su salida al exterior a través de la **lámina impermeabilizante** y los **orificios de ventilación** dispuestos para ello en la base del muro, en el encuentro con el forjado, tal como prescribe el CTE.



Recogida y evacuación del agua de condensación en la cámara de aire ventilada de la fachada en el encuentro con el forjado inferior. Figura 2.10 del CTE DB HS 1, Salubridad, pág. HS1-17.



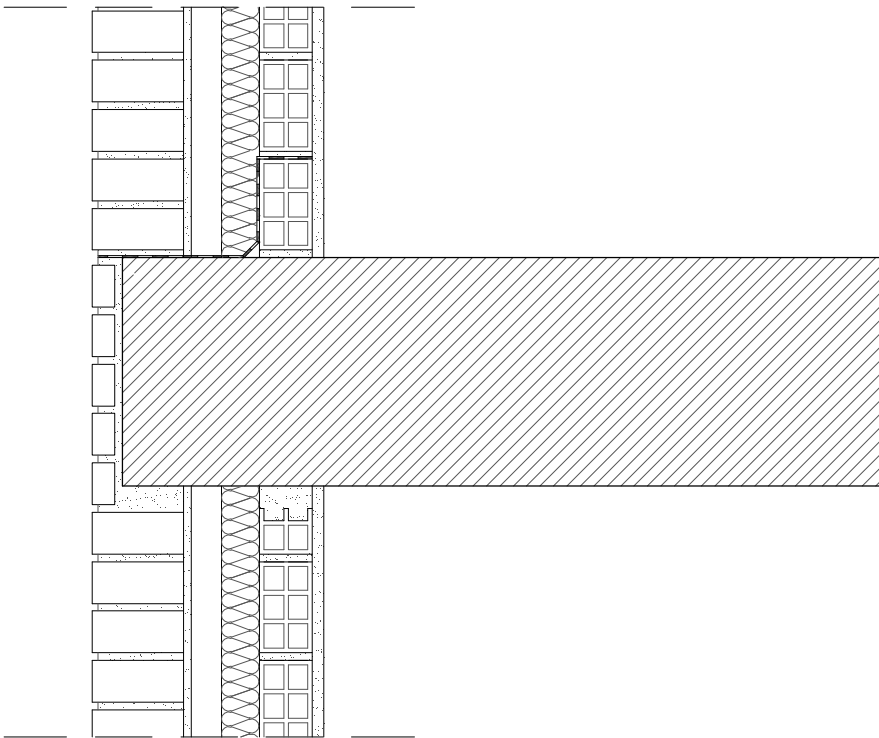
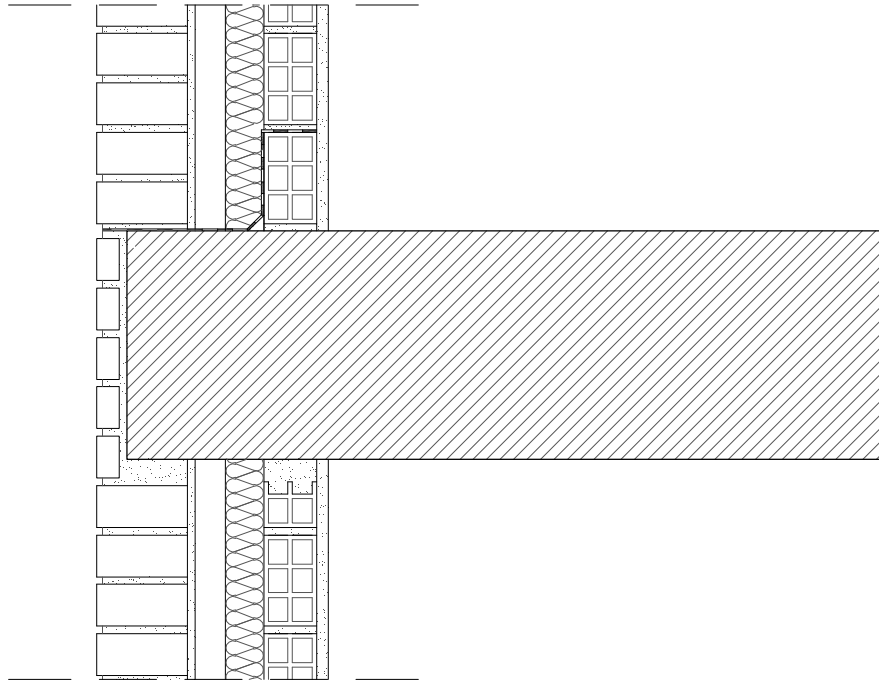
Orificios de evacuación del agua de condensación en el encuentro de la fachada con el forjado. Fuente: <www.generadordeprecios.info> [Consulta: 13 de febrero de 2012].



Hoja exterior de ladrillo caravista revestida interiormente con un enfoscado de mortero de cemento a buenavista.



Hoja exterior de ladrillo hueco triple revestida interiormente con un enfoscado de mortero de cemento a buenavista. Dicha hoja quedará revestida por el exterior con el acabado elegido para la fachada.



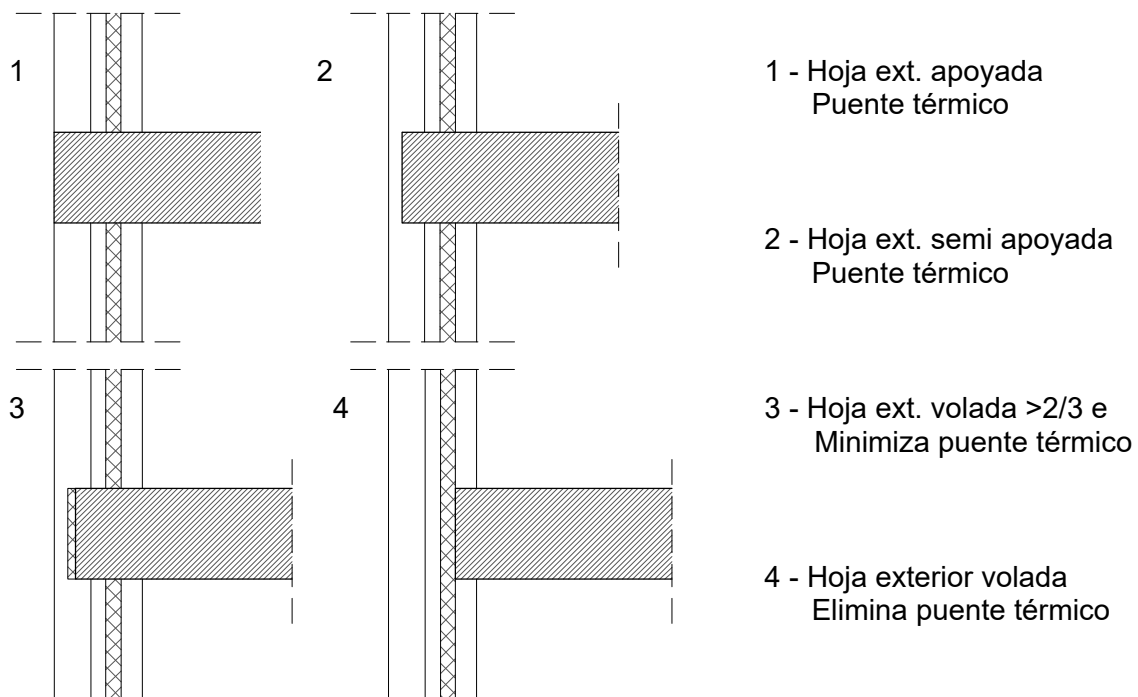
Esquema constructivo de fachada capuchina tradicional de ladrillo caravista con aislamiento pegado a la hoja interior. E = 1/10.

- De la misma forma se recogerán y evacuarán las **humedades por filtración** desde la hoja exterior.

- Como el aislamiento térmico se coloca hacia el interior de la **cámara de aire**, la ventilación de la misma **no introduce aire a temperatura ambiente hacia el interior**.

- El único problema que no se resuelve es la presencia de **puentes térmicos** en los frentes de forjado y los pilares, debidos a la interrupción del aislamiento.

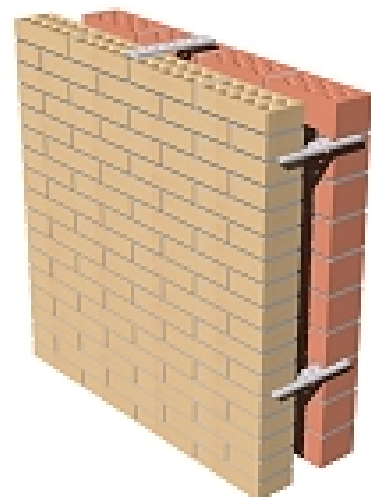
La solución de este problema es compleja debido a los problemas asociados a la **estabilidad de la hoja exterior**. La hoja interior va completamente apoyada en el forjado inferior, pero la exterior puede ir desde totalmente apoyada a totalmente volada.

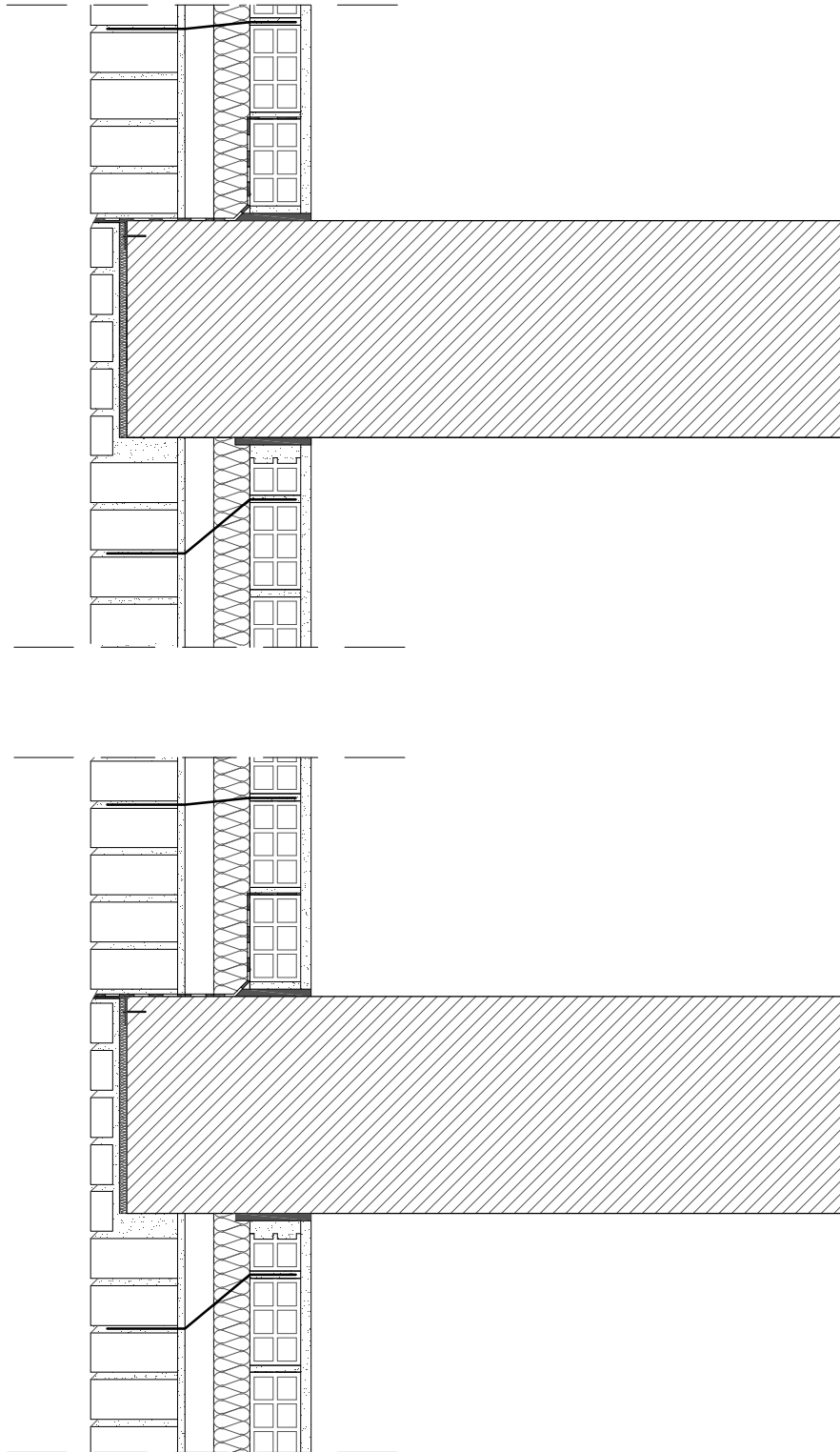


Esquemas constructivos de posibles formas de apoyo de la hoja exterior de la fachada. E = 1/25.

En todo momento se debe garantizar un **apoyo de la hoja exterior no inferior a 2/3 del espesor**. Si es necesario, se dispondrán **angulares metálicos** anclados al frente del forjado, aumentando o completando la superficie de apoyo, así como se dispondrán **llaves de atado** entre ambas hojas. El vuelo de la hoja exterior permite introducir una capa de reducido espesor de aislamiento térmico, adherida al frente del forjado, minimizando de este modo el puente térmico creado en este punto. Otra solución sería solventar el puente térmico creado en la parte interior, introduciendo aislamiento térmico en el suelo flotante y en los falsos techos.

Llaves de anclaje dispuestas al trebolillo, anclando la hoja exterior de la fachada a la hoja interior. Fuente: <www.generadordeprecios.info> [Consulta: 13 de febrero de 2012].





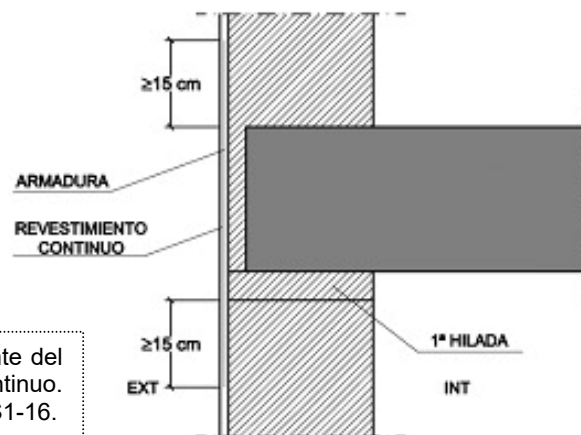
Disposición de angulares de apoyo y atado de la hoja exterior mediante llaves a la hoja interior.
E = 1/10.

Es importante garantizar, con la disposición del angular, que **la hoja exterior no haga que las plaquetas que cubren el frente del forjado entren en carga**, puesto que podrían desprenderse, cayendo hacia la vía pública, con las graves consecuencias que ello conllevaría.

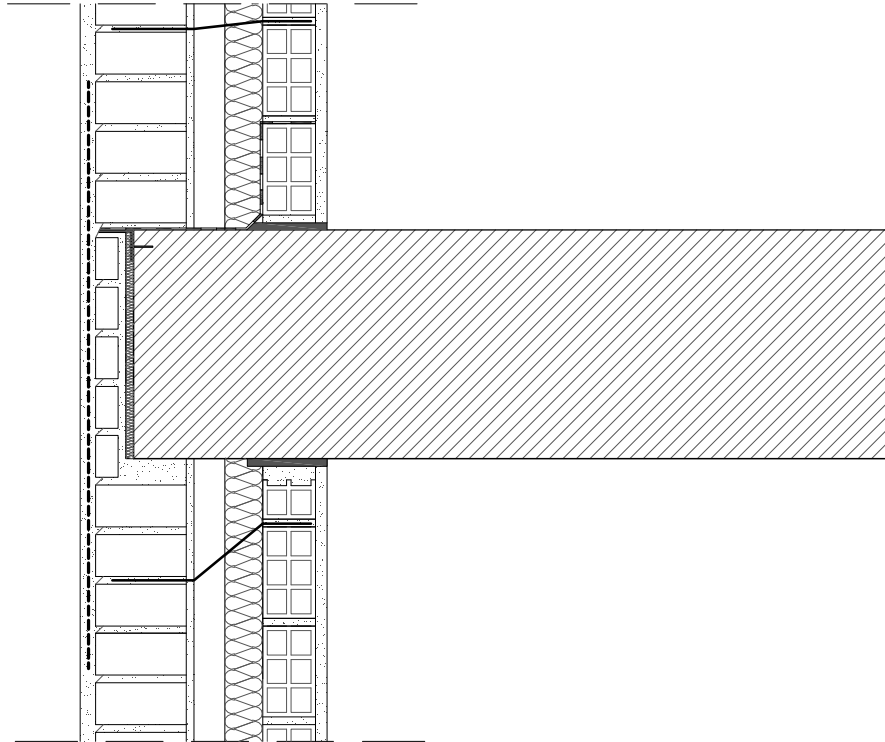


Fachada caravista con un desprendimiento incipiente de las plaquetas de los frentes de forjado.

Otro de los problemas habituales producidos en el **frente del forjado** en este tipo de fachadas, cuando se cubren con **revestimientos exteriores continuos**, es la fisuración del revestimiento debido al movimiento diferencial entre los materiales soporte (hormigón en el frente del forjado y fábrica cerámica o de bloque de hormigón en la hoja exterior). Para evitar que se produzcan sendas **fisuras longitudinales** marcando el forjado, el CTE establece que se embeba **una malla de fibra de vidrio o acero galvanizado**, que debe sobrepasar 15 cm la cara superior del forjado y 15 cm la última hilada bajo el forjado.



Solución del encuentro de la fachada con el frente del forjado cuando se dispone un revestimiento continuo. Figura 2.8 del CTE DB HS 1, Salubridad, pág. HS1-16.



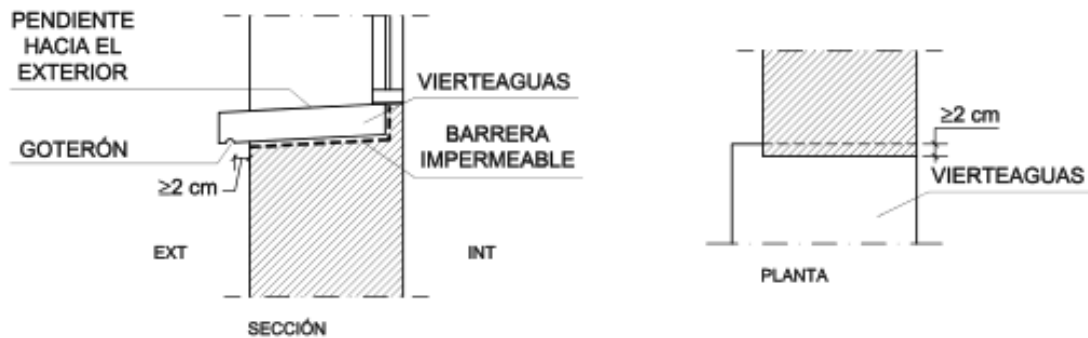
Disposición de malla de fibra de vidrio embebida en el revestimiento continuo de la fachada en los frentes de la estructura, frentes de forjados y pilares. E = 1/10.



Disposición de malla de fibra de vidrio embebida en el revestimiento continuo en todos los frentes de la estructura, forjados y pilares.

El problema de evitar filtraciones de agua hacia el interior y de garantizar la estabilidad de la hoja, tanto interior como exterior en este caso, se encuentra también en la abertura de los **huecos de ventanas**.

Para **evitar la entrada de agua**, el CTE determina una serie de actuaciones en relación al **vierteaguas**: debe tener una pendiente mínima de 10° hacia el exterior y disponer de un goterón, distanciados al menos 2 cm respecto del plano de fachada; se encastrará al menos dos centímetros bajo las jambas laterales, y se dispondrá una lámina impermeable en la parte inferior, doblándola en su trasdos hasta alcanzar la carpintería.



Requerimientos a los vierteaguas de ventanas para evitar la filtración de agua desde el exterior. Figura 2.12 del CTE DB HS 1, Salubridad, pág. HS1-18.

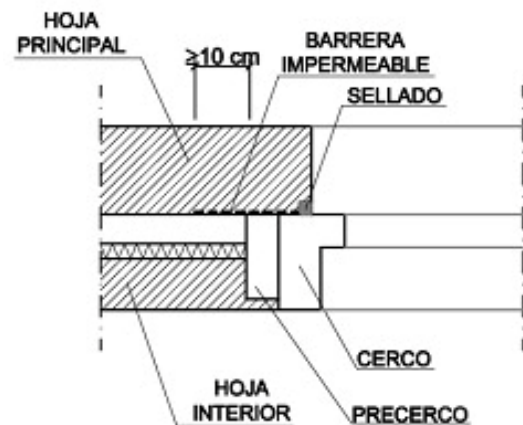


Disposición de lámina impermeable en la parte inferior del vierteaguas de ventana.



Vierteaguas con goterón a más de 2 cm de distancia del cerramiento de fachada.

La **carpintería** irá **fijada a la fachada mediante patillas de anclaje**, y en su encuentro con el trasdós de la hoja exterior de la fachada, se dispondrá una **barrera impermeable**.

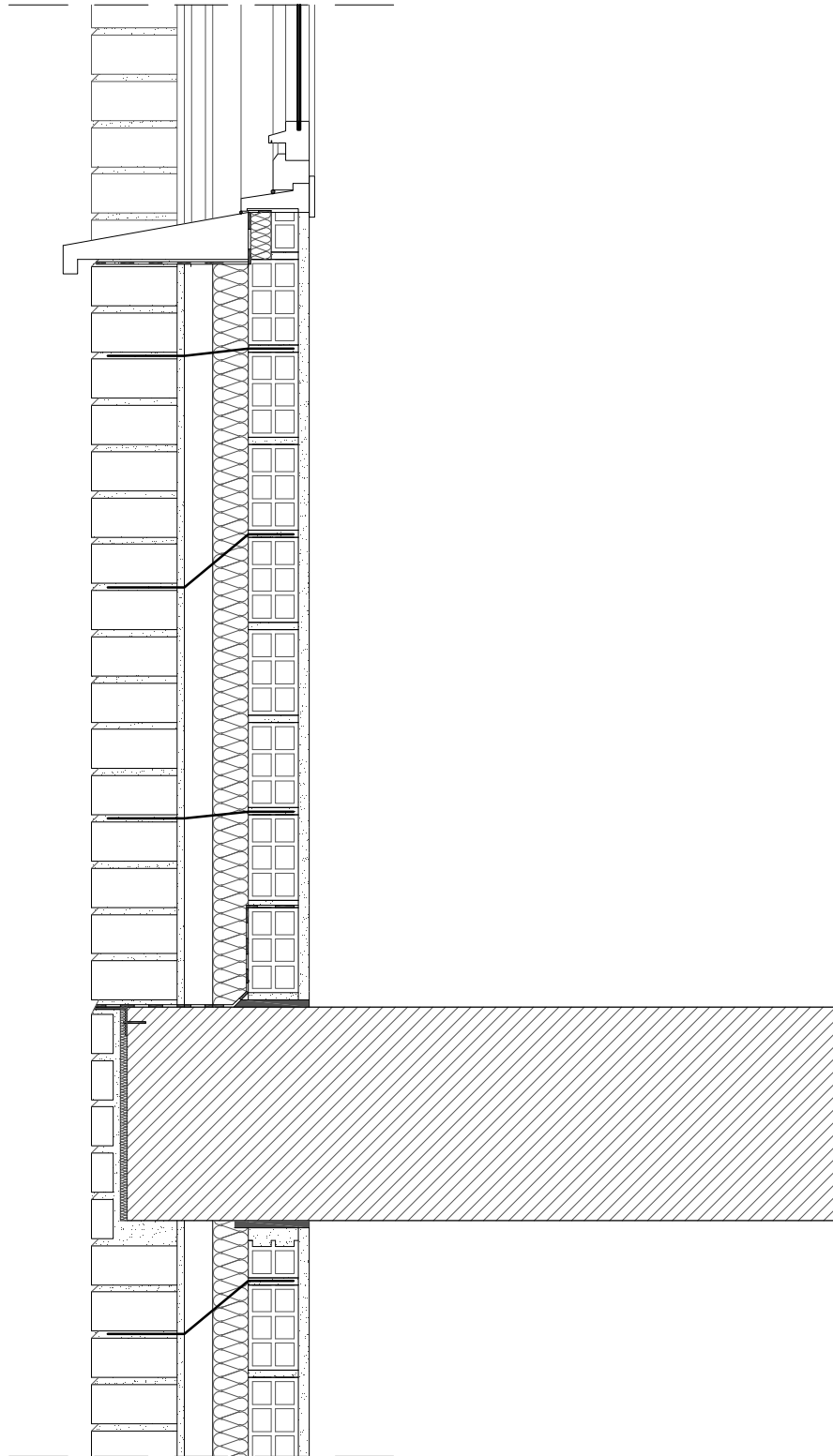


Encuentro de la carpintería con la hoja exterior de la fachada. Figura 2.11 del CTE DB HS 1, Salubridad, pág. HS1-17.

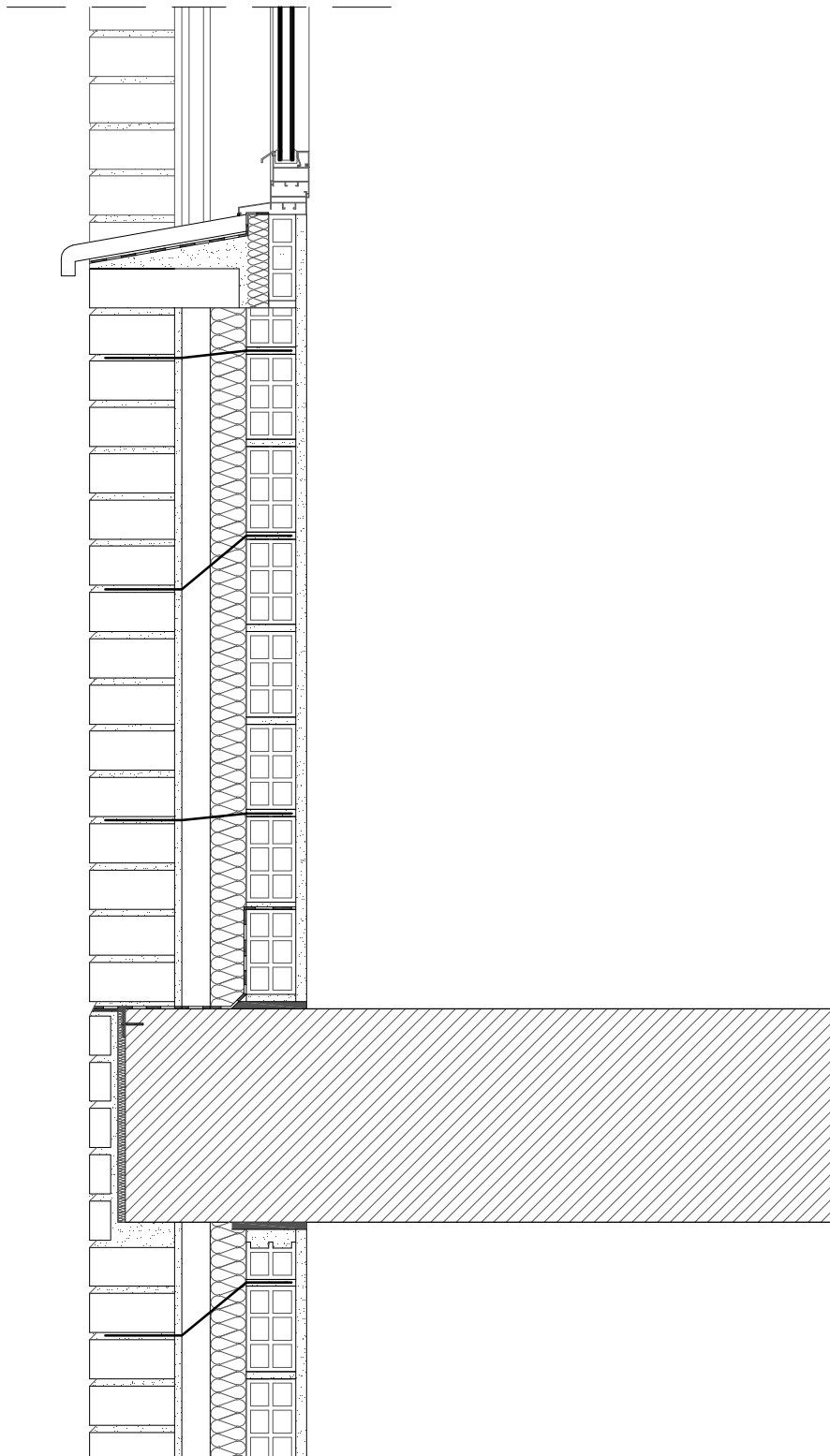


Colocación de la carpintería en una fachada caravista.

Es imprescindible que la solución adoptada para resolver la parte inferior del **huevo no suponga un nuevo puente térmico**. Para ello, se dispondrá una **capa de aislamiento** entre la lámina impermeabilizante y la rasilla de apoyo de la carpintería. Es posible disponer un ladrillo girado para aumentar la superficie de apoyo del vierteaguas, pero éste no debe ser pasante, evitando así el aludido puente térmico.



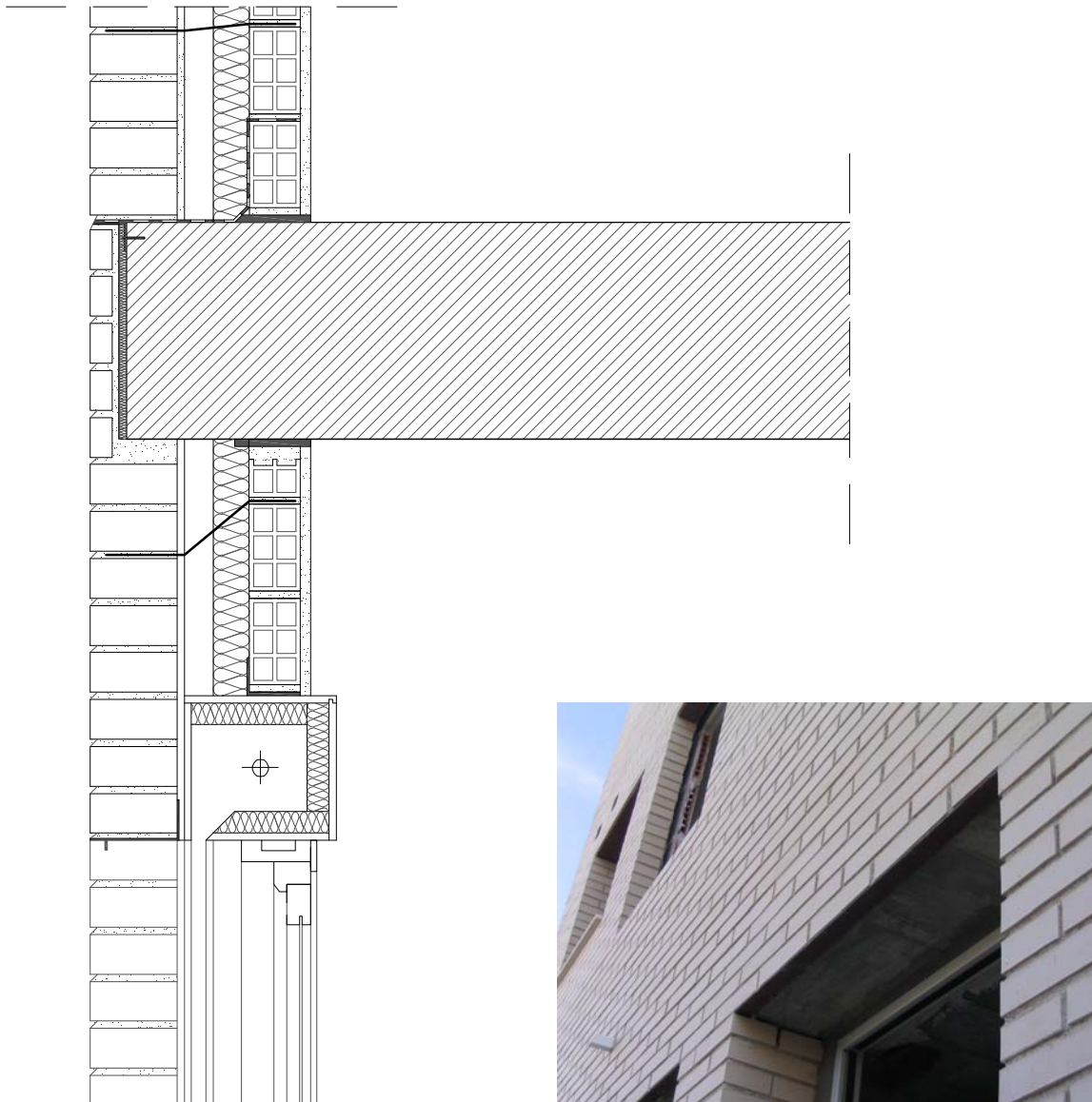
Fachada caravista con vierteaguas de piedra natural y carpintería de madera. E = 1/10.



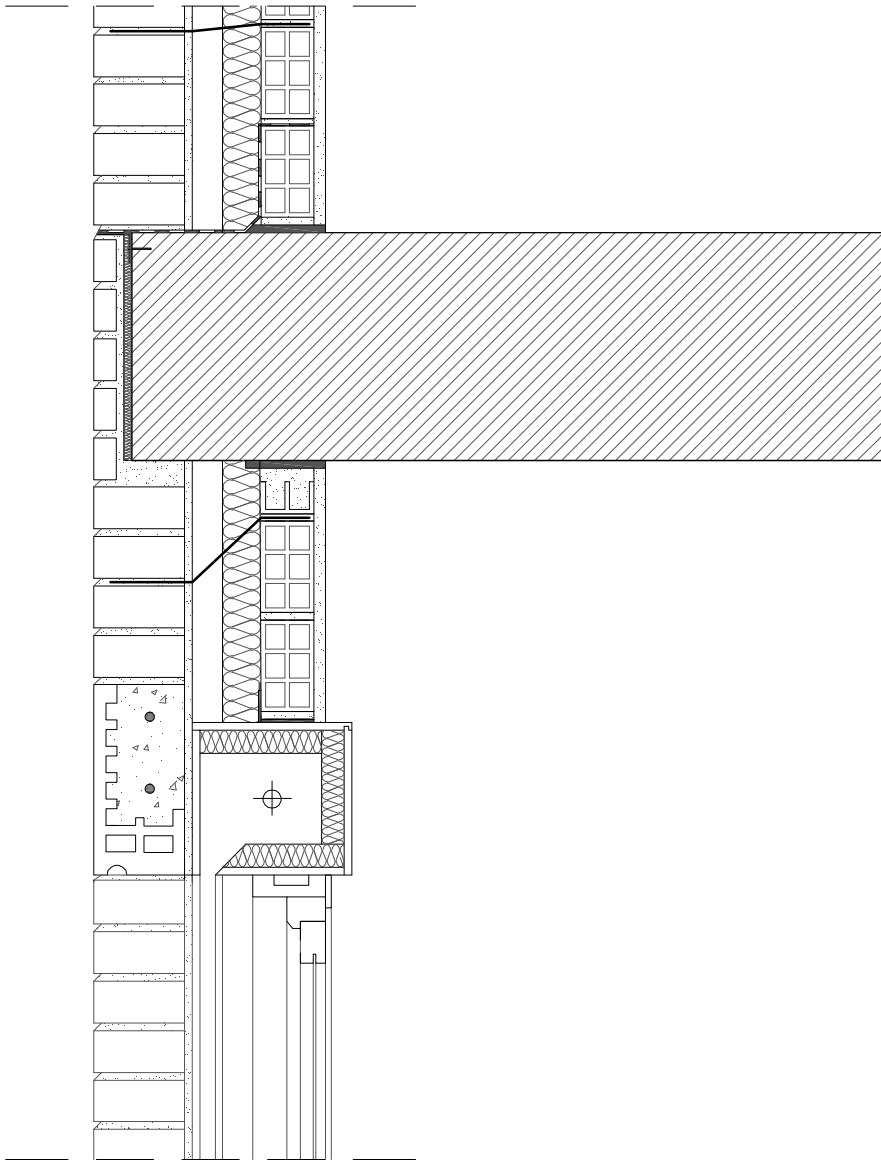
Fachada caravista con verteaguas cerámico y carpintería de aluminio. E = 1/10.

En cuanto a **garantizar la estabilidad** se refiere, es imprescindible la disposición de **dinteles o cargaderos** que soporten los paños de fábrica, tanto de la hoja exterior como de la hoja interior, que quedan por encima del hueco. Pueden actuar como dinteles: pequeños cargaderos de hormigón armado, viguetas o semiviguetas pretensadas, perfiles metálicos (pletinas, angulares, etc.), cargaderos de ladrillos a sardinel, etc. Es conveniente que, en todos los casos, se disponga también un goterón que impida que el agua resbale por la carpintería de la ventana.

Los dinteles metálicos y los de sardineles suelen estar asociados a fachadas de ladrillo caravista, los primeros aptos para aquellos casos en los que no se quiere jugar con los aparejos de fachada, y los segundos para conseguir efectos estéticos con el dibujo creado con la colocación de los ladrillos.



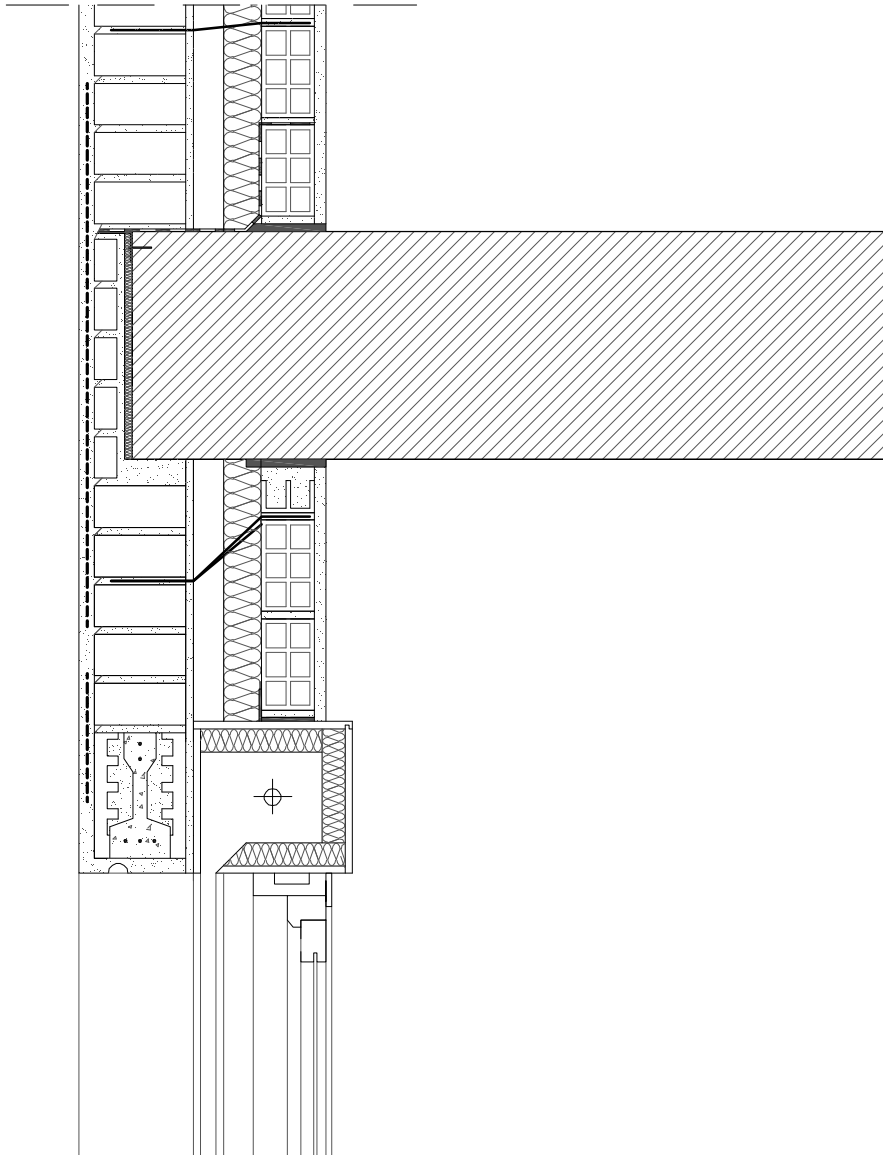
Dinteles conformados por angulares y pletinas metálicas. E = 1/10.



Dintel exterior con sardineles y angular metálico sujetando la hoja interior. E = 1/10.

En el caso de las fábricas revestidas, es más habitual recurrir a cargaderos de hormigón, ya sea prefabricados o ejecutados in situ.





Dintel exterior con vigueta pretensada y angular metálico sujetando la hoja interior. E = 1/10.

En general, podemos determinar que este tipo de **fachadas** suele incluir las siguientes **capas**, desde el exterior hacia el interior:

- Revestimiento exterior: pueden ser revestimientos continuos tipo monocapas, enfoscados, revocos, estucos, etc., o discontinuos, tipo aplacados pétreos naturales o artificiales, aplacados cerámicos, etc., anclados o tomados con morteros adhesivos, según peso, dimensiones, altura, etc.



Revestimientos exteriores de fachadas, continuos y discontinuos.

- Hoja exterior: habitualmente resuelta mediante fábrica de ladrillo cerámico macizo, perforado o triple hueco, de bloque de hormigón vibrado o termoarcilla, caravista o no, apoyada o semi apoyada sobre el forjado de cada planta. También puede ser un muro de hormigón armado, in situ o prefabricado.



Hoja exterior de fachada de fábrica de ladrillo cerámico perforado caravista.



Hoja exterior de fachada interior de fábrica de ladrillo cerámico triple hueco para revestir.



Hoja exterior del cerramiento de hormigón visto ejecutado in situ.

- Revestimiento interior de la hoja exterior: se trata de un enfoscado de mortero de cemento a buenavista para evitar filtraciones de agua hacia el interior de la cámara, principalmente en las fachadas caravista.



Revestimiento interior de la hoja exterior del cerramiento de fachada, enfoscado de mortero de cemento a buenavista.

- Cámara de aire: su misión es garantizar la estanquidad frente a las aguas de infiltración y absorción exteriores, y las de condensación del vapor de agua interior, además de colaborar en el aislamiento térmico. La resistencia térmica de esta cámara depende de si es ventilada, débilmente ventilada o no ventilada, y de su espesor.

- Aislamiento térmico: puede tratarse de lana de roca, de fibra de vidrio, poliuretano, poliestireno, etc. El hecho de estar colocado junto a la hoja interior conlleva una dificultad constructiva que se solventa en una mayoría de ocasiones con la colocación de planchas rígidas: poliestirenos expandidos, poliestirenos extruidos, etc. Debe garantizarse la unión del aislamiento a la hoja interior ya que si no, se puede reducir su efectividad.



Aislamiento térmico de lana de roca, poliestireno expandido y poliestireno expandido de grafito, en fachada capuchina tradicional..

- **Hoja interior:** puede ser de fábrica de ladrillo hueco cerámico, de bloque de hormigón vibrado o paneles prefabricados de: cartón-yeso, madera, escayola, etc. Desde la entrada en vigor del CTE, la hoja interior de la fachada debe disponer una banda acústica perimetral, que evite la transmisión del ruido entre la misma y la estructura perimetral y el resto de tabiques interiores.

- **Revestimiento interior:** pueden estar constituidos por una capa "gruesa", tipo tendidos de yeso, enfoscados de morteros de cemento (según si se requieren propiedades hidráulicas o no en el acabado), pinturas, empapelados, moquetas, aplacados pétreos o cerámicos, etc.

Sin embargo, ninguno de los anteriores sistemas es capaz de eliminar por completo el problema de los puentes térmicos debidos a la interrupción del aislamiento por la presencia del forjado intermedio. La única solución es aquella que opta por la disposición de la hoja interior enrasada con el frente del forjado, disponiendo un **aislamiento térmico totalmente continuo**, sin interrupción alguna, pasando por delante de la estructura y de la hoja interior de la fachada. De este modo, la hoja exterior queda totalmente volada, anclada a la estructura del edificio o a una estructura portante auxiliar, separada de la misma, de modo que permita la creación de la cámara de aire ventilada entre la hoja exterior y el aislamiento. Éste es el concepto de **fachada ventilada**, cuyo comportamiento higrotérmico es óptimo tanto en verano como en invierno. Además, permite una gran variedad de acabados, con una amplia gama de materiales existentes en el mercado.

Este tipo de fachadas suele incluir las siguientes capas:

- **Revestimiento exterior:** su misión es la de cerrar la cámara de aire y proteger el aislamiento térmico. Permite una gran gama de acabados. Se puede distinguir entre: **revestimientos pesados**, como la piedra (mármol, granito, prefabricados de hormigón, etc.), cuyo espesor está entre tres y cinco centímetros, o incluso más (en el caso de los prefabricados de hormigón), lo cual permite la colocación oculta de los anclajes de fijación; y **revestimientos más ligeros** y de pequeño espesor, como los tableros de alta densidad de maderas contrachapadas impregnadas con resinas fenólicas, paneles composite de aluminio, laminados de alta presión a base de resinas, placas de resina de poliéster mezclada con agregados pétreos y armadura de fibra de vidrio, GRC (microhormigón reforzado con fibra de vidrio), cerámica, etc., que no permiten el anclaje interior y se fijan directamente a una subestructura, o se apoyan indirectamente sobre la misma mediante pinzas o minisoportes.

Las **juntas** entre las distintas placas del revestimiento **no se sellan**, sino que se dejan abiertas, entre **2 y 6 mm**, para garantizar la perfecta ventilación de la cámara de aire y la libre dilatación de la hoja exterior.

- **Sujeción de la hoja exterior:** se trata de anclajes **puntuales o lineales** de acero inoxidable o galvanizado, estructuras portantes a base de **montantes** anclados a la estructura y a la hoja interior, etc.

- **Cámara de aire:** es el componente estrella de este tipo de cerramiento. Su misión es la de garantizar la estanquidad y la protección térmica. Tiene que tener un **espesor mínimo de 2 cm** y al estar totalmente abierta, no tiene misión aislante. Tampoco la tiene el revestimiento exterior, ya que éste se encuentra a una cierta distancia del cerramiento interior y está formado por piezas con juntas abiertas, por lo que el espacio de aire no puede considerarse en calma, proporcionado el aislamiento térmico únicamente con el material aislante y la hoja interior.

- Aislamiento térmico: se trata de un aislamiento térmico **continuo**, recubriendo totalmente la hoja interior y la estructura resistente del edificio, forjados, pilares, etc., eliminando por completo los puentes térmicos. Debe tratarse de **materiales que no mermen sus propiedades en contacto con el agua**, por lo que suele utilizarse el poliuretano proyectado y en placas, el poliestireno extruido y el poliestireno expandido de alta densidad.

- Hoja interior: se puede tratar en este caso de una **hoja de carga**, recibiendo los elementos de sujeción de la hoja exterior y del revestimiento exterior, o simplemente una hoja de cerramiento. En cualquiera de los dos casos sirve de soporte del aislamiento térmico. Suele estar compuesta por una hoja de fábrica de ladrillo cerámico macizo o perforado de medio pie, de termoarcilla, de bloque perforado de hormigón vibrado, etc. Debe quedar **revestida en su cara exterior** por una capa de **enfoscado de cemento hidrófugo** y en la **interior** por un **enlucido, etc.**



Sistema de fachada ventilada. Fuente: <www.generadordeprecios.info> [Consulta: 25 de mayo de 2016].

- Elementos auxiliares: piezas de protección y remate, como las rejillas que protegen la cámara de aire de la entrada de animales, etc.



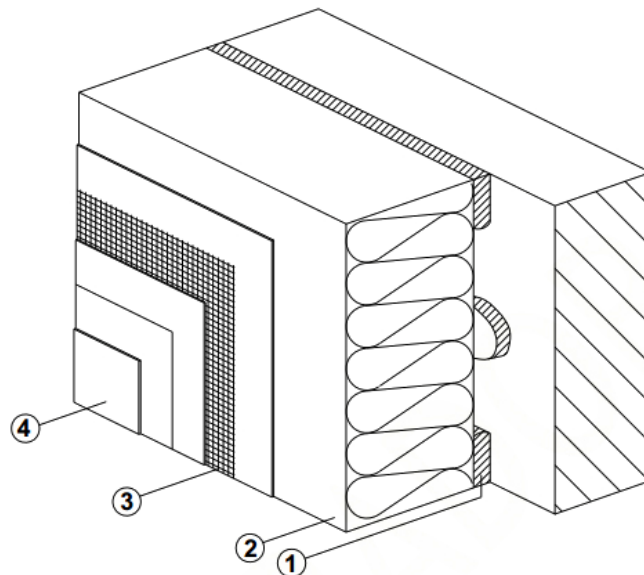
Podemos destacar algunas de las ventajas que la fachada ventilada tiene frente a los sistemas tradicionales:

- Buen comportamiento higrotérmico, tanto en invierno como en verano.
- Menor número de operaciones constructivas a ejecutar.
- Construcción más industrializada que no introduce excesiva humedad en la obra.
- No es necesario resolver las juntas del revestimiento exterior, con los problemas que siempre conllevan, ya que se dejan abiertas.
- Gran variedad de acabados para el revestimiento final.
- Las piezas del revestimiento exterior que se van deteriorando con el tiempo, pueden sustituirse fácilmente sin tener que realizar grandes obras de picado, etc. Por lo tanto, de cara a una futura rehabilitación, la ejecución de la misma conlleva ventajas adicionales.

Otro sistema que permite la **eliminación de puentes térmicos**, utilizado en la actualidad tanto en obra nueva como, sobre todo, en rehabilitación energética de fachadas, son los **sistemas** denominados **SATE**, Sistemas de Aislamiento Térmico por el Exterior. Se trata de aislamientos térmicos continuos, fijados a la hoja interior con adhesivos y tacos, que se cubren con revestimientos continuos de pequeño espesor para exteriores, reforzados con mallas de fibra de vidrio.

Se utilizan aislamientos térmicos y acústicos como el poliestireno, poliestireno de grafito, lana de roca, corcho natural, etc.

La principal característica de estos sistemas es su ligereza.



- 1 - Adhesivo de fijación.
- 2 - Aislamiento térmico.
- 3 - Mortero con malla de fibra de vidrio embebida a mitad de espesor.
- 4 - Acabado en capa fina.

Sistema de capas que componen un SATE. Fuente: <www.acuatroarquitectos.com> [Consulta: 25 de mayo de 2016].



Sistema SATE con aislamiento fijado con adhesivo. Fuente: <www.acuatroarquitectos.com> [Consulta: 25 de mayo de 2016].

TEMA 7 - LA ENVOLVENTE DEL EDIFICIO II

CUBIERTAS

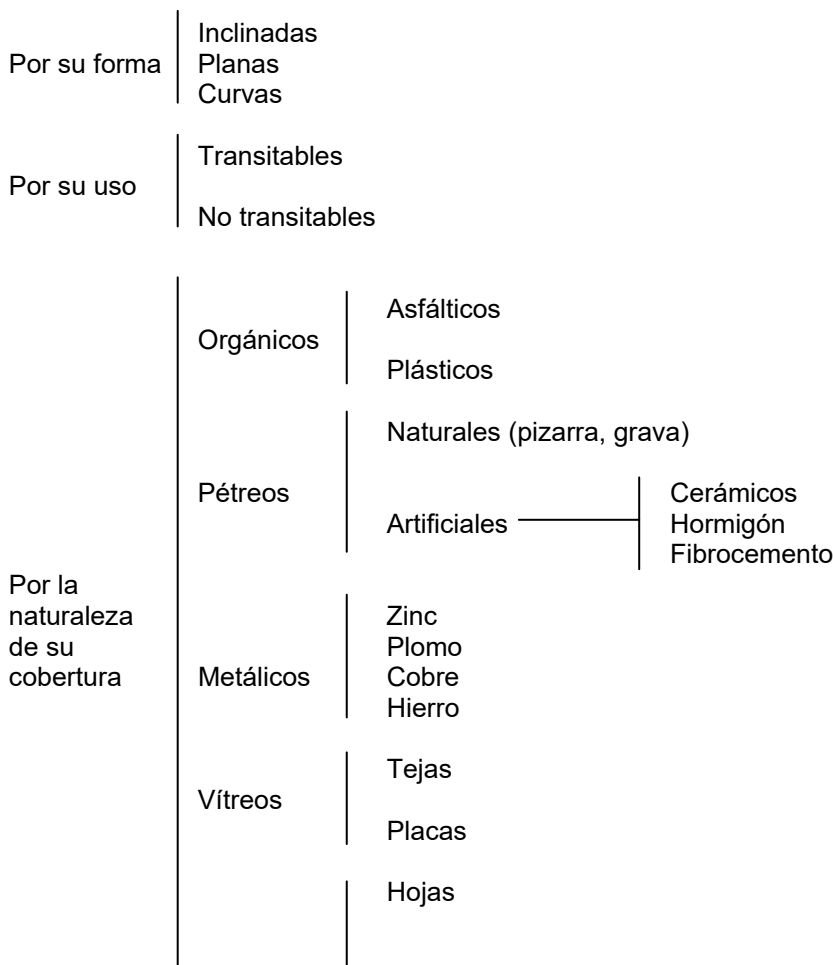
1. INTRODUCCIÓN

Entendemos por **cubierta** el sistema constructivo utilizado como cierre superior o de coronación de un edificio. De esta forma **se completa el perímetro envolvente** del mismo, que empezaba con las unidades de obra en contacto con el terreno (soleras y muros de sótano), seguía por encima de la cota cero con los sistemas de cerramiento vertical o fachada, y finaliza rematando la parte más alta con los sistemas constructivos que ahora nos competen.

Los **requisitos básicos** que podemos exigir a una cubierta son:

- **Resistencia mecánica:** estabilidad ante acciones estáticas o dinámicas.
- **Impermeabilidad:** garantizar la estanquidad al agua, la nieve y el viento.
- **Aislamiento térmico y acústico,** a ruido aéreo o de impacto.
- **Resistencia al fuego.**
- **Elasticidad:** capacidad de deformación.
- **Durabilidad** y compatibilidad de sus materiales.
- **Economía** de construcción.

La clasificación de las cubiertas puede atender a varios aspectos:



Vegetales Cortezas
 Fibras

En función de si dispone o no de cámara ventilada

No ventiladas o calientes

Ventiladas o frías

2. CUBIERTAS PLANAS

2.1. APROXIMACIÓN HISTÓRICA

Los principios compositivos de la arquitectura del Movimiento Moderno en la primera mitad del s. XX, la aparición de nuevas láminas impermeables y la simplificación de los procesos constructivos, han hecho realidad el sueño de lograr un plano horizontal como remate de los edificios.

Las **primeras cubiertas planas** conocidas nos llegan de la **antigua Mesopotamia** (Siria, Irak), extendiéndose por el Mediterráneo y perviviendo en infinidad de poblados del Norte de África. Son cubiertas formadas por **entrevigado de rollizos de madera, cañizo, tablillas, tela tejida con arpillera** y un espesor variable de **tierra apisonada**. Finalmente ésta se protege con una **costra de mortero**, mezcla de cal, barro y paja, bien alisado y con pendiente hacia una sencilla gárgola de desagüe. Tienen buen comportamiento térmico-acústico, gracias a su espesor, aunque esto las hace pesadas y con riesgo de aumentar su peso al humedecerse y deformarse los rollizos de madera.

Siglos más tarde, la **tierra es sustituida por tableros multicapa** de losa **pétreo o rasilla cerámica** a rompe junta. Este sistema, de muy bajo aislamiento, alivia el peso de la solución. Su riesgo es la rotura de los tableros si no se les permite la libre dilatación.

Posteriormente, para mejorar sus prestaciones, se incorpora una **cámara de aire ventilada**. Se recupera el aislamiento térmico perdido. Aparece así la **cubierta plana de dos hojas**, la superior descansando sobre tabiquillos palomeros y la inferior convertida en forjado que soporta los tabiquillos. Nace de aquí el tablero de tres roscas de rasilla plana, tomadas la primera con yeso, la segunda con cal y la tercera con mortero de cemento. Este tipo de **cubierta**, hoy llamada "**fría o ventilada**", tiene como virtudes su **ligereza y su cierto relativo aislamiento térmico**. Dado que está fuertemente solicitada por dilataciones y contracciones debido a los cambios térmicos cíclicos, su vida depende de la posibilidad de mover libremente sin coartar sus movimientos.

Las **primeras láminas impermeables** colocadas sobre el tablero cerámico de este tipo de cubiertas sufren **excesivas variaciones dimensionales**, perdiendo fácilmente su estanqueidad. Además el asoleo directo las dañaba afectando a su durabilidad.

Hacia los **años cuarenta**, con la aparición de los **hormigones aligerados**, tanto por el uso de áridos ligeros naturales (escorias, cenizas, vermiculita, etc.), como por la inclusión de burbujas de aire o espumado en la masa del hormigón, introduce un cuerpo o **aislante** que permite sustituir la cámara de aire. La **cubierta plana** de dos hojas pasa a ser **de una hoja**, aunque **multicapa**. Su sección queda como sigue: forjado (horizontal), hormigón aligerado aislante (capa inclinada, con pendientes entre el 1 y 3%); membrana impermeabilizante y protección (casi siempre rasilla sobre mortero de cemento).

Poco después la generalización de la **calefacción** contribuyó a aumentar el contenido de **vapor en el aire interior** de las viviendas. Las condensaciones que se producían obligaron a incorporar entre el forjado y el hormigón aligerado una lámina cortavapor (**barrera de vapor**).

Entre los años sesenta/setenta, este tipo de cubierta evoluciona hacia la conocida como "**cubierta invertida**", llamada así porque invierte el orden convencional entre aislamiento térmico y la membrana impermeable. La sección ahora queda: forjado, mortero de formación de pendientes, membrana impermeable, aislante térmico (usualmente poliestireno extrusionado) y capa de protección (usualmente áridos rodados de 40 mm de diámetro). La ventaja de esta solución consiste en **mantener protegida la lámina impermeable** de las elevadas temperaturas que le trasmite el delgado tablero cerámico que las protege.

2.2. DEFINICIÓN

Se considera **cubierta plana** aquella que presenta una **pendiente inferior al 5%**. Este límite corresponde tanto a cubierta **transitable**, usada habitualmente por personas, **como no transitable**, con acceso restringido para la colocación de instalaciones o mantenimiento.

Se trata de sistemas **multicapa**, a **cada una de las cuales** se le asigna una **función**:

- **Base estructural**: asume las exigencias mecánicas, soportando todo el peso de la cubierta. Suele estar constituida por el último forjado del edificio, totalmente horizontal.



Último forjado del edificio, base estructural que soporta el peso de las capas que configuran la cubierta.

Debemos asegurarnos de que el soporte haya perdido toda su humedad antes de comenzar a disponer el resto de capas. En caso de lluvia hay que demorar la

ejecución de la cubierta, ya que la humedad introducida entre las capas modifica la respuesta del propio sistema.

- **Formación de pendientes:** capa que constituye la **pendiente** de los paños en que se divide la superficie para reconducir las aguas hasta los sumideros (**entre 1% y 5%** en la mayoría de los casos, alcanzando en tipologías determinadas hasta el 15%).

Uso	Protección	Pendiente en %	
Transitables	Peatones	1-5 ⁽¹⁾	
	Vehículos	Solado fijo	1-5
		Solado flotante	1-5 ⁽¹⁾
No transitables	Capa de rodadura	1-5	
	Grava	1-15	
Ajardinadas	Lámina autoprotegida	1-5	
	Tierra vegetal	1-5	

⁽¹⁾ Para rampas no se aplica la limitación de pendiente máxima.

Pendientes de cubiertas planas según el tipo de pieza de protección Tabla 2.9 del CTE DB HS, pág. HS1-20

Puede constar de un único plano inclinado (faldón) o de varios planos, caso más habitual. Éstos se replantean con pequeñas limahoyas de ladrillo cerámico. El relleno se realiza con hormigón celular, morteros de áridos ligeros, morteros de arlita, etc., con un **espesor** mínimo de **2 cm**, en el punto más bajo, el sumidero, y máx. **30 cm**.



Tabiquillos guías para la formación de pendientes de la cubierta. Disposición de junta de dilatación rellena con poliestireno expandido en el encuentro con el antepecho.

Se dispondrán **juntas de dilatación** cada **15 m** y en el **encuentro con el antepecho** de cubierta, de **2-3 cm** de espesor, rellena de material compresible (poliestireno

expandido), evitando que el empuje que ejerce esta capa sobre el peto, debido a las fuertes dilataciones, fisure la fachada en este punto en su cara exterior. Es una buena práctica constructiva materializar esta holgura rematando el faldón con un tabiquillo de ladrillo hueco doble recorriendo todo el perímetro.



Formación de pendientes con hormigón celular y remate del faldón con tabiquillo de ladrillo cerámico, creando la holgura en el encuentro con los paramentos verticales.



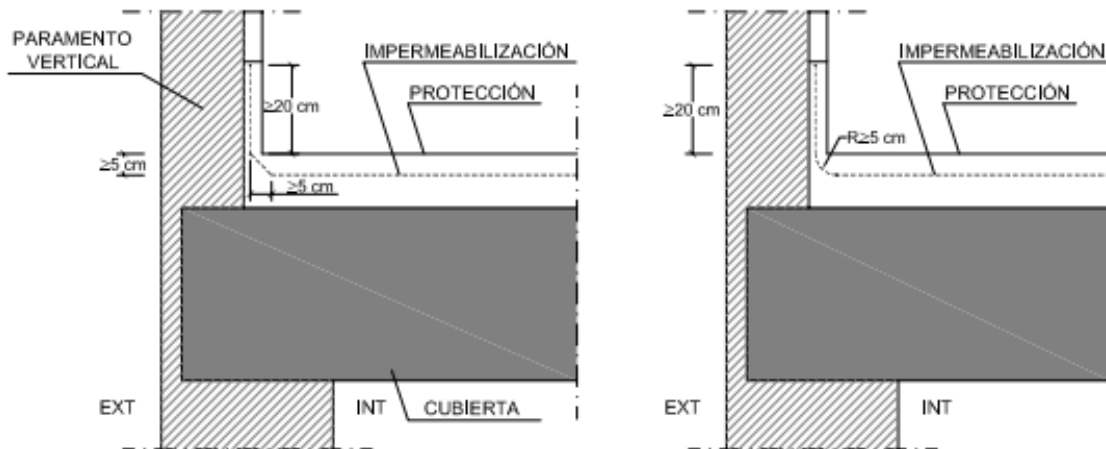
Rellena de la junta de dilatación creada con planchas de poliestireno expandido.

- **Impermeabilización:** garantiza la estanqueidad. La impermeabilización se puede realizar con láminas bituminosas, sintéticas, películas impermeabilizantes "in situ", etc. Las láminas suministradas en rollos se colocarán garantizando un solape mínimo de 10 cm en todas las direcciones.



Solapen se lámina bituminosa adherida en cubierta plana.

La lámina impermeabilizante se rematará en el encuentro con los paramentos verticales con un doblado que **ascenderá un mínimo de 20 cm** por encima del nivel del acabado de la cubierta, resuelto de tal forma que no tense la lámina en la esquina.



Remate de la lámina impermeable de cubierta en el encuentro con el paramento vertical. Figura 2.13 del CTE DB HS1, pág. HS1-24.

Quedará protegida metiendo el borde en una **roza de 3 x 3 cm**, un **rebaje del peto** de cubierta de 5 cm de espesor, o la disposición de un **perfil metálico inoxidable** con un cordón de sellado en su parte superior.



Roza en el antepecho de cubierta para remate de la lámina impermeable.



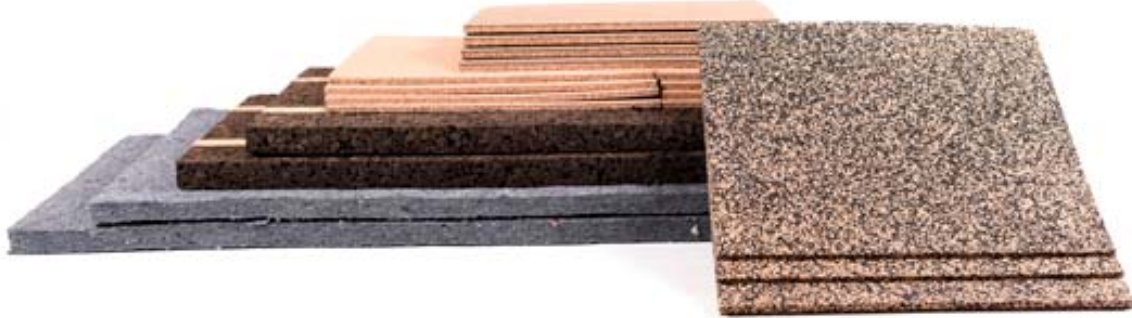
Disposición de lámina impermeable bituminosa adherida, con doblado en el encuentro con los paramentos verticales embebido en el rebaje practicado en el peto.

Es imprescindible, tras la colocación de la lámina impermeabilizante, realizar una **prueba de estanqueidad**, inundando la cubierta **durante 24 horas**, comprobando que no haya filtraciones de agua en ningún punto de la misma. Para ello, los sumideros quedarán obturados mediante un doblado de la lámina impermeable, y se abrirán posteriormente para continuar el proceso constructivo.



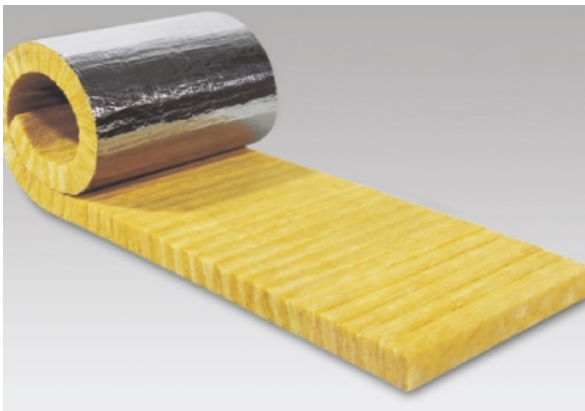
Prueba de estanqueidad en cubierta plana con lámina impermeable bituminosa adherida.

- **Aislamiento térmico:** garantiza el **control higrotérmico**. En función de la posición del aislamiento respecto a la lámina impermeable, en aquellos casos en que vaya a entrar en contacto con el agua, se utilizarán aislamientos que sean capaces de responder bien a esta situación. Los más habituales son poliestirenos, poliuretanos, etc., aunque empiezan a imponerse en el mercado **aislamientos de nueva generación**, como los reflexivos, o los **ecológicos**, de corcho natural o cáñamo, o reciclados, como los textiles, de papel o virutas de madera.



Planchas de aislamientos térmicos ecológicos. Fuente: <www.leroymerlin.es> [Consulta: 11 de mayo de 2018].

- **Barrera cortavapor:** impide que el aislamiento térmico entre en contacto con la humedad procedente de la condensación del vapor de agua que atraviesa el forjado de cubierta desde el interior del edificio, necesaria en las cubiertas calientes no invertidas con aislamientos que merman su eficacia en contacto con la humedad. Pueden actuar como barrera de vapor materiales como el **papel de aluminio**, **papel de estraza** (Kraft), etc.



Planchas de aislamientos con barrera de vapor de aluminio y de papel Kraft incorporada. Fuente: www.isover.es> [Consulta: 11 de mayo de 2018].

- **Cámara de aire:** permite la circulación del aire caliente que se acumula bajo la capa de acabado de la cubierta, mejorando las **prestaciones higrotérmicas** de la misma. Los sistemas tradicionales crean la cámara con **tabiquillos de fábrica cerámica**, y los sistemas actuales con piezas tipo **plots** sobre las que apoya el pavimento de acabado.

- **Protección y acabado:** la terminación de la cubierta puede variar desde **solados fijos o flotantes** de diferentes materiales, hasta **láminas impermeables autoprotégidas**, **capas de gravas vegetales** o **láminas de agua**, en función de si se trata de cubiertas transitables o no transitables.



Acabado de cubierta plana con baldosa cerámica, transitable.



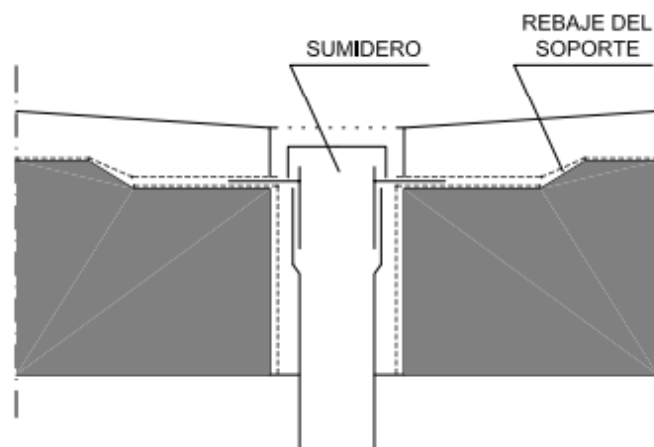
Acabado de cubierta plana con lámina impermeable autoprotégida, no transitable.



Acabado de cubierta plana no transitable con grava. Escuela Oficial de Idiomas de Elche.

- **Capas separadoras:** tienen la función de **separar materiales no compatibles**, **evitar adherencias** no deseadas o **proteger a otra capa**. Suelen estar constituidas por **fieltros geotextiles** o capas de **mortero de cemento** entre 1 y 4 cm de espesor, según el caso.

- **Sistemas de evacuación:** garantiza que el agua no quede embalsada en la cubierta, con el peligro de colapso que conllevaría el peso añadido. Constituida habitualmente por **sumideros** prefabricados que se disponen al nivel de la lámina impermeable, con un **ala mínima de 10 cm** se se introduce en el doblado de la lámina, evitando de este modo la aparición de humedades por filtración.



Remate de la lámina impermeable de cubierta en el encuentro con el paramento vertical. Figura 2.14 del CTE DB HS1, pág. HS1-25.



Encuentro de lámina impermeable autoprotegida con el sumidero de cubierta.

Deben situarse en el **punto más bajo de la pendiente**, separados al menos **50 cm respecto de cualquier paramento vertical**. Dispondrán **rejillas de protección**, planas o semiesféricas (recomendables en todos los casos las segundas, dado que es menos probable que se obturen, con el inconveniente de ser motivo de tropiezos en las cubiertas transitable).



Rejilla practicable de protección de sumidero en cubierta plana transitable.

- **Antepechos:** cumplen dos funciones, proporcionan el **cierre de las capas** que configuran la cubierta y garantizan la **seguridad** de las personas que la transitan. Suelen estar constituidos por una o dos hojas de fábrica, con suficiente resistencia para soportar las acciones a las que se verán sometidos, y una altura mínima de **1,1 m**, cuando la altura de **caída** sea **superior a 6 m**, y de **0,9 m** cuando ésta sea **igual o inferior a 6 m**. También pueden estar constituidos por elementos de hormigón, in situ o prefabricados, etc. Es importante garantizar su **estabilidad**, quedando convenientemente **anclados al forjado**, principalmente **en zona sísmica**, por la peligrosidad que conlleva la caída de estos elementos a la vía pública.



Antepechos de cubierta de doble hoja de fábrica de ladrillo cerámico (perforado+doble hueco o perforado+perforado).

2.3. TIPOS DE CUBIERTAS PLANAS

Como vimos en la clasificación de las cubiertas, podemos atender a varios criterios para definir las principales tipologías existentes. En el caso de las cubiertas planas, las clasificaciones más habituales atienden a su uso, a la existencia o no de una cámara ventilada y a la disposición del aislamiento térmico respecto a la lámina impermeable. De este modo distinguimos entre:

- **Cubiertas transitables:** se trata de aquellas cubiertas con un pavimento de acabado que las hace aptas para el tránsito habitual de personal. Estos pavimentos pueden ser fijos o desmontables, habitualmente de tipo cerámico, de piedra natural o artificial, de madera, etc.

- **Cubiertas no transitables:** aquellas cubiertas cuyo material de acabado no se presta al tránsito habitual de personas sobre ellas, siendo pisable únicamente para su limpieza y mantenimiento. Los acabados habituales son grava (incluso esferas de vidrio), tierra vegetal o incluso una lámina de agua, en el caso de las cubiertas inundadas.



Cubierta plana no transitable con acabado de esferas de vidrio, MACA, Alicante.

En algunos casos podemos encontrar cubiertas que no cuentan con un acabado de protección, sino que disponen de láminas impermeables autoprotégidas en la cara expuesta a la intemperie.

- **Cubiertas ventiladas o frías:** este tipo de cubierta interpone una cámara ventilada entre el soporte de la cobertura y la base estructural, permitiendo disipar el calor en épocas estivales, recomendadas en zona con climas cálidos.

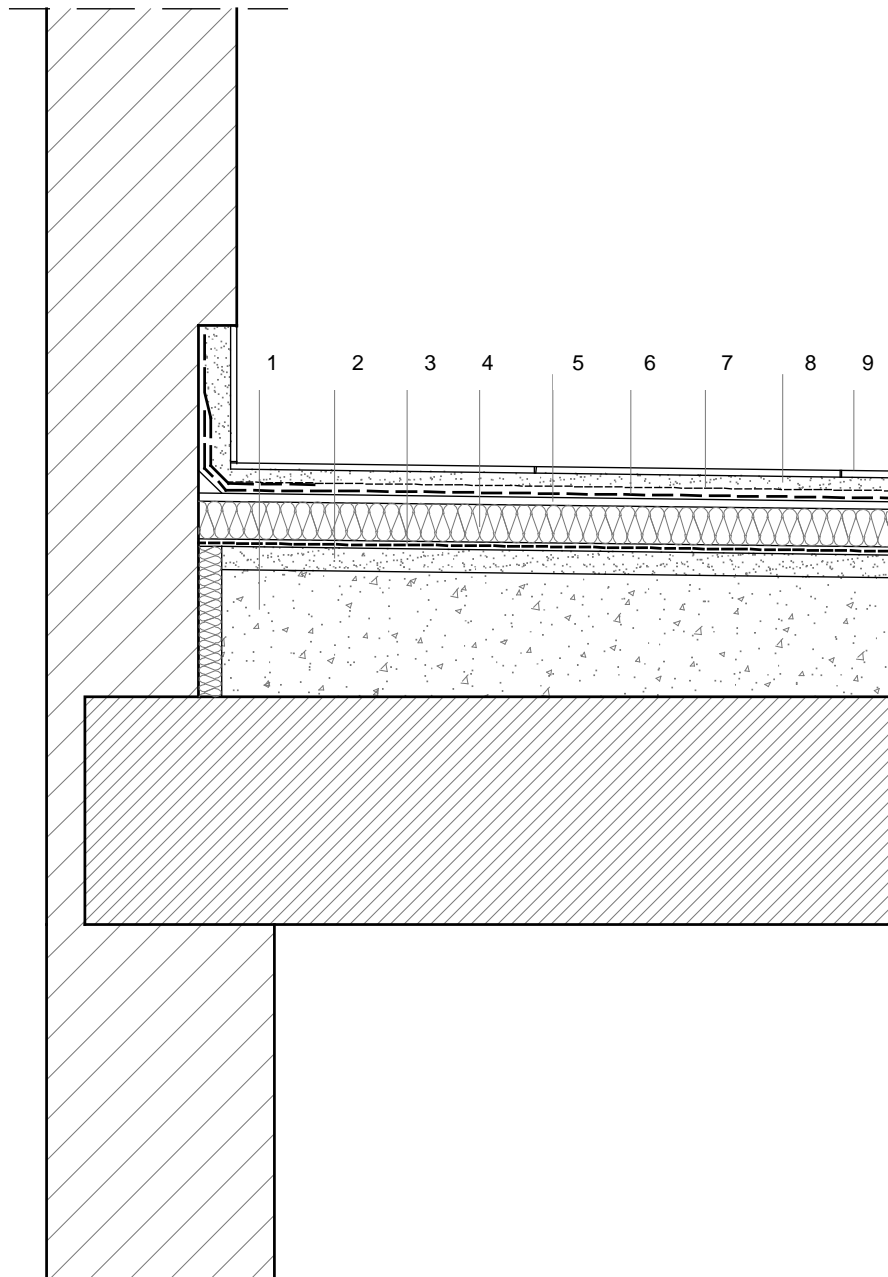
- **Cubiertas no ventiladas o calientes:** en este tipo de cubierta los elementos de cobertura y soporte descansan directamente sobre la base estructural, sin dejar cámara de ventilación entre los mismos.

Dentro de las cubiertas calientes podemos distinguir entre las **cubiertas tradicionales**, aquellas en que el aislamiento térmico se dispone por debajo de la lámina impermeable, de las denominadas **cubiertas invertidas**, aquellas en que el aislamiento se coloca sobre la impermeabilización. La principal ventaja de las invertidas radica en que el aislamiento protege a la lámina impermeable de las variaciones térmicas, causa principal de su degradación. Además, estas cubiertas no necesitan disponer de barrera cortavapor.

2.3.1. CUBIERTAS TRANSITABLES

2.3.1.1. CUBIERTAS TRANSITABLES CALIENTES

2.3.1.1.1. Cubierta con solado fijo



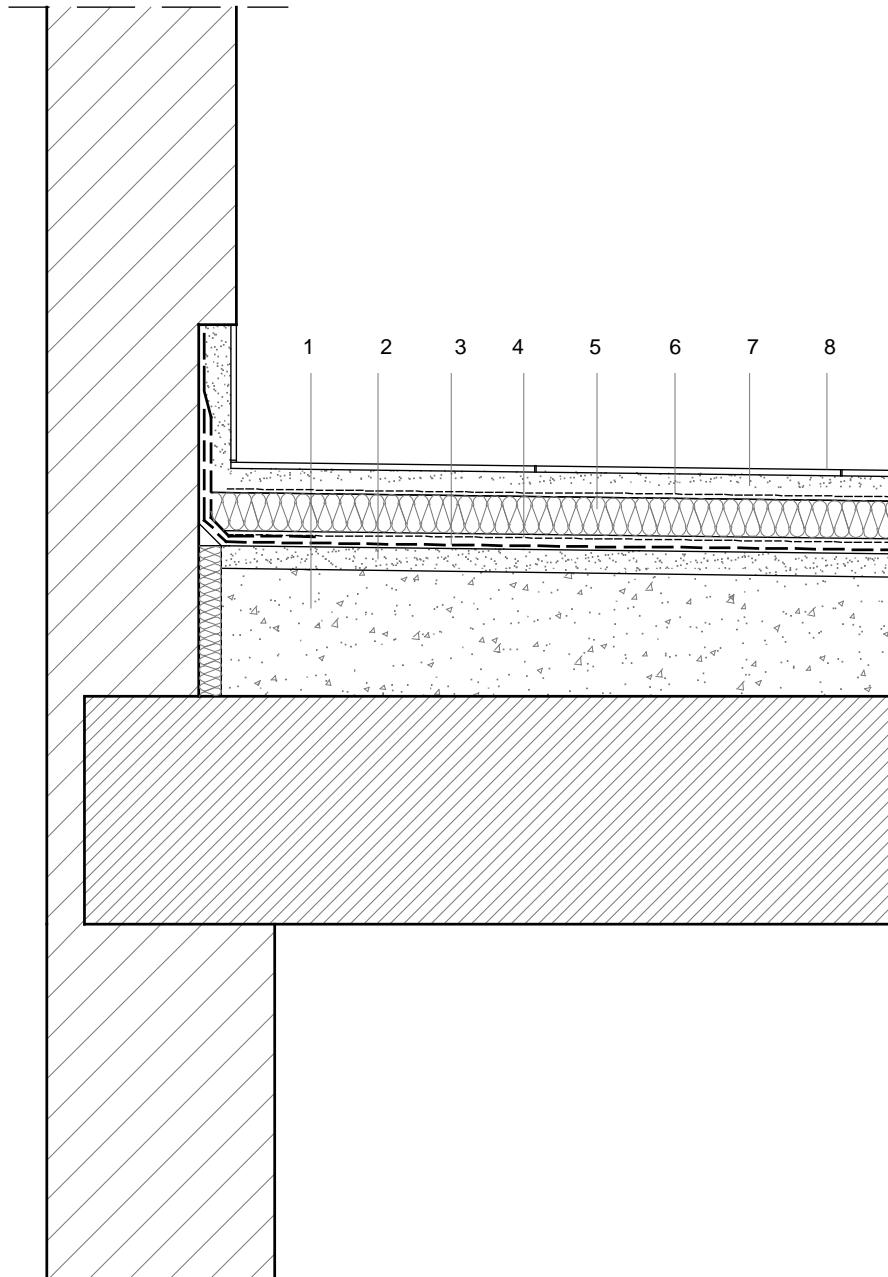
1. Formación de pendientes con hormigón de áridos ligeros. Pendiente mayor del 3%.
2. Capa de regularización de mortero de cemento.
3. Capa difusora del vapor o barrera de vapor.
4. Aislamiento térmico. Placas rígidas de material aislante ancladas mecánicamente o adheridas.
5. Capa separadora: mortero de cemento.
6. Lámina impermeable adherida.
7. Capa separadora: fieltro geotextil.
8. Mortero de agarre del solado fijo.
9. Solado fijo.
10. Sumidero.
11. Rejilla de protección.

Juntas: las juntas estructurales del edificio han de respetarse, se realizarán juntas en el perímetro y en cuadrícula de 5 metros en el acabado.



Junta en pavimento cerámico de cubierta plana transitable.

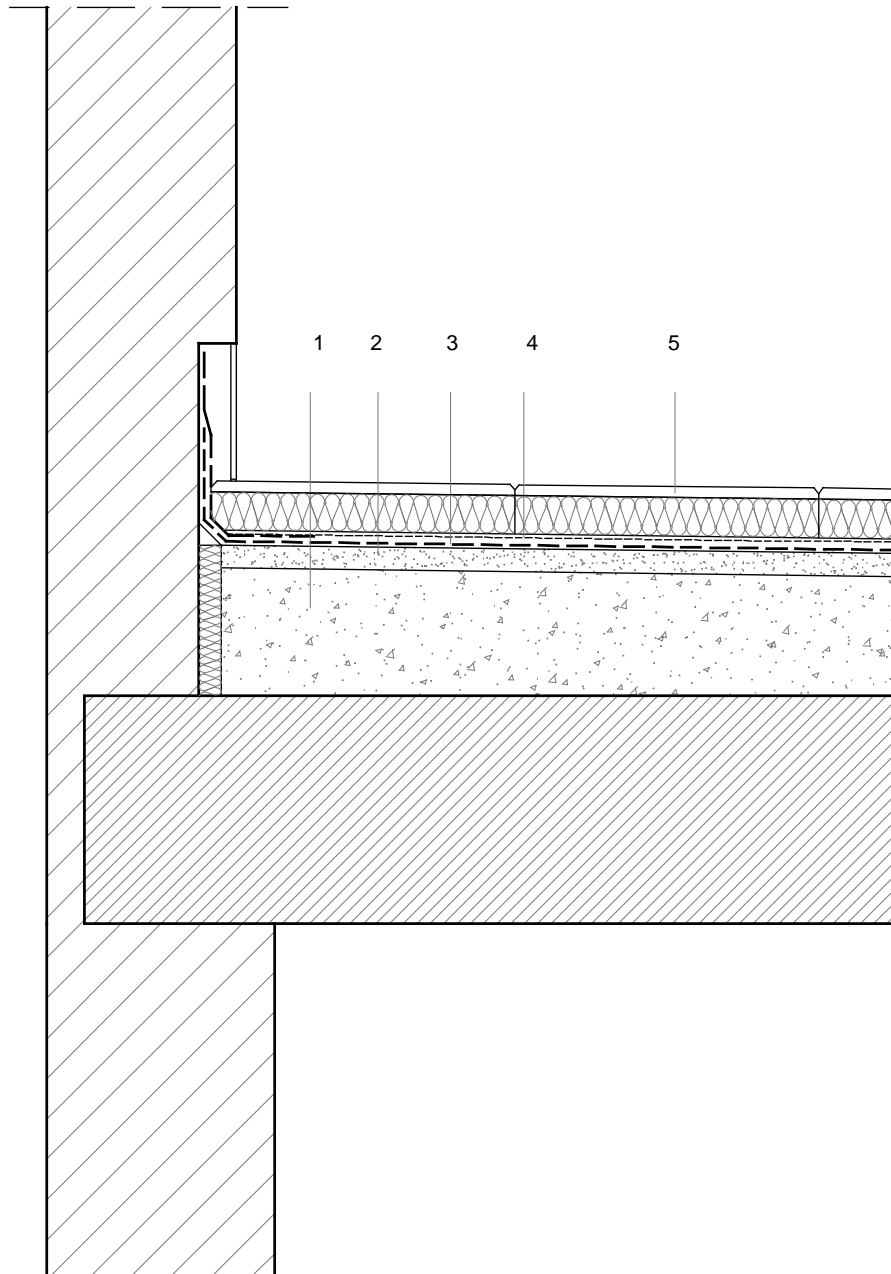
2.3.1.1.2. Cubierta invertida con solado fijo



1. Formación de pendientes con hormigón de áridos ligeros. Pendiente del 1 al 3%.
2. Capa de regularización de mortero de cemento.
3. Lámina impermeable adherida.
4. Capa separadora: fieltro geotextil.
5. Aislamiento térmico. Placas rígidas de material aislante ancladas mecánicamente o adheridas, sin mermar la continuidad de la lámina impermeable.
6. Capa separadora: fieltro geotextil.
7. Mortero de agarre del solado fijo.
8. Solado fijo.
9. Sumidero.
10. Rejilla de protección.

Juntas: las juntas estructurales del edificio han de respetarse, se dispondrán juntas cada 15 m en cubiertas con láminas bituminosas, se realizarán juntas en el perímetro y en cuadrícula de 5 metros en el acabado.

2.3.1.1.3. *Cubierta invertida con pavimento flotante (losa filtrante)*



1. Formación de pendientes con hormigón de áridos ligeros. Pendiente del 1 al 5%.
2. Capa de regularización de mortero de cemento.
3. Lámina impermeable.
4. Capa separadora: fieltro geotextil..
5. Capa de protección: losas filtrantes, losas prefabricadas machihembradas de poliestireno extruido con acabado de mortero de cemento de 1,5 cm de espesor.
6. Sumidero.
7. Rejilla de protección.

Juntas: las juntas estructurales del edificio han de respetarse. Las **juntas en la capa de protección** se materializan directamente por el sistema de apoyo de las baldosas, tanto entre ellas como en el perímetro.

Se trata de una tipología muy utilizada actualmente en rehabilitación, permitiendo la mejora de la eficiencia energética de la cubierta con una solución de gran simplicidad y sin aportar un peso añadido excesivo al edificio. Apta en cubiertas no transitables.

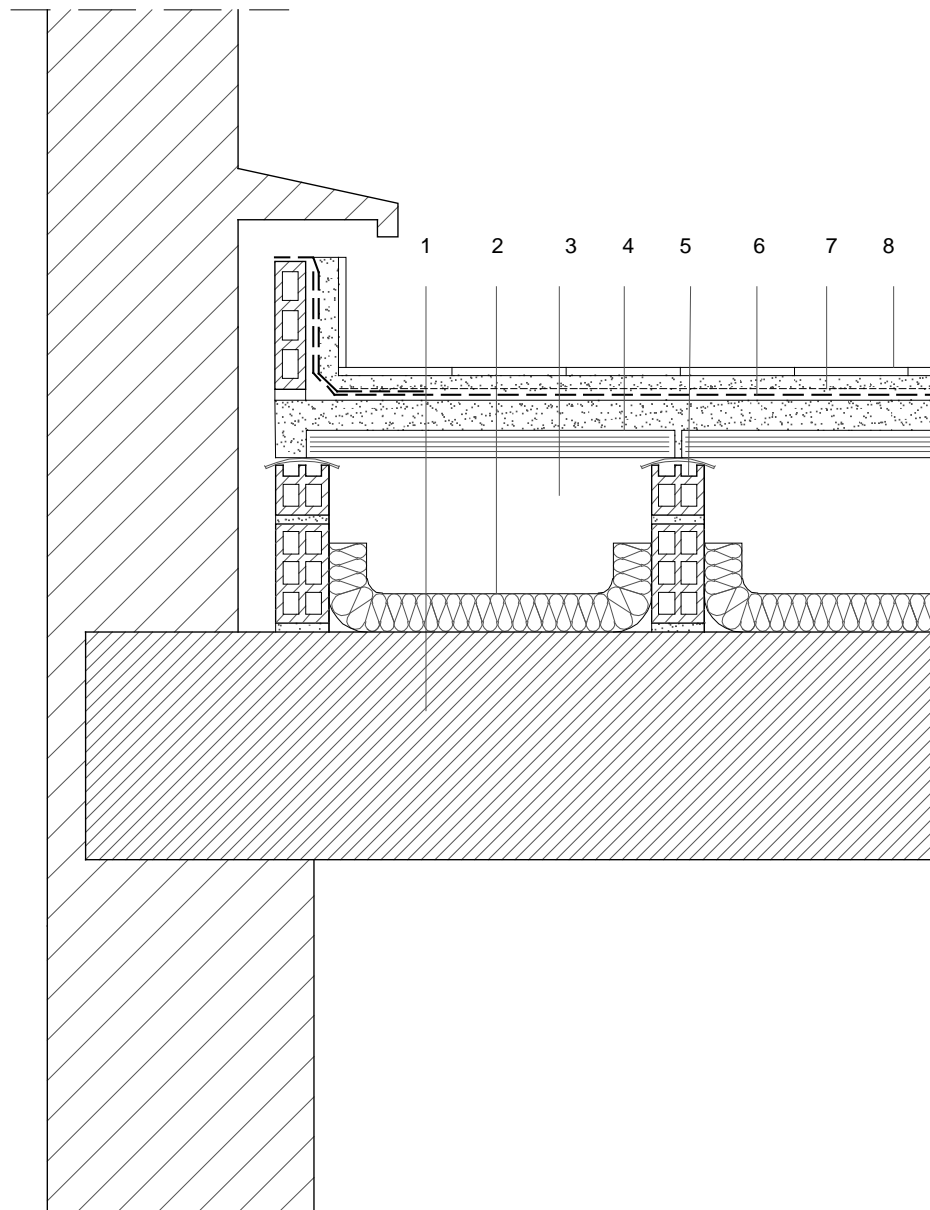


Cubierta invertida con losa filtrante. Ampliación del hospital de Lorca.

2.3.1.2. CUBIERTAS TRANSITABLES FRÍAS O VENTILADAS

2.3.1.2.1. Cubierta a la catalana

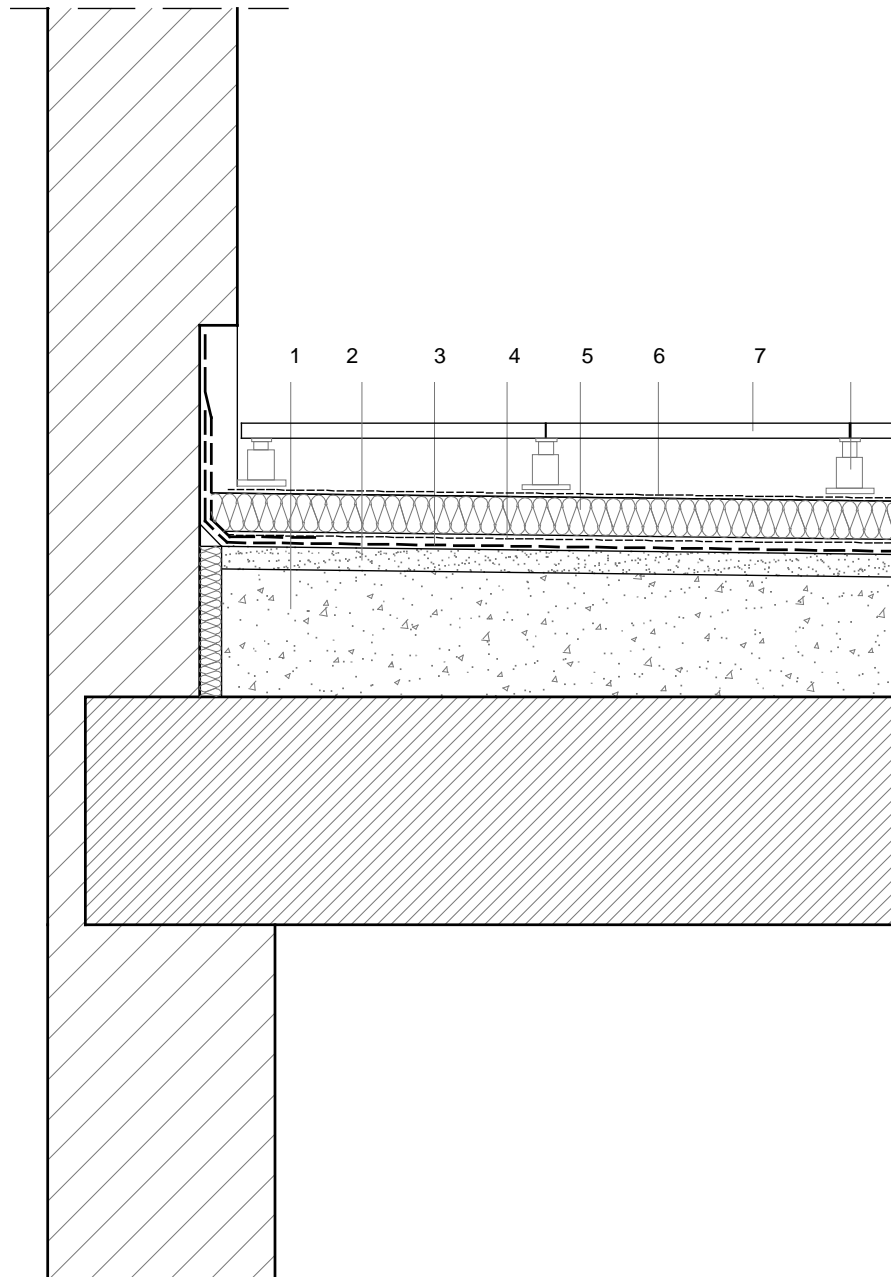
Se trata de una cubierta fría transitable, con solado fijo. Tiene muy poca pendiente, entre el 1 y el 3%, creada por un tablero de doble rasilla o de rasilla con capa de compresión sobre tabiquillos de ladrillo cerámico, por lo que es adecuada para su uso y disfrute.



1. Base estructural.
2. Aislamiento térmico. Manta aislante entre tabiquillos.
3. Cámara de aire ventilada.
4. Soporte: doble tablero de rasillas o tablero de rasillas con capa de compresión. Formación de pendientes (de 1 a 3%. Recomendable 2%).
5. Tabiquillos de ladrillo cerámico hueco.
6. Lámina impermeable.
7. Capa separadora: fieltro geotextil.
8. Capa de protección: una o dos capas contrapeadas de plaquetas cerámicas tomadas con mortero de cemento.
9. Sumidero.

Juntas: las **juntas estructurales** del edificio han de respetarse. Se realizarán **juntas en la capa de protección** en el perímetro y en cuadrícula de 5 metros.

2.3.1.2.2. Cubierta invertida con pavimento flotante sobre plots



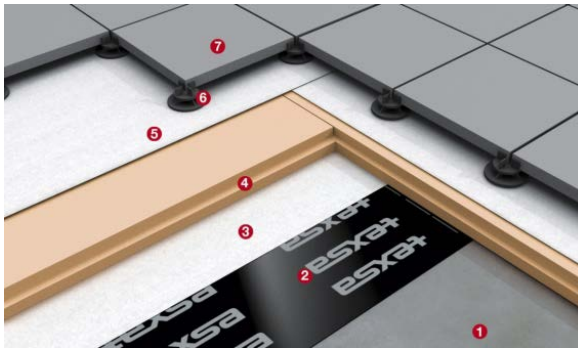
1. Formación de pendientes con hormigón de áridos ligeros. Pendiente del 1 al 5%.
2. Mortero de cemento de regulación.
3. Lámina impermeable.
4. Capa separadora: fieltro geotextil.
5. Aislamiento térmico. Placas rígidas de poliestireno extruido machihembradas.
6. Capa separadora: fieltro geotextil.
7. Baldosa reforzada.
8. Plots de apoyo del solado
9. Sumidero.
10. Rejilla de protección.

Juntas: las juntas estructurales del edificio han de respetarse,. Las **juntas en la capa de protección** se materializan directamente por el sistema de apoyo de las baldosas, tanto entre ellas como en el perímetro.

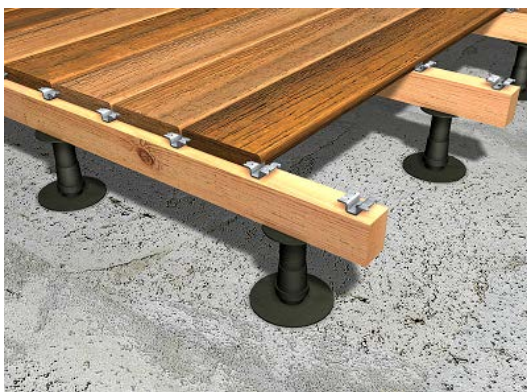
Se trata de una tipología de cubierta que permite conseguir un **pavimento totalmente horizontal**, en el que no se aprecian las pendientes que conducen el agua de lluvia hasta los sumideros, que se encuentran en la capa inferior, ocultas tras el pavimento, con las ventajas que ello proporciona en relación al uso y funcionalidad de la misma.

Los **materiales** de acabado pueden ser muy diversos, habitualmente placas cerámicas o de piedra natural. Suelen tener un espesor considerable y pueden ir reforzadas con mallas de fibra de vidrio que aumentan su resistencia, imprescindible por su forma de colocación en obra, apoyadas en las esquinas de la pieza.

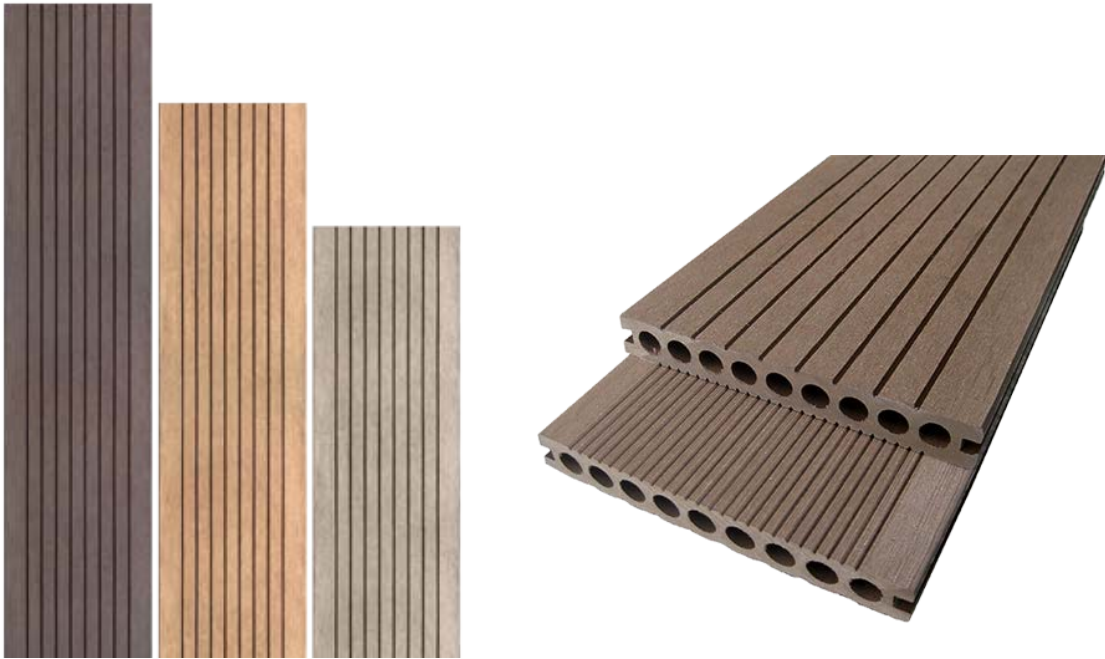
Así mismo, es habitual en la actualidad el uso de tarimas de madera (IPE) o sintéticas, que se disponen clipadas sobre rastreles apoyados en los plots.



Esquema de ejecución de una cubierta con solado flotante sobre plots. Fuente: <www.texsa.es> y <www.profesionales.todoconstruccion.com> [Consulta: 3 de febrero de 2016].



Tarima flotante de madera sobre plots. Fuente: <www.generadordeprecios.info> [Consulta: 11 de mayo de 2018].

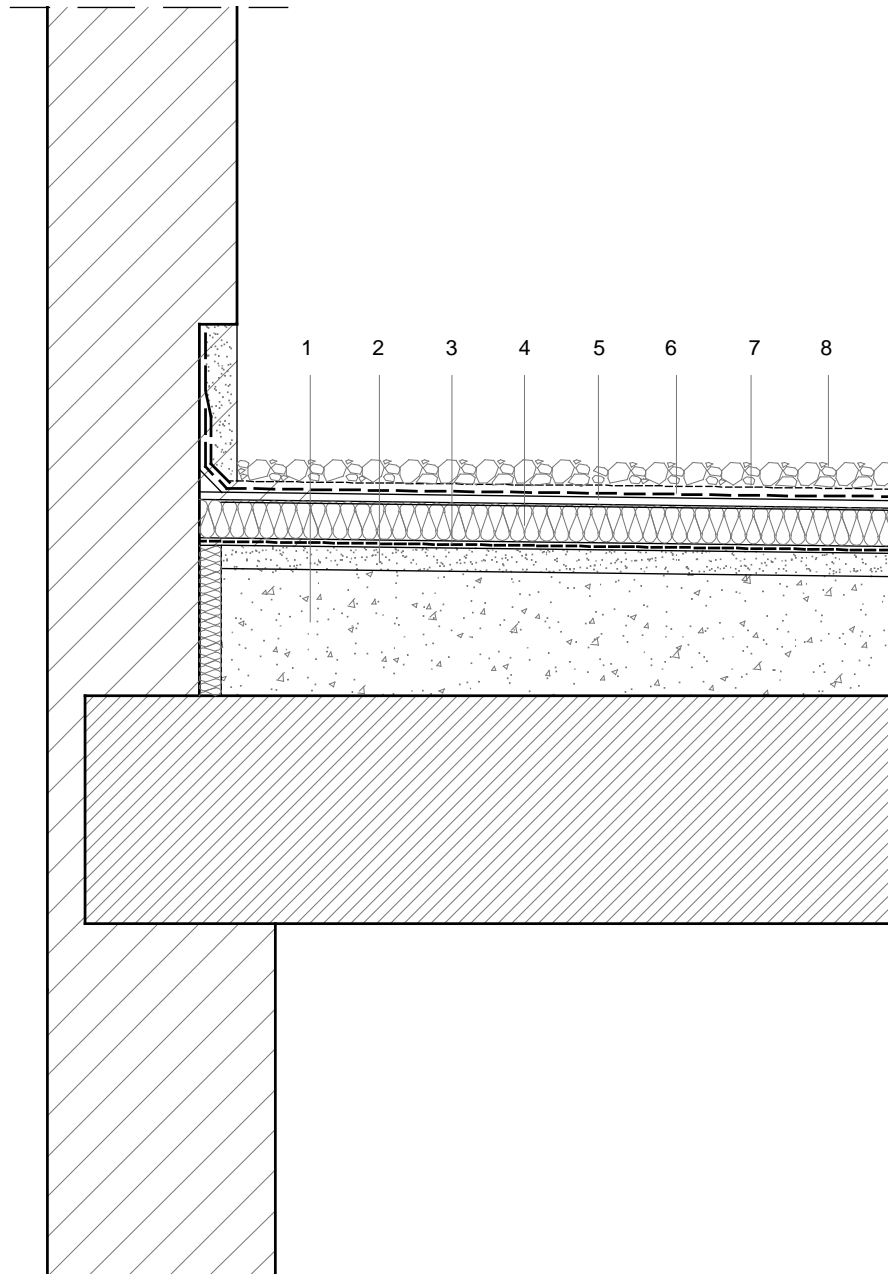


Tarimas sintéticas WPC para cubiertas planas sobre plots. Fuente: <www.peygran.com> [Consulta: 11 de mayo de 2018].

2.3.2. CUBIERTAS NO TRANSITABLES

2.3.2.1. CUBIERTAS NO TRANSITABLES CALIENTES

2.3.2.1.1. Cubierta con protección de grava



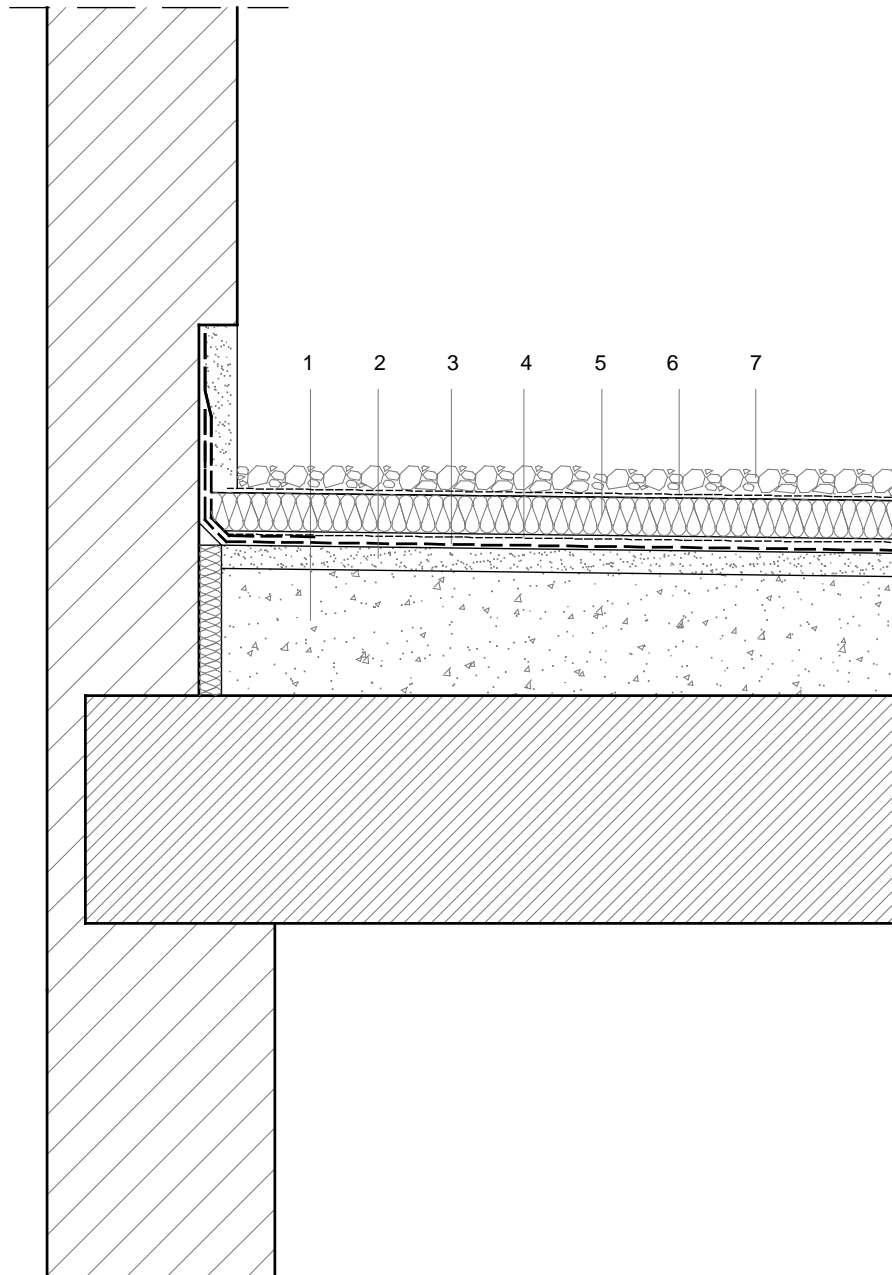
1. Formación de pendientes con hormigón de áridos ligeros. Pendiente mayor del 3%.
2. Capa de regularción de mortero de cemento.
3. Capa difusora del vapor o barrera de vapor.
4. Aislamiento térmico. Placas rígidas de material aislante ancladas mecánicamente o adheridas.
5. Capa separadora: mortero de cemento.
6. Lámina impermeable.
7. Capa separadora: fieltro geotextil.
8. Capa de protección: capa de canto rodado de $\varnothing 16/32$ mm. con un espesor mínimo de 5 cm.
9. Sumidero.
10. Rejilla de protección.

Juntas: las juntas estructurales del edificio han de respetarse.



Cubierta no transitable con acabado de grava. Fuente: <www.impaparcio.com> [Consulta: 11 de mayo de 2018].

2.3.2.1.2. Cubierta invertida con protección de grava



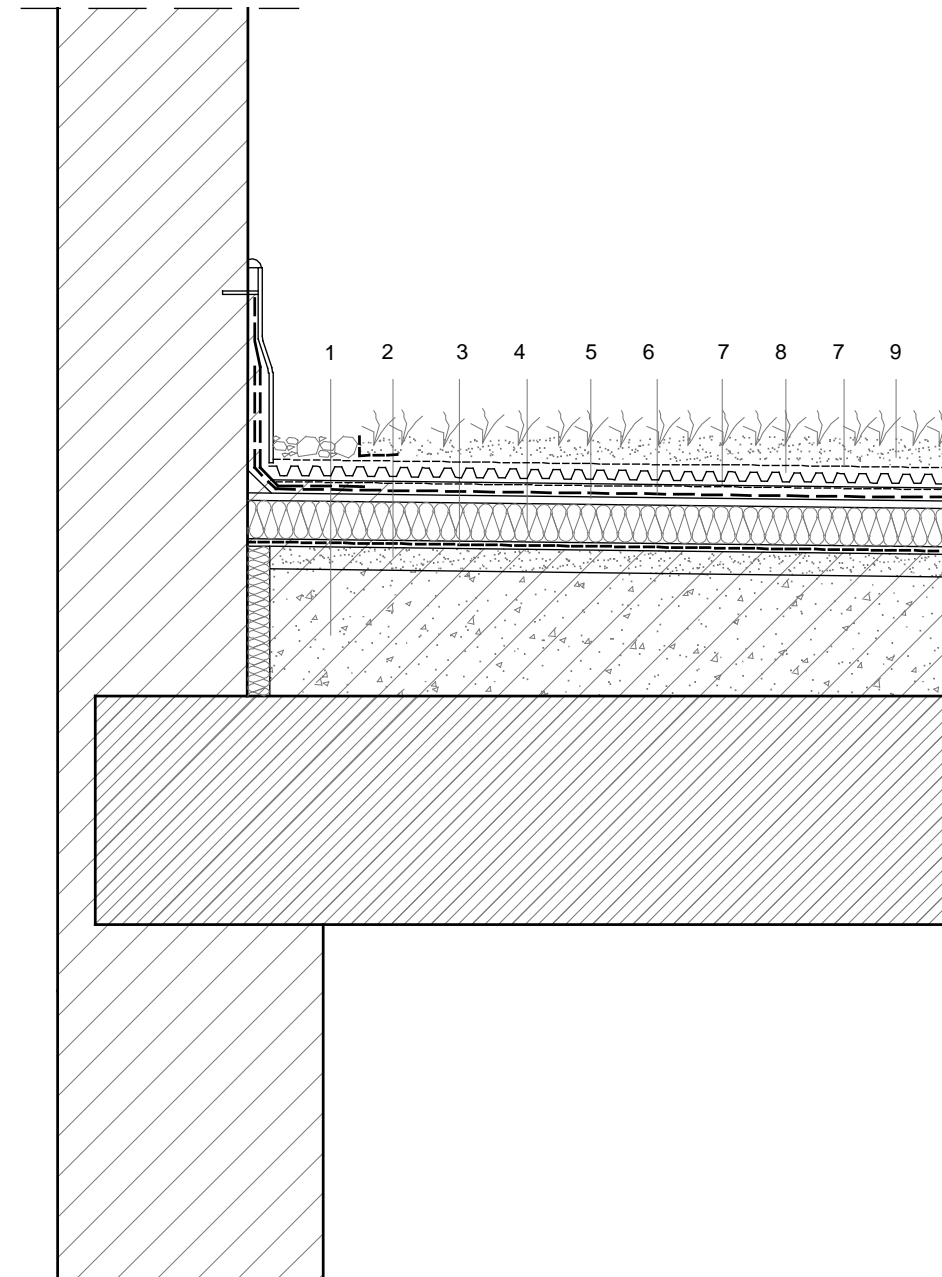
1. Formación de pendientes con hormigón de áridos ligeros. Pendiente mayor del 3%.
2. Capa de regularción de mortero de cemento.
3. Lamina impermeable.
4. Capa separadora: fieltro geotextil.
5. Aislamiento térmico. Placas rígidas de poliestireno extruido, machihembradas en los cantos.
6. Capa separadora: fieltro geotextil.
7. Capa de protección: Capa de canto rodado de $\varnothing 16/32$ mm. con un espesor mínimo de 5 cm.
8. Sumidero.
9. Rejilla de protección.

Juntas: las juntas estructurales del edificio han de respetarse.



Cubierta invertida no transitable con acabado de grava.

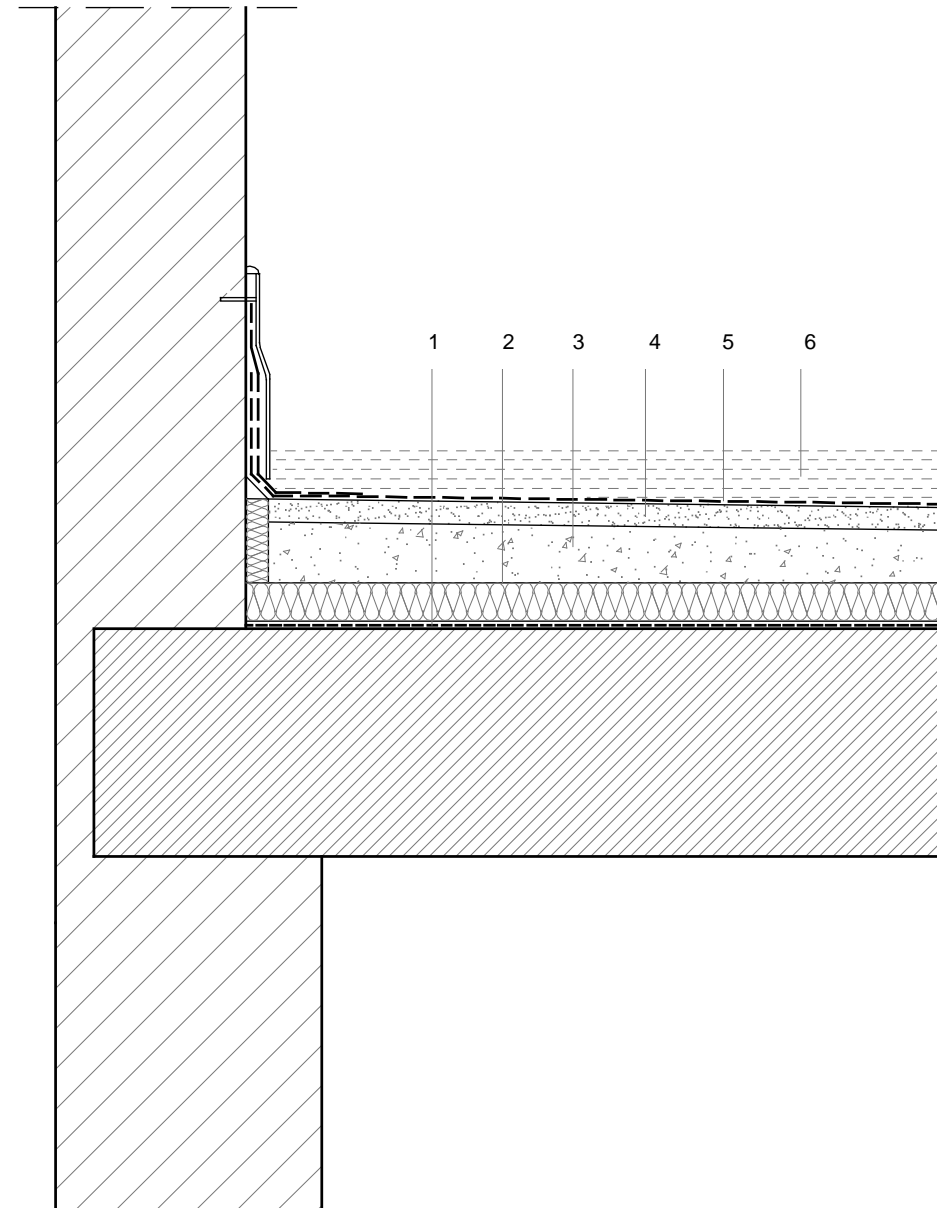
2.3.2.1.3. Cubierta ajardinada



1. Formación de pendientes con hormigón de áridos ligeros. Pendiente del 0 al 3%.
2. Capa de regularción de mortero de cemento.
3. Capa difusora del vapor o barrera de vapor.
4. Aislamiento térmico. Placas rígidas de material aislante ancladas mecánicamente o adheridas.
5. Capa separadora: mortero de cemento.
6. Lámina impermeable.
7. Capa separadora: fieltro geotextil.
8. Lámina drenante.
9. Capa de protección: manto de tierra vegetal. Altura entre 10-90 cm, según especies vegetales.
10. Sumidero.
11. Rejilla de protección.

Juntas: las **juntas estructurales** del edificio han de respetarse.

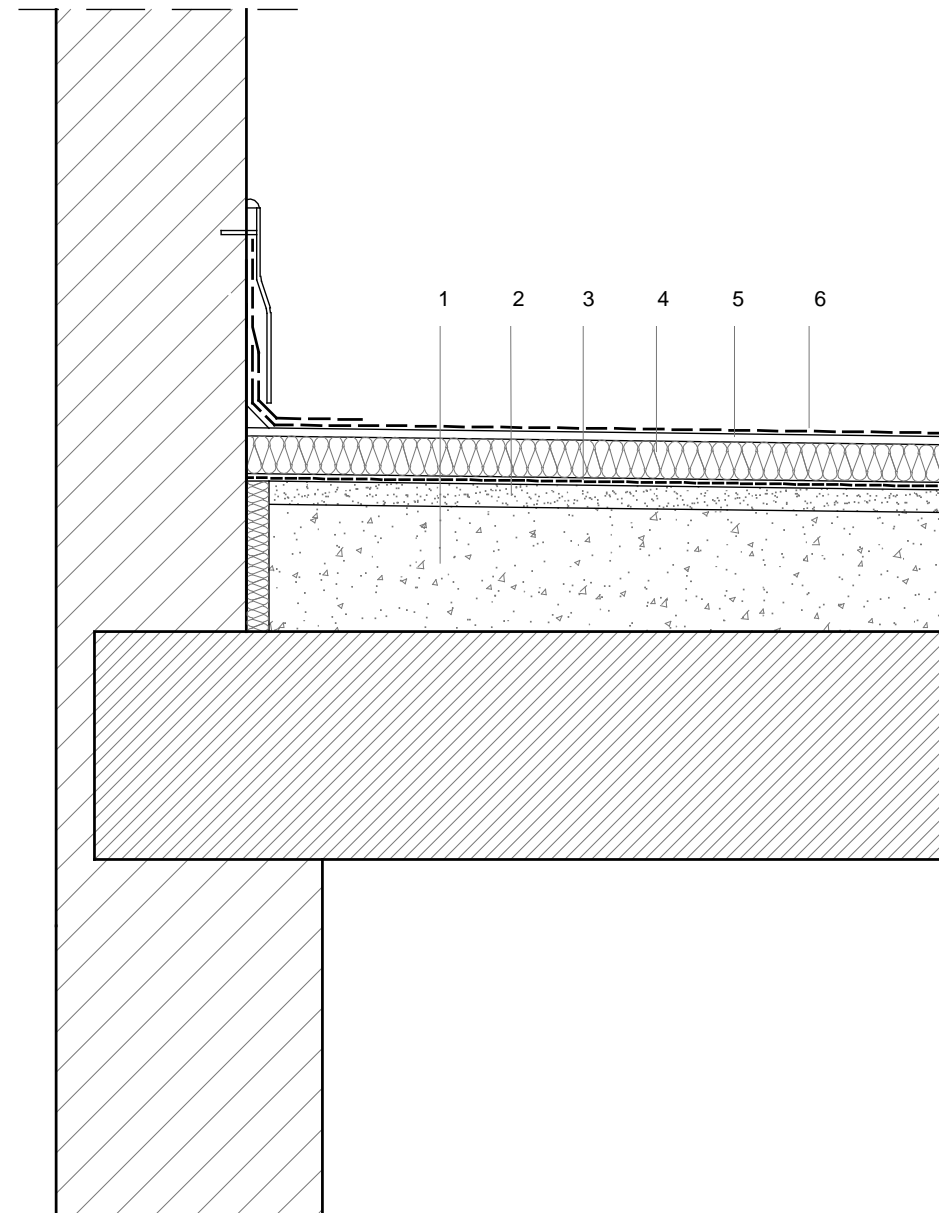
2.3.2.1.4. Cubierta inundada



1. Capa difusora del vapor o barrera de vapor.
2. Aislamiento térmico. Placas rígidas de material aislante ancladas mecánicamente o adheridas.
3. Capa de soporte. Hormigón o mortero de áridos ligeros para formación de pendiente (del 0 al 2%).
4. Capa de regulación de mortero de cemento.
5. Lámina impermeable.
6. Lámina de agua.
7. Sumidero.

Juntas: las **juntas estructurales** del edificio han de respetarse.

2.3.2.1.5. Cubierta con lámina impermeable autoprottegida

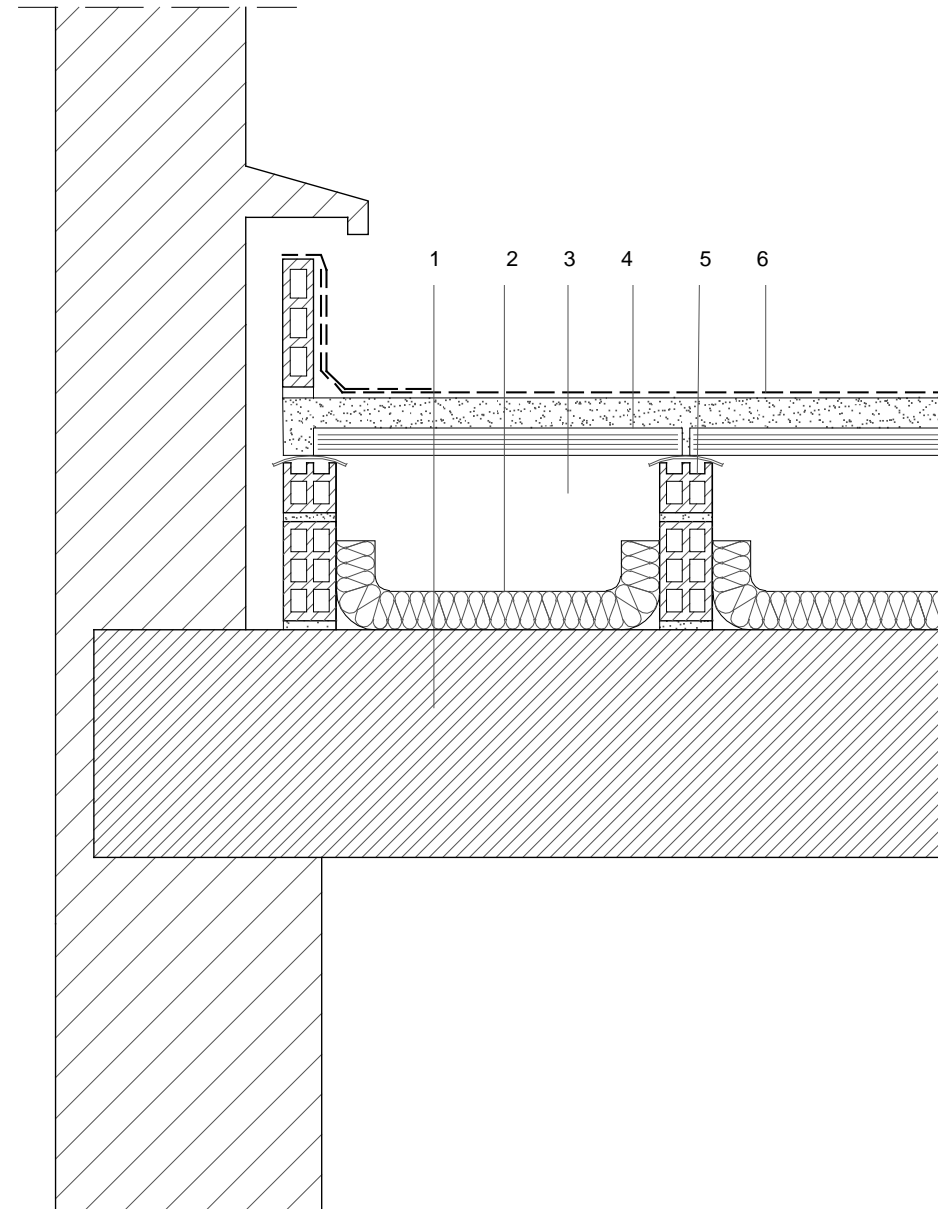


1. Capa de soporte. Hormigón o mortero de áridos ligeros para formación de pendiente (mayor del 3%).
2. Capa de regulación de mortero de cemento.
3. Capa difusora del vapor o barrera de vapor.
4. Aislamiento térmico. Placas rígidas de material aislante ancladas mecánicamente o adheridas.
5. Capa separadora: fieltro geotextilmortero de cemento
6. Lámina impermeable autoprottegida.
7. Sumidero.
8. Rejilla de protección.

Juntas: las **juntas estructurales** del edificio han de respetarse.

2.3.2.2. CUBIERTAS NO TRANSITABLES FRÍAS

2.3.2.2.1. Cubierta con lámina impermeable autoprotegida



1. Base estructural.
2. Aislamiento térmico. Manta aislante entre tabiquillos.
3. Cámara de aire ventilada.
4. Soporte: doble tablero de rasillas o tablero de rasillas con capa de compresión. Formación de pendientes (de 1 a 3%. Recomendable 2%).
5. Tabiquillos de ladrillo cerámico hueco.
6. Lámina impermeable autoprotegida.
7. Sumidero.

3. CUBIERTAS INCLINADAS

3.1. DEFINICIÓN

Las cubiertas inclinadas están constituidas por superficies planas de acusada pendiente, superior al 5% pero no superior a 60°, habitualmente visibles en la composición del conjunto del edificio, denominadas también **tejados**.



Cubiertas inclinadas.

Al igual que las cubiertas planas, están compuestas por un conjunto de capas con una función determinada:

- **Formación de pendientes:** la pendiente de la cubierta inclinada puede ser creada con el propio **forjado inclinado**, con **cerchas** de madera o metálicas, con **pares** de madera, con **viguetas** metálicas o de hormigón armado o pretensado, etc.



Cubierta inclinada sobre forjado inclinado.



Cubierta inclinada sobre correas apoyadas sobre cerchas.



Cubierta inclinada sobre pares de madera.



Cubierta inclinada sobre viguetas de hormigón pretensado.

También existe la posibilidad de materializar la formación de pendientes con elementos de albañilería, **tabiques palomeros** apoyados **sobre el forjado horizontal de cubierta**. Los tabiques palomeros se realizan con ladrillo cerámico hueco, dejando entre los mismos huecos que permiten el paso del aire entre los mismos. El remate se

realiza con una capa de mortero de regulación, que permite crear una base adecuada para el apoyo del tablero.



Formación de pendientes con tabiques palomeros de ladrillo cerámico hueco.



Remate de los tabiques palomeros con capa de mortero de cemento de regulación.

- **El tablero:** es el elemento que **da soporte** a los elementos de protección en todos aquellos casos en que la pendiente de la cubierta no está materializada por un forjado inclinado, caso en que el mismo ejerce de tablero. Puede estar compuesto por piezas cerámicas (doble hoja de rasillas o doble hoja de bardo), por la combinación de material cerámico y mortero de cemento (capa de bardo + capa de compresión de mortero de cemento armado con un ligero mallazo), por placas prefabricadas de hormigón, por paneles ondulados (tipo Onduline), por paneles sandwich, etc.



Tablero formado por doble hoja de bardo cerámico sobre tabique palomero.



Tablero formado por hoja de rasilla cerámico más capa de compresión de mortero de cemento sobre tabique palomero.



Tablero formado por hoja de bardo cerámico más capa de compresión de mortero de cemento sobre tabique palomero.



Tablero formado por panel sandwich de acabado ondulado para apoyo del elemento de protección.

También podemos encontrar tableros ejecutados con **materiales tradicionales** como la madera o el cáñamo, mezclado con argamasa de cal.



Tablero en construcción tradicional formado por caña y argamasa de cal sobre rollizos de madera.



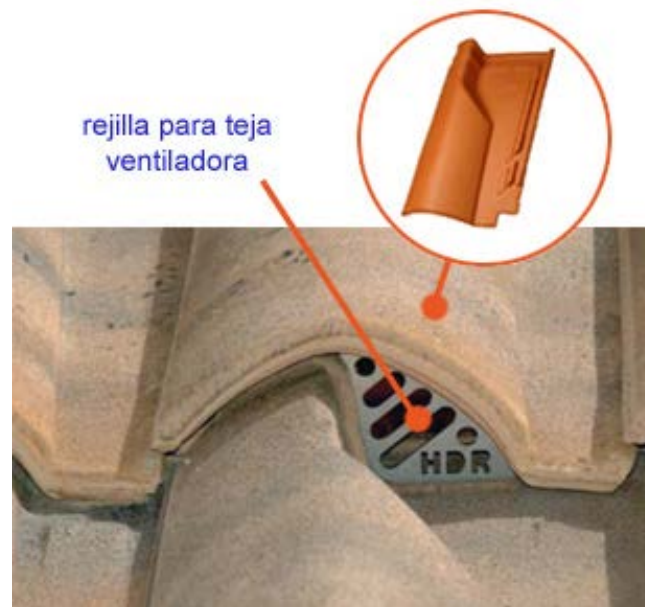
Tablero formado por tablas de madera sobre correas.

- **Cámara de aire:** en muchos casos las cubiertas inclinadas disponen de una cámara de aire ventilada entre el forjado horizontal de cubierta y el tablero inclinado. Dicha cámara debe estar ventilada para favorecer la eliminación del aire caliente en las épocas estivales, favoreciendo un correcto comportamiento higrotérmico de la cubierta. La ventilación se realizará a través de **tejas ventiladoras** o chimeneas de ventilación dispuestas convenientemente repartidas en el faldón de cubierta.



Faldón de cubierta inclinada con tejas ventiladoras repartidas en la superficie.

El formato de la teja ventiladora puede ser muy variado, en función también de si se trata de una teja curva, plana o mixta. En todo caso, el hueco de ventilación dispondrá de una rejilla de protección para evitar la entrada de animales.



Teja ventiladoa. Fuente: <<http://www.tejaceramicahdr.com>> [Consulta: 26 de abril de 2017].

Se favorecerá siempre que sea posible una **ventilación** cruzada mediante la disposición de aberturas en aleros, con piezas de remate especiales, o en muros verticales de cierre.



Ventilación por alero con pieza especial tipo rejilla. Fuente: <<http://www.tejascobert.com>> [Consulta: 26 de abril de 2017].



Aberturas de ventilación de la cámara de aire en muro de apoyo del tablero de cubierta.

- **Aislamiento termoacústico:** el aislamiento térmico que se dispone en las cubiertas inclinadas suele ser **tipo manta** (de fibra de vidrio, lana de roca, reflexivos, etc.), o **tipo planchas rígidas** clavadas o pegadas (de poliestireno, poliuretano, etc).



Aislamiento cubierta inclinada con mantas de fibra de vidrio. Fuente: <Ecogreenhome> [Consulta: 20 de mayo de 2018].



Aislamiento cubierta inclinada con aislamiento reflexivo. Fuente: <Arelux> [Consulta: 20 de mayo de 2018].



Aislamiento cubierta inclinada con planchas rígidas de poliestireno extruido. Fuente: <tectonica-online> [Consulta: 20 de mayo de 2018].

También se pueden disponer aislamientos continuos (sin juntas) como espumas de poliuretano o de corcho **proyectadas** sobre el tablero, o incluso sobre la teja, procedimiento habitual en rehabilitación. Este tipo de aislamientos ejercen también de lámina impermeabilizante al tratarse de una película continua.



Aislamiento cubierta inclinada con espuma de poliuretano proyectada. Fuente: <www.aisla.org> [Consulta: 20 de mayo de 2018].



Aislamiento cubierta inclinada con corcho proyectado. Fuente: <www.decoprojecandalucia.com> [Consulta: 20 de mayo de 2018].

En el caso en que el tablero esté ejecutado con un panel sandwich, el aislamiento viene incorporado en el mismo.



Aislamiento termoacústico incorporado en panel sandwich.

Es una buena práctica constructiva que el forjado de cubierta se resuelva con **bovedillas de poliestireno**, colaborando en el aislamiento térmico de la cubierta.



Forjado de cubierta resuelto con bovedillas de poliestireno.

- **Impermeabilización:** en el caso de las cubiertas inclinadas, la impermeabilización sólo es **necesaria en aquellos casos en que no se cumple con las pendientes mínimas** recomendadas en función del tipo de pieza o material de protección utilizado, definidas en la normativa.

		Pendiente mínima en %		
Teja ⁽³⁾	Teja curva	32		
	Teja mixta y plana monocal	30		
	Teja plana marsellesa o alicantina	40		
	Teja plana con encaje	50		
Pizarra		60		
Tejado ^{(1) (2)}	Cinc	10		
	Fibrocemento	Placas simétricas de onda grande	10	
		Placas asimétricas de nervadura grande	10	
		Placas asimétricas de nervadura media	25	
	Sintéticos	Perfiles de ondulado grande	10	
		Perfiles de ondulado pequeño	15	
		Perfiles de grecado grande	5	
	Placas y perfiles	Perfiles de grecado medio	8	
		Perfiles nervados	10	
		Galvanizados	Perfiles de ondulado pequeño	15
			Perfiles de grecado o nervado grande	5
	Perfiles de grecado o nervado medio		8	
	Aleaciones ligeras	Perfiles de nervado pequeño	10	
		Paneles	5	
		Perfiles de ondulado pequeño	15	
Perfiles de nervado medio	5			

- (1) En caso de cubiertas con varios sistemas de protección superpuestos se establece como pendiente mínima la menor de las pendientes para cada uno de los sistemas de protección.
- (2) Para los sistemas y piezas de formato especial las pendientes deben establecerse de acuerdo con las correspondientes especificaciones de aplicación.
- (3) Estas pendientes son para faldones menores a 6,5 m, una situación de exposición normal y una situación climática desfavorable; para condiciones diferentes a éstas, se debe tomar el valor de la pendiente mínima establecida en norma UNE 127.100 ("Tejas de hormigón. Código de práctica para la concepción y el montaje de cubiertas con tejas de hormigón") ó en norma UNE 136.020 ("Tejas cerámicas. Código de práctica para la concepción y el montaje de cubiertas con tejas cerámicas").

Pendientes mínimas de cubiertas inclinadas según el tipo de pieza de protección Tabla 2.10 del CTE DB HS, pág. HS1-20.

En caso de ser necesaria, pueden disponerse **láminas adheridas o no adheridas** colocadas bajo la protección.



Impermeabilización de cubierta inclinada. Fuente: <www.pizarraytejado.com> [Consulta: 20 de mayo de 2018].

En el caso de que el tablero esté ejecutado con **paneles ondulados** (Onduline), el mismo ejerce de lámina impermeabilizante.



Impermeabilización de cubierta con placas impermeabilizantes bajo teja (Onduline). Fuente: <teycubermadera.com> [Consulta: 20 de mayo de 2018].

Existen también láminas impermeables autoprotegidas, que ejercen de acabado de cubierta.



Impermeabilización de cubierta inclinada con lámina autoprotegida. Fuente: <<http://impertec.es>> [Consulta: 20 de mayo de 2018].

Así como recubrimientos de **poliuretano líquido**, aplicado con pistola o brocha, que crear una lámina impermeable también por el exterior.



Impermeabilización de cubierta inclinada con poliuretano líquido. Fuente: <www.generadordeprecios.info> [Consulta: 20 de mayo de 2018].

- **Barrera de vapor:** las cubiertas que no disponen de cámara de aire necesitan interponer una barrera de vapor para que el aislamiento térmico no entre en contacto con el vapor de agua procedente del interior, al igual que sucede en las cubiertas planas vistas anteriormente. Los materiales utilizados con los mismos expuestos anteriormente.

- **Capas separadoras:** tienen la función de separar materiales no compatibles o proteger a otra capa. Suelen estar constituidas por fieltros geotextiles o capas de mortero de cemento.

Se tendrán en cuenta a la hora de elegir el material que constituye la capa separadora las necesidades de las capas sucesivas. Por ejemplo, si es necesario disponer láminas impermeabilizantes adheridas o es necesario clavar paneles aislantes o elementos de protección como las tejas, será necesario recurrir a capas de mortero de cemento, que tengan espesor suficiente para poder dar soporte adecuado a estos elementos, sin dañar los dispuestos en las capas inferiores.

- **Protección:** es el elemento final de acabado de la cubierta inclinada. Puede estar constituido por **tejas** de distintos materiales y geometría (tejas cerámicas curvas, planas o mixtas, tejas de pizarra o de hormigón prefabricado) o por **planchas metálicas** (cinc, galvanizados o aleaciones ligeras), de **fibrocemento sin amianto o sintéticas**.



Protección de cubierta inclinada con teja cerámica curva,



Protección de cubierta inclinada con teja cerámica mixta.



Protección de cubierta inclinada con teja cerámica plana. Fuente: <www.tejascobert.com> [Consulta: 20 de mayo de 2018].



Faldón de cubierta inclinada acabado con teja de pizarra. Fuente: <aistercel.es> [Consulta: 20 de mayo de 2018].



Faldón de cubierta inclinada acabado con teja mixta de hormigón. Fuente: <http://casamanriquesrl.com> [Consulta: 20 de mayo de 2018].

Los **sistemas de fijación**, pelladas de mortero, ganchos, grapas, tornillos, etc.), y el **solape entre piezas** (entre 7 y 15 cm) dependerán de la pendiente de la cubierta y de factores geográficos como la zona eólica, la altitud o el riesgo de tormentas.



Teja cerámica curva tomada con pellada de mortero de cemento. Fuente: <tectonica-online> [Consulta: 20 de mayo de 2018].



Cubierta inclinada de teja cerámica mixta tomada con pelladas de mortero de cemento.



Ganchos de fijación depara tejas. Fuente: <es.onduline.com> [Consulta: 20 de mayo de 2018].



Teja cerámica mixta con orificios para su fijación. Fuente: <http://www.recypack.com.ar> [Consulta: 20 de mayo de 2018].

Se fijarán una cantidad mínima de piezas que garanticen la la estabilidad del elemento de protección.

- **Canalización y evacuación del agua de lluvia:** en las cubiertas inclinadas el agua de lluvia discurre por los faldones inclinados, por las canales, hasta encontrar el punto más bajo, el alero, siguiendo las líneas de máxima pendiente.

En el encuentro entre faldones encontramos **puntos singulares** de la cubierta, como son la **cumbrera** (línea horizontal de intersección entre faldones o entre un faldón y un plano vertical, paralela a las líneas de nivel del plano en su punto más alto), las **limatesas** (línea inclinada intersección entre faldones que divide agua hacia los mismos) y las **limahoyas** (línea inclinada intersección entre faldones que recoge agua vertida por los mismos).

Las **cumbreras** se ejecutan de forma que protejan el remate superior de los faldones que se introducen bajo ellas. En el caso de las cubiertas con acabado de teja, tanto las canales como las cobijas deben intrucirse bajo la cumbrera, para garantizar que no se producen filtraciones de agua, disponiendo una lámina impermeable y piezas especiales de cierre del hueco creado por las canales (interposición de cuñas o relleno de huecos con mortero de cemento).



Impermeabilización de cumbrera. Fuente: <www.tejascobert.com> [Consulta: 20 de mayo de 2018].



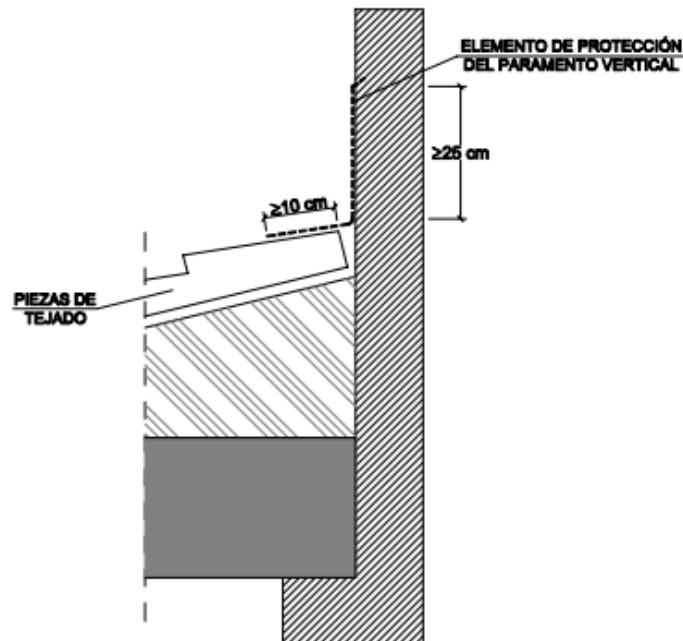
Cuñas de relleno de las canales bajo cumbrera. Fuente: <www.isotecsl.com> [Consulta: 20 de mayo de 2018].

Igualmente sucede cuando, en lugar de encontrarse dos faldones inclinados, se encuentra un **faldón con un paramento vertical**.



Cumbrera resuelta con teja curva, encuentro entre faldón y antepecho de cubierta plana.

En el caso de que el faldón intersece con un paramento vertical que tiene continuidad por encima del remate superior de la cubierta inclinada, se garantizará la estanqueidad y se protegerá el paramento mediante la disposición de una lámina impermeable que solapará por encima de la cubierta un mínimo de 10 cm, y ascenderá por el cerramiento un mínimo de 25 cm. El remate superior de dicha lámina impermeable se protegerá del mismo modo que en el caso de las cubiertas planas (con una roza o un rebaje del paramento, o con un perfil metálico fijado a la pared, sellado en su parte superior).



Encuentro de faldón de cubierta inclinada con paramento vertical según Tabla 2.16 del CTE DB HS, pág. HS1-27.

Las **limatesas** se resuelven de forma parecida a la cumbre, con el inconveniente de que el encuentro con los faldones conlleva la adaptación y corte de las tejas debido a la inclinación.



Ejecución de limatesa en cubierta inclinada con teja cerámica mixta. Fuente: <www.youtube.com> [Consulta: 20 de mayo de 2018].

En el caso de las **limahoyas**, se dispondrá de un babero metálico habitualmente por el que discurrirá el agua, embebido mínimo 10 cm bajo los faldones. La canales volarán sobre la limahoya un mínimo de 5 cm, y la distancia entre las de un faldón y el opuesto no será inferior a 20 cm.



Limahoya con babero metálico. Fuente: <www.generadordeprecios.info> [Consulta: 20 de mayo de 2018].

El agua discurre por los faldones (por las canales) y por las limahoyas hasta encontrar el punto más bajo de la cubierta, el **alero**, donde se produce el desagüe. El agua debe ser recogida en este punto para reconducirla hacia los puntos de evacuación, mediante **canalones** corridos, **vistos o exteriores** (en el caso de situarse en la línea del alero) **u ocultos o interiores** (en caso de retranquearlos a un punto interior en la base del faldón o junto a un paramento vertical).

La **pendiente del canalón** para que se produzca una correcta evacuación depende del material, pero debe ser del 1% como mínimo.

Igualmente, en los canalones exteriores los **puntos de sujeción** variarán en cada caso, en función del peso que deban soportar.

Irán remetidos al menos **15 cm bajo el alero de teja** y conectarán con las bajantes de pluviales, que a su vez realizarán la acometida a la red horizontal mediante sumidero sifónico, o verterá el agua a zonas ajardinadas o a depósitos para su almacenamiento y reutilización (para riego, etc.).



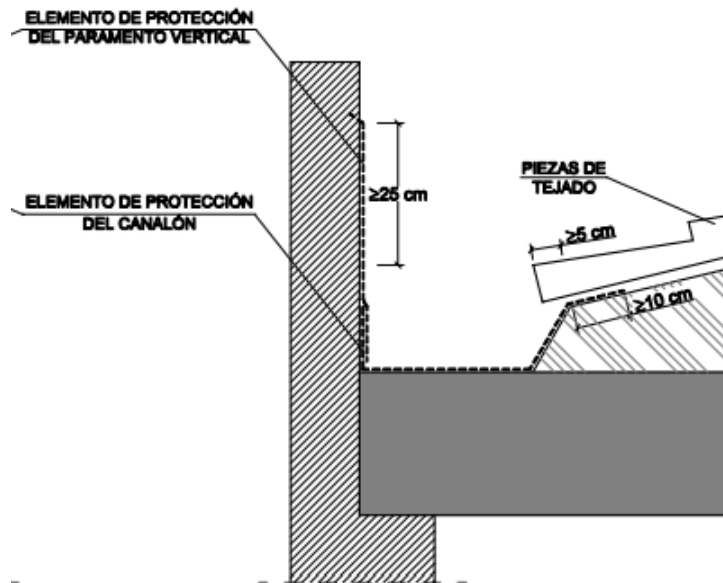
Canalón exterior en cubierta inclinada con teja cerámica,

Los **canalones interiores** dispondrán de una lámina impermeable que cubra el remate del faldón que da al canalón, solando un mínimo de 10 cm por encima de la teja, garantizando la estanqueidad de la cubierta en este punto.



Cuñas de relleno de las canales bajo cumbre. Fuente: <www.generadordeprecios.info> [Consulta: 20 de mayo de 2018].

Así mismo, cuando estén ubicados **junto a un cerramiento vertical**, dispondrán de una lámina impermeable de protección del paramento, que ascenderá sobre el mismo un mínimo de 25 cm por encima del límite del alero. Dicha lámina se rematará nuevamente de la forma explicada en casos anteriores.



Protección de paramento vertical junto a canalón interior según Tabla 2.17 del CTE DB HS, pág. HS1-29.

Para que se produzca un correcto vertido del agua, sobre el canalón o al vacío, **las canales volarán un mínimo de 5 cm** sobre el extremo del alero o sobre el canalón. Las cobijas pueden acompañar a las canales en el vuelo existente, o permanecer enrasadas con el plano del alero.



Vuelo de la canal mínimo de 5 cm sobre la línea de cornisa o alero, con vertido al exterior,



Remate de alero con canales voladas y cobijas enrasadas con el plano del alero,

Es importante que, con tal de evitar la obturación de los **canalones y limahoyas**, éstos se sometan a las operaciones de **limpieza y mantenimiento** pertinentes, disponiendo a su vez de mecanismos para evitar la deposición de suciedad, hojas, etc. en su interior, como rejillas o mallas.



Rrejilla de protección de canalón exteior. Fuente: <youtube.com> [Consulta: 20 de mayo de 2018].



Rejilla de protección de canalón interior u oculto. Fuente: <<http://loscanalones.blogspot.com.es>> [Consulta: 20 de mayo de 2018].

3.2. TIPOS DE CUBIERTAS INCLINADAS

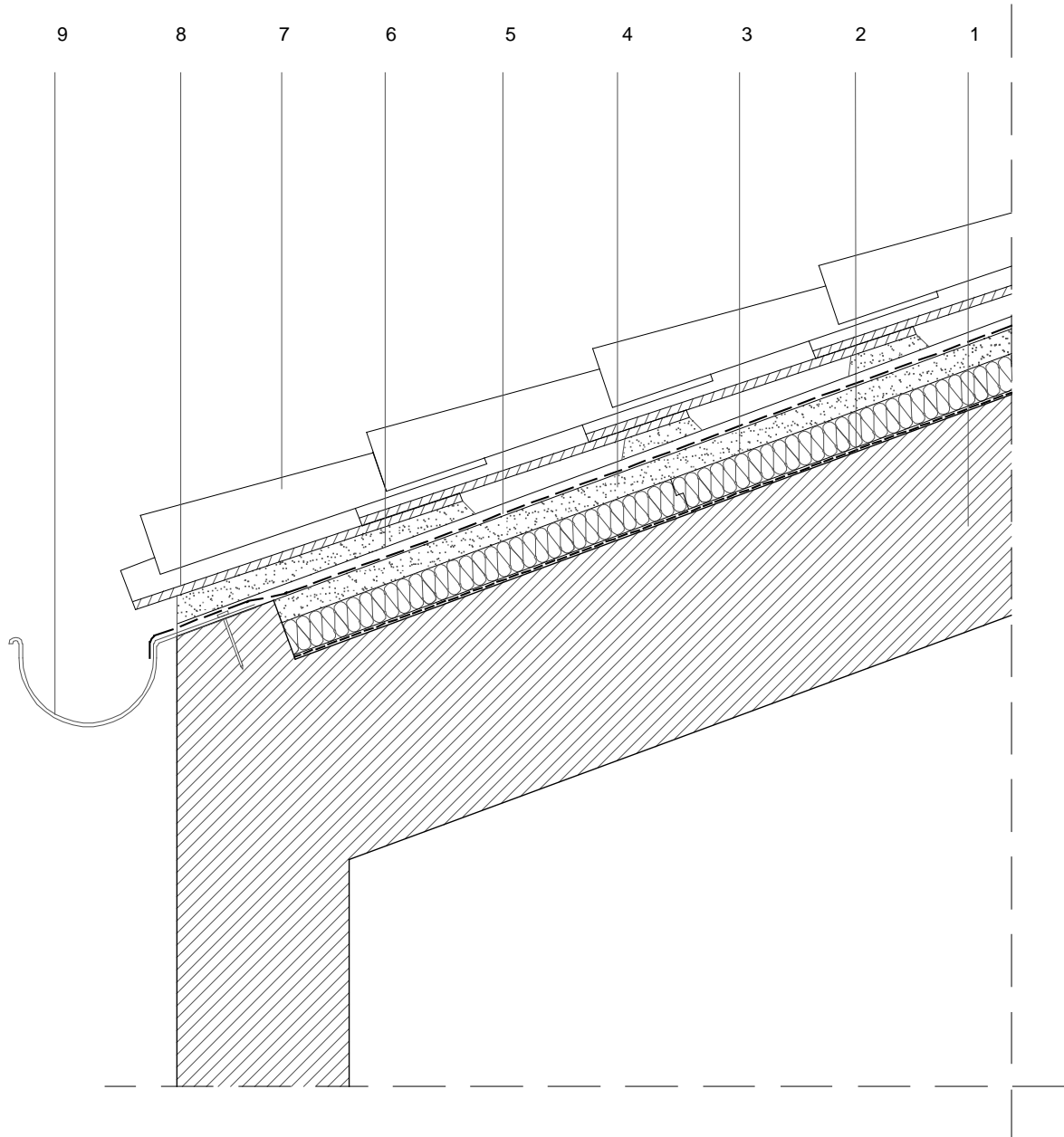
Atendiendo a criterios relacionados con el comportamiento térmico e higrotérmico, las cubiertas inclinadas se pueden clasificar en:

- **Cubiertas inclinadas no ventiladas o calientes:** aquellas que no disponen de cámara ventilada entre sus capas. Suelen tener como base estructural un forjado inclinado. En función de la disposición entre la lámina impermeable y el aislamiento termoacústico, podemos distinguir entre cubiertas calientes convencionales o invertidas.

- **Cubiertas inclinadas ventiladas o frías:** aquellas que disponen de una cámara ventilada entre la base estructural y el tablero. Suelen tener como base estructural un forjado horizontal.

3.2.1. CUBIERTAS CALIENTES

3.2.1.1. CUBIERTAS CALIENTES CONVENCIONALES

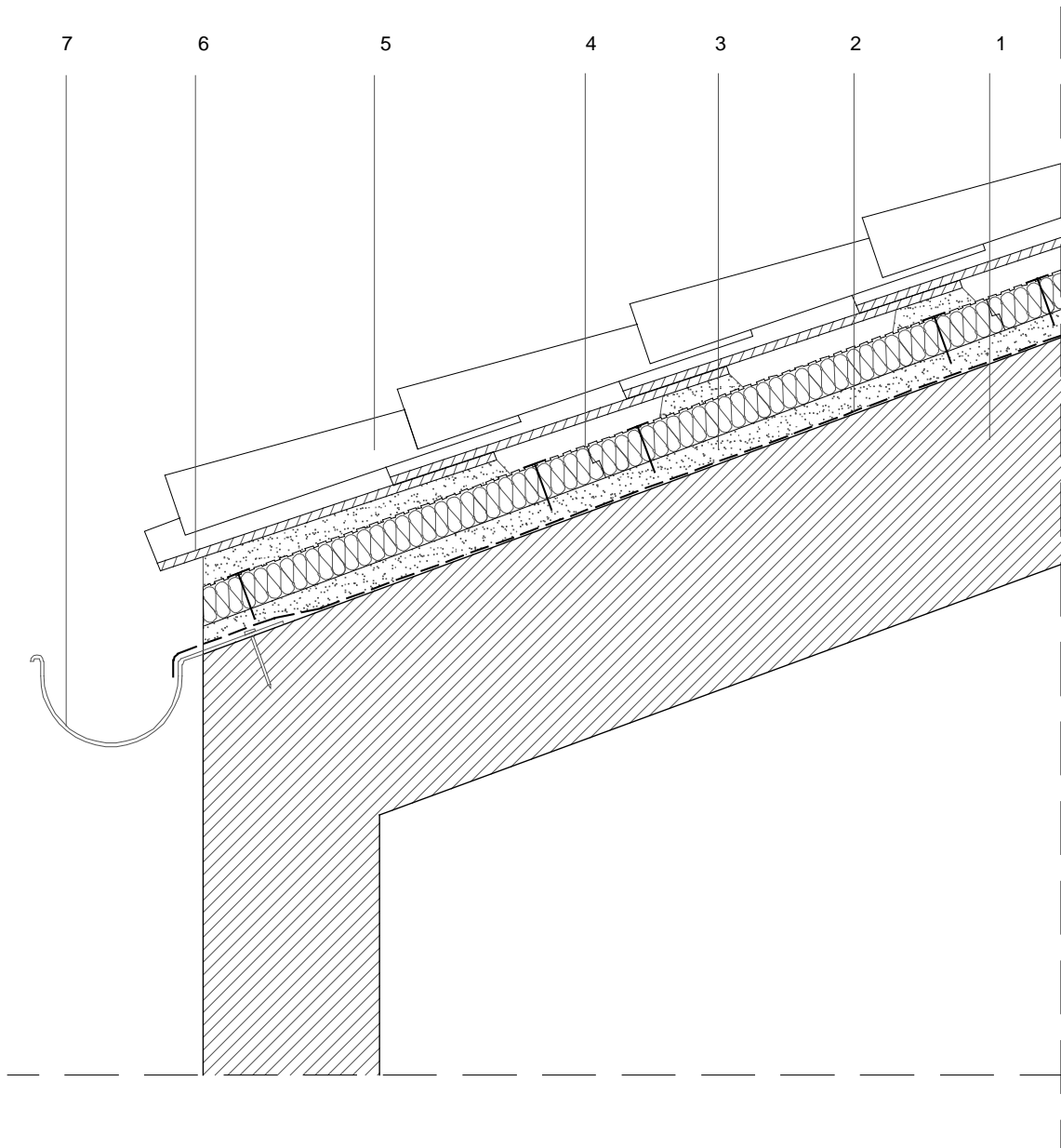


1. Base estructural.
2. Barrera de vapor.
3. Aislamiento térmico. Plancha rígida o manta.
4. Capa separadora: mortero de cemento (3-4 cm).
5. Lámina impermeable.
6. Capa separadora: mortero de cemento (1 cm).
7. Teja cerámica curva: cobija.
8. Teja cerámica curva: canal.
9. Canalón exterior.
10. Cumbre.

Esta tipología de cubierta necesita disponer de una barrera cortavapor para proteger al aislamiento térmico por su cara inferior, en el caso de utilizar un aislamiento que merme su eficiencia en contacto con la humedad.

El tipo de pieza de cobertura puede ser cualquiera de las estudiadas en el apartado anterior.

3.2.1.2. CUBIERTAS CALIENTES INVERTIDAS



1. Base estructural.
2. Lámina impermeable.
3. Capa separadora: mortero de cemento (3-4 cm).
4. Aislamiento térmico. Plancha rígida con acabado ranurado.
5. Teja cerámica curva: cobija.
6. Teja cerámica curva: canal.
7. Canalón exterior.
8. Cumbreira.

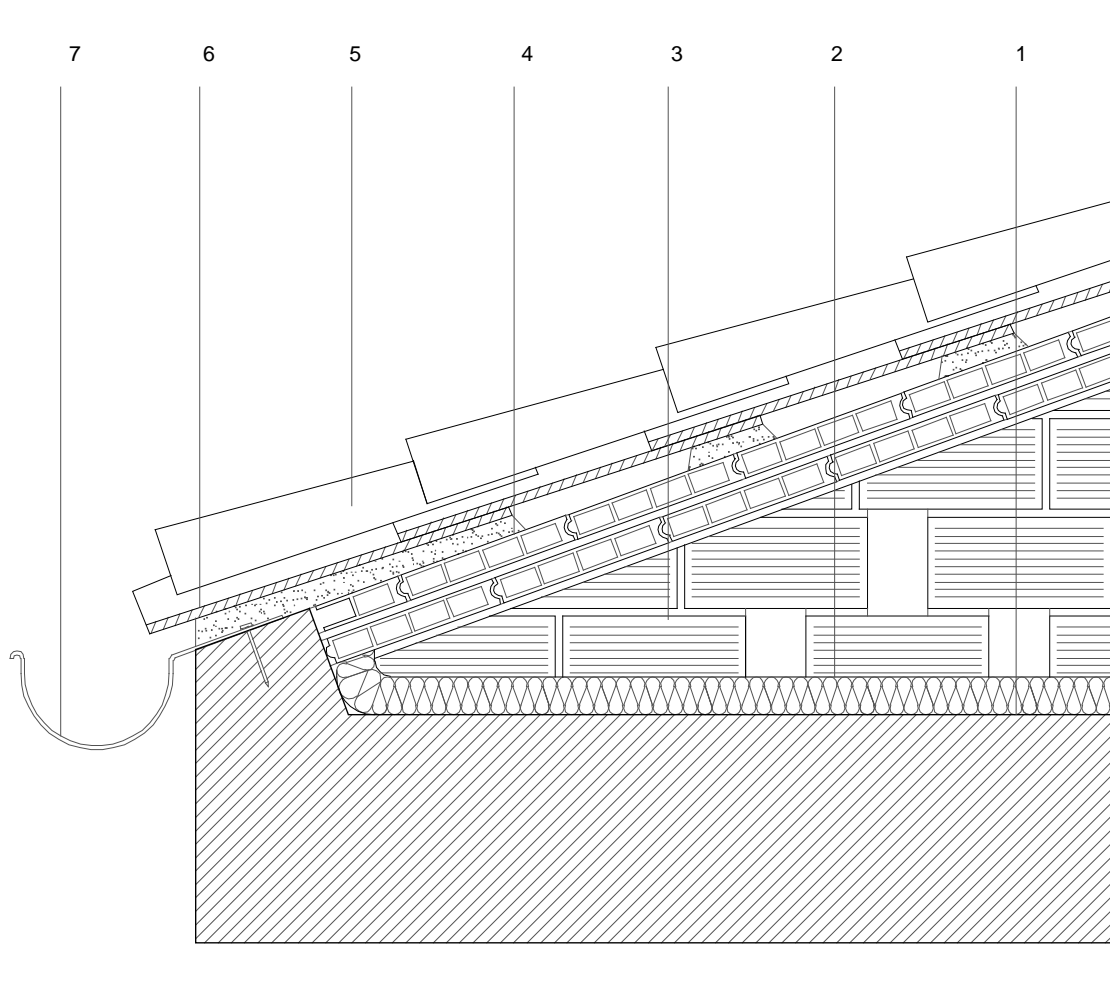
Esta tipología de cubierta no necesita disponer de una barrera cortavapor, puesto que la lámina impermeable va por debajo del aislamiento térmico.

El aislamiento térmico utilizado tiene formato de planta rígida, machihembrada, con un acabado ranurado en la cara superior para favorecer el agarre del mortero de toma de las piezas de protección. Va encolado y clavado en cuatro puntos cercanos a las esquinas, por lo que necesita una capa separadora de espesor suficiente que garantice la integridad de la lámina impermeable inferior.

El tipo de pieza de cobertura puede ser cualquiera de las estudiadas en el apartado anterior.

3.2.2. CUBIERTAS FRÍAS

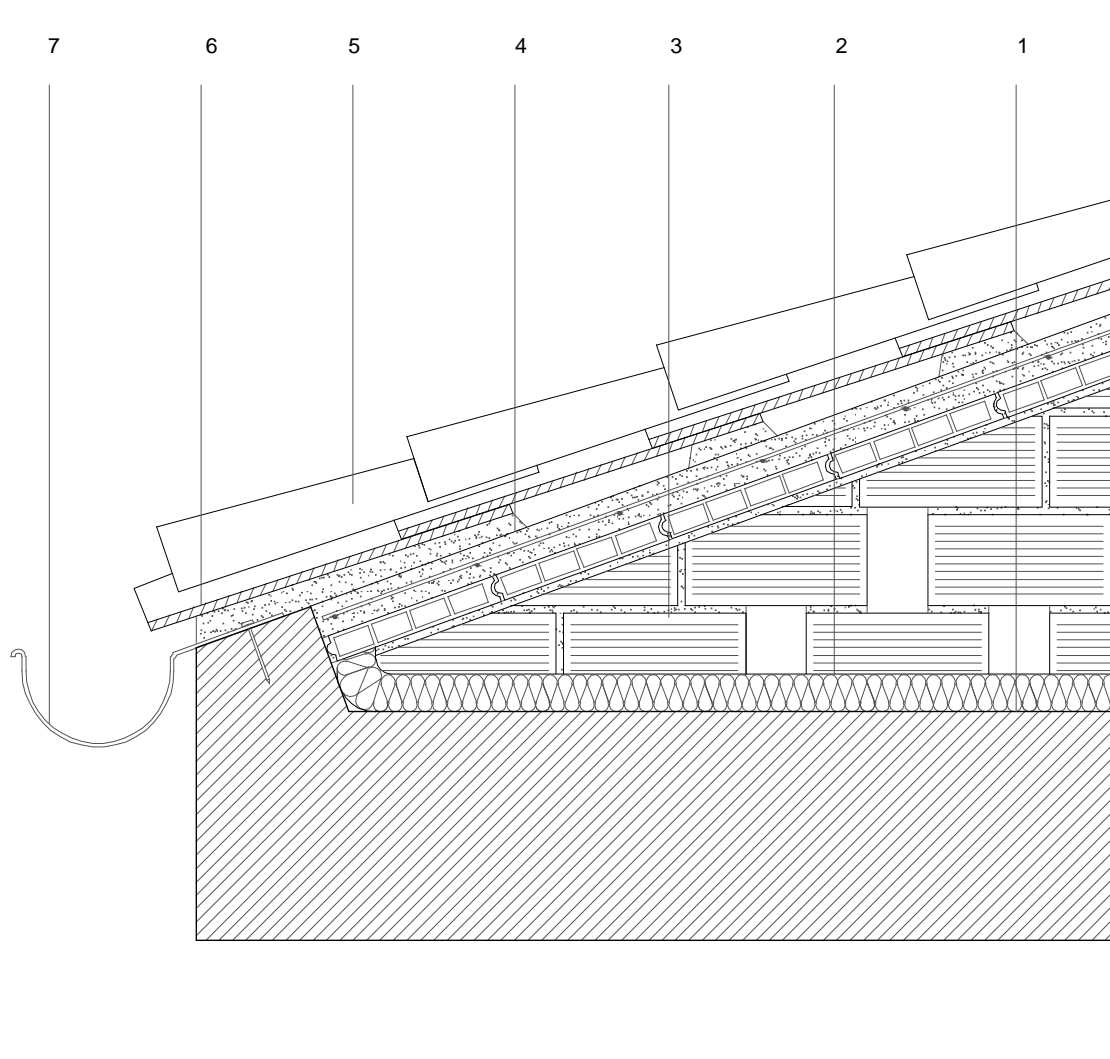
Cubierta de doble tablero de bardo sobre tabique palomero con protección de teja cerámica curva



Detalle constructivo de cubierta inclinada de doble tablero de bardo sobre tabiques palomeros con protección de teja cerámica curva. Canalón exterior. E = 1/10

1. Base estructural.
2. Aislamiento térmico ipo manta entre tabiques palomeros.
3. Tabique palomero de ladrillo cerámico hueco doble.
4. Tablero de doble hoja de bardo cerámico.
5. Teja cerámica curva: cobija.
6. Teja cerámica curva: canal.
7. Canalón exterior.
8. Canalón interior.

Cubierta de tablero de bardo con capa de compresión sobre tabique palomero con protección de teja cerámica curva

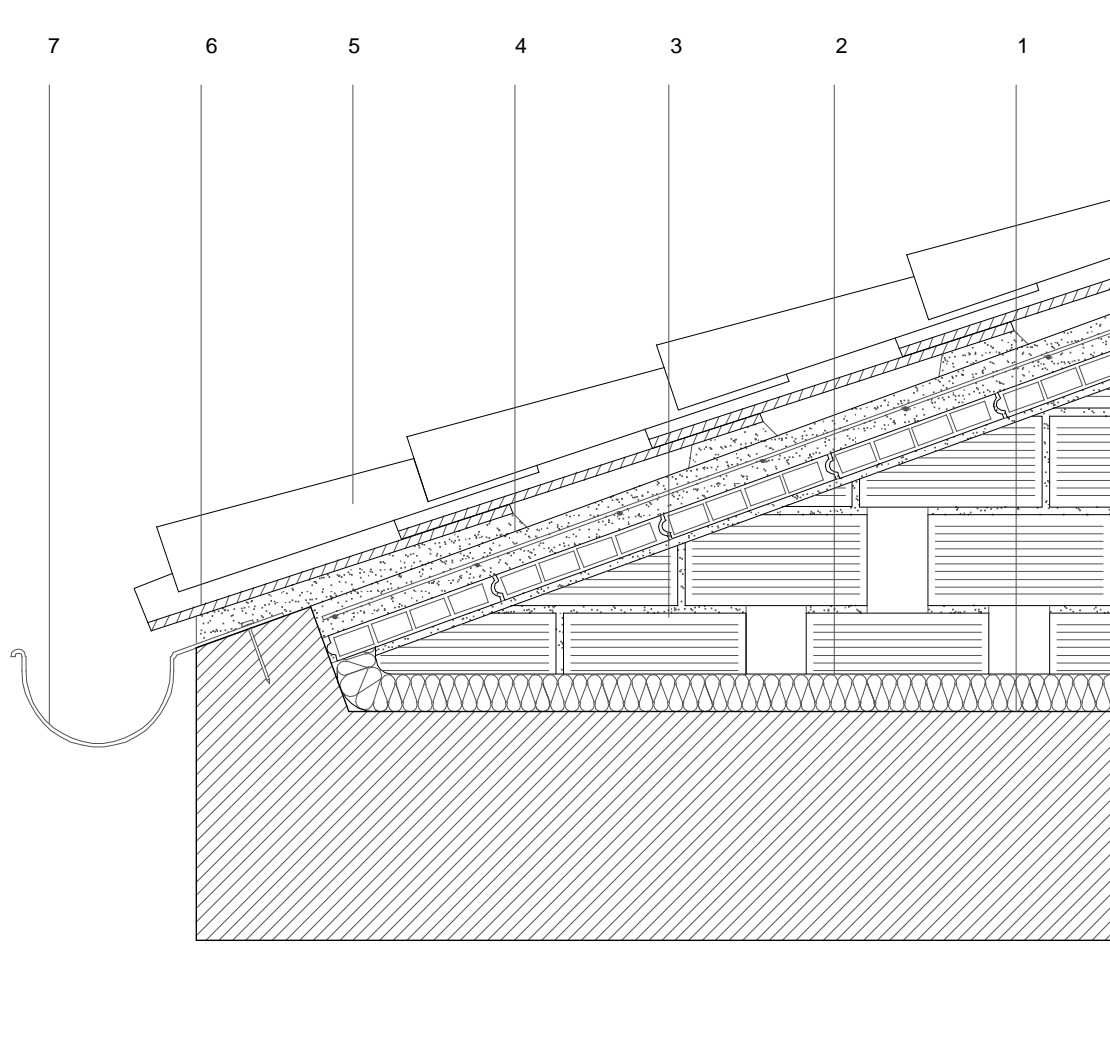


Detalle constructivo de cubierta inclinada de tablero de bardo con capa de compresión sobre tabiques palomeros con protección de teja cerámica curva. Canalón exterior. E = 1/10

1. Base estructural.
2. Aislamiento térmico ipo manta entre tabiques palomeros.
3. Tabique palomero de ladrillo cerámico hueco doble.
4. Tablero de hoja de bardo cerámico con capa de compresión.
5. Teja cerámica curva: cobija.
6. Teja cerámica curva: canal.
7. Canalón exterior.

1. Base estructural.
2. Aislamiento térmico ipo manta entre tabiques palomeros.
3. Tabique palomero de ladrillo cerámico hueco doble.
4. Tablero de doble hoja de bardo cerámico.
5. Teja cerámica curva: cobija.
6. Teja cerámica curva: canal.
7. Canalón exterior.
8. Canalón interior.

Cubierta de tablero de bardo con capa de compresión sobre tabique palomero con protección de teja cerámica curva



Detalle constructivo de cubierta inclinada de tablero de bardo con capa de compresión sobre tabiques palomeros con protección de teja cerámica curva. Canalón exterior. E = 1/10

1. Base estructural.
2. Aislamiento térmico ipo manta entre tabiques palomeros.
3. Tabique palomero de ladrillo cerámico hueco doble.
4. Tablero de hoja de bardo cerámico con capa de compresión.
5. Teja cerámica curva: cobija.
6. Teja cerámica curva: canal.
7. Canalón exterior.

TEMA 8 - MAMPOSTERÍA, SILLERÍA Y ARCOS

1. FÁBRICAS DE MAMPOSTERÍA

Las fábricas de mampostería son todas aquellas construidas con piedra natural en bruto, sin labrar o con labra irregular, y cuyos volúmenes permiten que puedan ser manejadas y transportadas por un solo hombre.

Algunas definiciones relacionadas con las piedras utilizadas en la construcción de estas fábricas son:

- **Mampuesto:** piedra no ortoédrica.
- **Ripio:** piedra irregular que se utiliza como relleno entre juntas o como cuña.
- **Laja:** piedra de reducido espesor y gran superficie.
- **Canto:** mampuesto de bordes más o menos redondeados.

Con carácter general, la piedra recibe algunos cortes para facilitar el asiento dentro de la fábrica y para alisar mínimamente su cara expuesta.

Este tipo de fábricas las podemos encontrar en muchos tipos de construcciones: muros de contención, muros de carga, muros de cerramiento, estribos de puentes, canales, contrafuertes, etc.

Existen fábricas que entre los mampuestos disponen morteros de agarre, como los de cal, barro o bastardos.

Las fábricas de mampostería **se pueden clasificar** atendiendo a diversos criterios:

Por el uso del mortero o aglomerante:

- Mampostería en seco
- Mampostería enripiada
- Mampostería a hueso
- Paredes de cal y canto

Por el aparejo de sus mampuestos:

- Mampostería ordinaria
- Mampostería verdugada
- Mampostería historiada
- Mampostería concertada
- Mampostería careada y frentada
- Mampostería por hiladas:
 - Por hiladas irregulares (sillarejo irregular)
 - Por hiladas regulares (sillarejo regular)
- Mampostería de rajuela
- Mampostería mixta

1.1. MAMPOSTERÍA EN SECO

Se consideran incluidas dentro de esta clase de fábricas, aquellas cuyos mampuestos están sentados en seco, sin mezcla que los una, o a lo sumo unidas con barro. Se trabajan las piedras disponiéndolas con la debida trabazón, de manera que las juntas queden lo más estrechas posible y los huecos sean también pequeños

No suelen tener gran capacidad de carga, aunque en ocasiones los encontramos conformando muros portantes, tanto en edificación, en cerramientos de fachada, como en obra civil, puentes, etc.



Muro de mampostería en seco en cerramiento de fachada y en un puente medieval.

Uno de sus usos más habituales es el de contención de tierras. En este caso actúan como muros de gravedad, simplemente por su peso, impidiendo que éstas se desmoronen. Con el fin de darles más estabilidad se les puede dar un talud de 1/7 a 1/5 de su altura. Su grueso medio viene a ser 1/3 de la altura.



Muro de contención de mampostería en seco. Perfil ataluzado.

1.2. MAMPOSTERÍA A HUESO

Se trata de fábricas de mampostería que, al igual que las anteriores, no disponen de ningún mortero de toma entre las piezas, pero sus caras están mínimamente labradas para que el encaje y asiento de las mismas.



Muro de mampostería a hueso, con los mampuestos más o menos labrados.

1.3. MAMPOSTERÍA ENRIPIADA

Se trata de una fábrica de mampostería cuyos mampuestos descansan sobre los otros de manera más estable, gracias a la disposición de ripios entre los huecos acuñando unos mampuestos contra otros.

Puede tratarse se fábricas en seco, a hueco o tomadas con un mínimo de mortero.



Muro de piedra en seco con los mampuestos prácticamente sin labrar, con la interposición de ripios para relleno de juntas.



Muro de mampostería tomada con mortero, con ripios relleno de las juntas.

Podemos destacar la conocida como **mampostería enripiada por hiladas**. En esta clase de fábricas se procura formar hiladas con los mampuestos. Los huecos se rellenan con ripio y esquirlas de piedra recubiertas de mortero por todos lados. Para las esquinas y extremos se emplean las piedras más gruesas y de mejor forma, que se colocan alternativamente a soga y a tizón.

Para garantizar la estabilidad de la fábrica, es conveniente "aplanar" el muro, nivelar la hilada, en todo su espesor y toda su longitud cada 1- 1,5 m de altura.



Mampostería enripiada por hiladas. Disposición de grandes sillares en los encuentros en esquina.

1.4. PAREDES DE CAL Y CANTO

Fábricas cuyos mampuestos son piedras sin ningún género de labra, cantos rodados, etc., tomadas con abundante mortero. Las piedras se colocan a "baño flotante de mortero", es decir, todas ellas rodeadas de este material. Se emplea mortero bastardo o de cal hidráulica.

Es necesario en este tipo de fábricas buscar la mayor regularidad en el reparto de las presiones, con objeto de evitar la desigualdad de asientos que se produciría en la obra.



Muro de mampostería sin apenas ninguna labra, tomadas con morteros.

1.5. MAMPOSTERÍA ORDINARIA

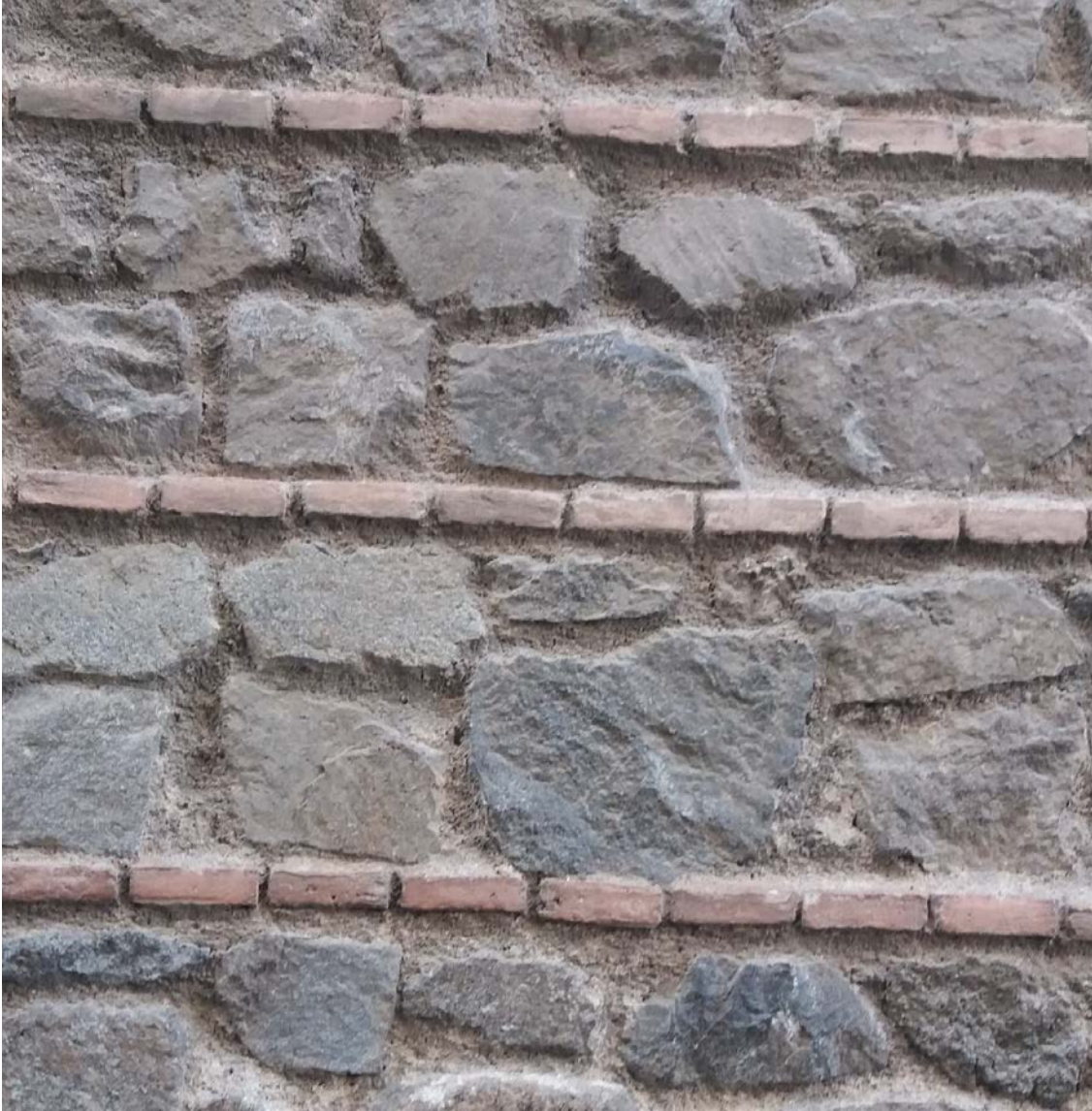
Se trata de aquella mampostería cuyas piedras o mampuestos carezcan de labra, empleándose tal como vienen de cantera, tomados con mortero de cemento.



Muro de mampostería ordinaria, con mampuestos sin labrar tomados con mortero.

1.6. MAMPOSTERÍA VERDUGADA

Se trata de arquellas fábricas de mampostería en las que, para mejorar su estabilidad y resistencia, se intercalan hiladas de ladrillo macizo, denominadas “verdugadas o cadenas”. La distancia entre éstas puede variar, pero suele rondar entre 1-1,5 m.



Mampostería verdugada. Témpanos de mampostería reforzada con verdugadas de ladrillo.

1.7. MAMPOSTERÍA HISTORIADA

Es la mampostería ordinaria cuyas juntas llevan embutidas pequeñas chinas de pedernal o de pizarra confiriendo un dibujo decorativo.



Mampostería historiada.

1.8. MAMPOSTERÍA CONCERTADA

Se trata de aquella mampostería cuyos mampuestos, todavía irregulares, tienen las caras mínimamente labradas para su colocación formando hiladas más o menos reconocibles. Están tomados con mortero.

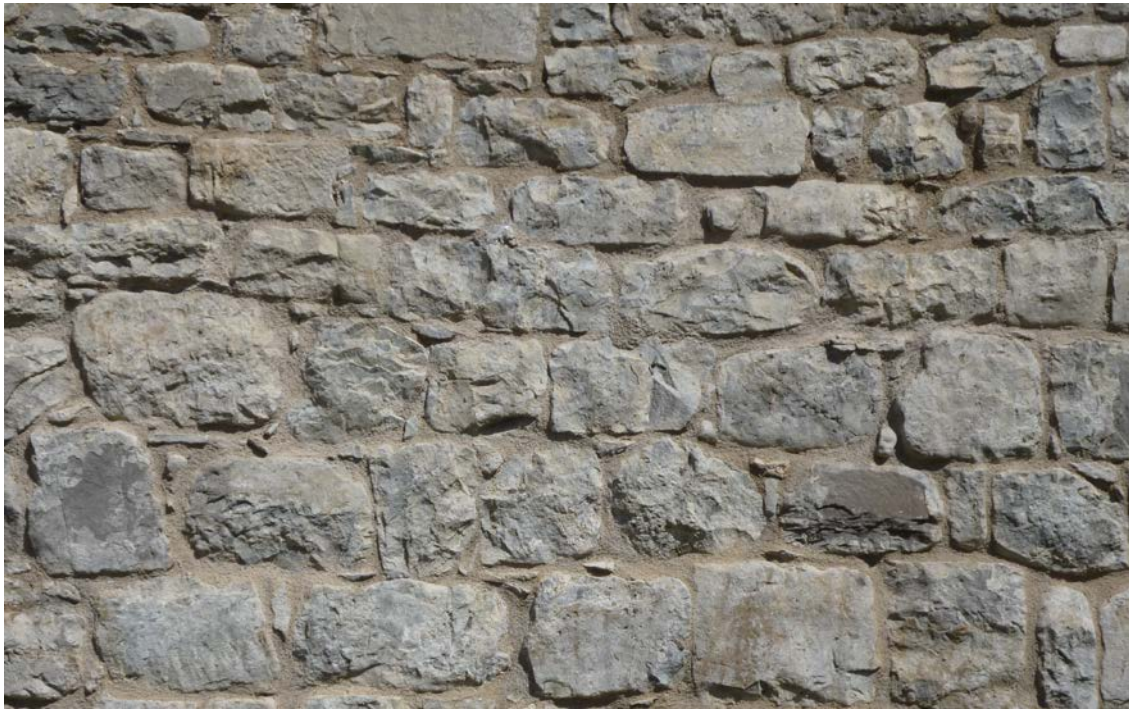


Mampostería concertada.

1.9. MAMPOSTERÍA CAREADA Y FRENTADA

Es aquella compuesta por mampuestos que presentan las caras más o menos labradas para garantizar un correcto asiento, evitando el uso de ripios. La cara exterior presenta una labra que garantiza la obtención de una superficie más o menos plana.

Los mampuestos no siempre tienen el mismo tamaño, pudiendo combinarse piedras más grandes con otras más pequeñas, alternando en diferentes hiladas o dentro de la misma hilada.



Mampostería careada y frentada.

1.10. MAMPOSTERÍA POR HILADAS

Se trata de mampostería elaborada con sillarejos, sillares de pequeño tamaño, piedras en forma de paralelepípedo rectangular de proporciones semejantes, pero de labra imperfecta, manejables a mano.

Podemos considerar dos tipos en la mampostería por hiladas:

1.10.1. MAMPOSTERÍA POR HILADAS IRREGULARES (SILLAREJO IRREGULAR)

En este caso los sillarejos irregulares no conforman una hilada continua con una sola pieza. Dentro de una misma hilada podemos encontrar piezas de diversa altura.



Mampostería por hiladas irregulares.

1.10.2. MAMPOSTERÍA POR HILADAS REGULARES (SILLAREJO REGULAR)

Los sillarejos son más regulares dentro de su hilada. Aunque pueda variar la altura de hilada a hilada, dentro de la misma la altura de cubre con una única pieza.



Mampostería por hiladas irregulares.

1.11. MAMPOSTERÍA DE RAJUELA

Se trata de fábricas formadas por lajas de piedra que puedes ir apoyadas en seco o tomadas con mortero, conformando diversidad de posibles dibujos.



Mampostería de rajuela.

1.12. MAMPOSTERÍA MIXTA

Es aquella que combina la fábrica de mampostería con el uso del ladrillo para el recercado de huecos, machones, aleros, arcos, etc.



Mampostería mixta de piedra y ladrillo.

1.13. HUECOS EN FÁBRICAS DE MAMPOSTERÍA. FORMACIÓN DE DINTELES Y ARCOS

Sobre aberturas de poca luz (hasta 1 m aproximadamente) basta, en la mayoría de los casos, con la colocación de una única piedra de longitud considerable para la formación del dintel, ya sea recta o en forma de arco rebajado.



Dinteles de piedra de una sola pieza, con entrega a la fábrica o a piezas a modo de jambas.

Si tal solución no resulta suficiente, puede recurrirse a dos piezas que, apuntalándose mutuamente, desvían de una manera sencilla la presión que carga encima de la abertura.

Para mayores luces o para cargas más elevadas se requiere un dintel de obra de fábrica, plano o arqueado.

Si las aberturas tienen una luz aún mayor, conviene resolver el dintel con un arco de medio punto o incluso apuntado.



Dinteles de fábrica de ladrillo formando arcos rebajados o apuntados.

2. FÁBRICAS DE SILLERÍA

Tendrán la consideración de obras de sillería aquellas que estén constituidas por piedras naturales, dispuestas de modo que queden sostenidas mutuamente por yuxtaposición, estando perfectamente labradas y sentadas unas sobre otras, con la interposición del material que sirva de cama, para regularizar las caras de junta, haciendo el asiento más perfecto y tapando a su vez los huecos o intersticios.



Fábricas de sillería.

En las fábricas de sillería no se puede construir un muro monolítico, es necesario fraccionar el macizo en piezas, proceso conocido como estereotomía: "división de la forma total, en otros parciales con la armonía y condición que la construcción exige".

La transformación de las formas irregulares de las piedras de cantera en las piezas regulares que necesitamos se consigue mediante labra, mediante la cual obtenemos los sillares. Sillar es toda piedra a la que se le ha dado forma geométrica después de su arranque en la cantera. A la primera operación de regularización se le llama bloque, el cual, por sucesivas operaciones de desbaste, da lugar al sillar.

Es imprescindible la ortogonalidad en las aristas del sillar, ya que las piedras tienen poca resistencia al roce y al choque en las aristas. Un sillar queda definido por sus tres proyecciones, deben estar definidas todas sus caras, para permitir su correcta colocación. La cara perteneciente a la fachada irá con la terminación deseada y perfectamente labrada. Las restantes caras es suficiente que sean lisas, en la medida de lo posible, recogiéndose las imperfecciones de sus caras con el mortero.

- MÉTODO DE LABRA

Lo esencial de la labra es obtener una cara plana. Si tiene otra perpendicular utilizaremos la escuadra y quitaremos el material hasta conseguir una cara normal a la primera, para lo cual, y para evitar errores, es necesario colocar la escuadra correctamente, es decir, formando ángulos rectos cada regla con la arista del sillar. Se obtienen ya fácilmente caras perpendiculares a la primera obtenida.

Las herramientas empleadas eran el pico, el martillo pico, la escoda, la bujarda, etc. Para las terminaciones los trinchantes, bujardas y martellinas, etc.

- DESPIECE

Como hemos dicho anteriormente, exceptuando cuando son de reducidas dimensiones, pilares o columnas, que pueden ejecutarse de una sola pieza, generalmente hay que ejecutar un despiece.

Atendiendo a las condiciones mecánicas, si el elemento está sometido a la acción de la gravedad, el fraccionamiento a ejecutar será horizontal, mediante planos horizontales, que se manifestarán en el paramento mediante "juntas horizontales".

Si la longitud de las hiladas es excesiva, es necesario un nuevo fraccionamiento, esta vez vertical, que da origen a "juntas verticales", que se situarán de manera que repartan la carga del modo más simétrico posible.

La fábrica comprendida entre dos planos horizontales continuos se denomina hilada. Análogamente a como sucede en la fábrica de ladrillo, si el sillar tiene vista la cara de mayor longitud se llama "soga" y si muestra la de menor longitud se denomina "tizón".

- ELEVACIÓN Y ASIENTO DE SILLARES

Por su tamaño los sillares tienen pesos que difícilmente pueden ser manejados sin el auxilio de máquinas.

Para su transporte en vertical, elevación, o en horizontal, se usan máquinas apropiadas según la naturaleza de la obra y las dimensiones de las piedras.

- COLOCACIÓN DE LA PIEDRA EN OBRA

Al colocar la primera hilada del muro encontramos que queda parcialmente enterrada, ya que el cimiento normalmente queda 20-25 cm más bajo que el nivel del terreno, a esta primera hilada se le denomina "losa de erección". Puede suprimirse si así se desea, pero no es conveniente.

Para colocar los sillares, previamente replanteamos sobre la losa de erección los planos de junta y paramentos, procediendo a colocar los dos sillares extremos, situando una cuerda o "tirantez" de piedra a piedra, que nos sirve de guía para los restantes sillares de la hilada.

El muro propiamente dicho puede ser ejecutado según dos procedimientos:

- Asiento a la "torta"

Colocando mortero sobre el sillar inferior en la cantidad necesaria, para que quede bien repartido y para que el resto sea escupido por las juntas.

- Asiento con cuñas

Previamente colocamos las cuñas y "presentamos" la piedra, moviendo estas, dejamos totalmente niveladas las piedras utilizando la plomada, el nivel, o el doble nivel. Este procedimiento da buenos resultados siempre que el mortero no sea ni muy fluido, de forma que impida su fraguado rápido, ni muy espeso, de modo que obstruya las juntas.

Una vez efectuada esta operación se extraen las cuñas mediante el "sacacuñas".

Si se trata de arcos y bóvedas, para el asiento y recibido de las piedras que componen estas construcciones es necesario disponer de un elemento auxiliar que sirva para el apoyo de los sillares, generalmente de madera, una "cimbra".

El retundido consiste en descarnar, con la herramienta indicada, unos dos o tres centímetros las juntas, rellenándolas de un mortero que se comprime y recorta luego para que haya uniformidad. Con el retundido podemos lograr diversos tipos de juntas, aunque lo normal es la junta enrasada ya que por el grueso de la misma no caben otras soluciones. El relabrado es la operación consistente en repasar los empalmes y pequeños defectos que tengan los sillares.

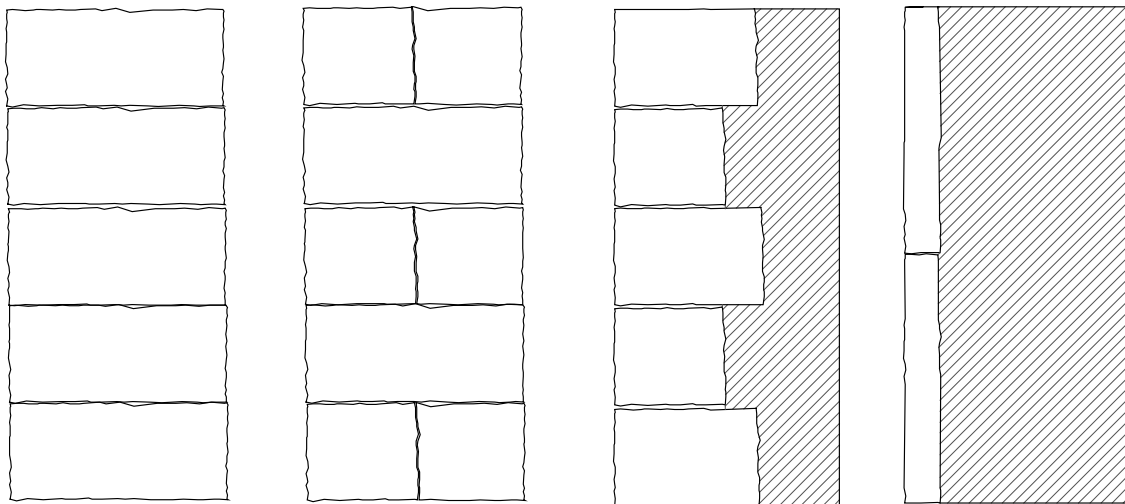
3. TIPOS DE MUROS DE PIEDRA

- **Fábrica de piedra "cuajada o atizonada"** es aquella en la que todas las piezas abarcan el espesor total del muro.

- **Fábrica de piedra "no cuajada"** es aquella en la que algunas piedras no alcanzan el espesor total del muro.

- **Fábrica "mixta"** es aquella en la que el muro de piedra está trasdosado con otra fábrica de otro material. Según el espesor de este trasdosado, ambas fábricas serán o no resistentes.

- **Aplacado**, aquel muro de piedra que debido al pequeño espesor de las piedras se considera un revestimiento o aplacado. En este caso no tiene función resistente, la cual la desempeña la fábrica que sirve de trasdós.



Tipos de muros de piedra.

4. ARCOS

Anteriormente hemos comentado posibles formas de rematar un hueco por su parte superior empleando dinteles de piedra o de fábrica de ladrillo, tanto planos como arqueados. Otra posibilidad es crear un verdadero arco de piedra con piezas cuya forma les permite trabajar a compresión, denominadas dovelas.



Arco de medio punto de dovelas de piedra.

El despiece de un arco se realiza en piedras que tengan planos paralelos y normales a la línea de presiones. También deberá cumplirse que la curva de presiones esté comprendida en el tercio central de los planos que limitan la cuña de la dovela.

En la nomenclatura de las partes de un arco podemos distinguir entre:

- Intradós: cara interior que limita el arco.
- Trasdós: superficie definida por la cara superior del arco.
- Directriz: línea ideal resultante de unir los puntos medios de las piezas.
- Imposta: parte superior sobre la que apoya el arco.
- Arranque: plano de nacimiento del arco.
- Estribos: macizos de fábrica sobre los cuales se tiende el arco.
- Riñones: zonas intermedias comprendidas entre arranques y clave.
- Dovelas: cada una de las piezas que componen el arco.
- Clave: dovela central del arco.
- Contraclaves: dovelas inmediatas a la clave.
- Salmeres o almohadones: dovelas de arranque del arco.
- Luz: longitud horizontal medida desde los arranques.
- Flecha, montes o sagita: altura del arco respecto a la línea de arranques.

Todo el esfuerzo transmitido por un arco es contrarrestado por el rozamiento de las piedras situadas en ambos lados del hueco. Este esfuerzo suele absorberse creando un regreuso del muro, denominado "contrafuerte" (típico románico) ó por medio de otro arco llamado "arbotante" (típico gótico).

La forma de las dovelas, ancho y longitud, varía en función del estilo arquitectónico, al igual que su decoración o el tipo de arco (de medio punto, rebajado, apuntado, etc.).



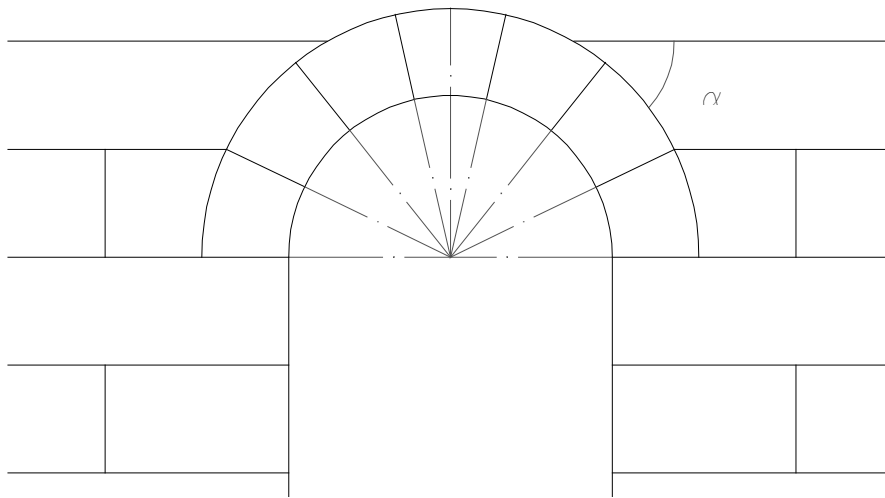
Tipos de dovelas con formas y recoraciones diversas según estilos arquitectónicos.

4.1. DESPIECE DEL ARCO DE MEDIO PUNTO EN UN MURO RECTO

En el caso de que el intradós y el trasdós lo definan dos arcos concéntricos, se definirá el centro de dichos arcos y a partir de él se dividirá el arco en un número impar de partes iguales. De esta manera el arco quedará despiezado en dovelas.

No podemos considerar nunca de una manera independiente el despiece de un arco y encontrarse las hiladas del muro con el trasdós del arco.

En general, para el despiece de los arcos de medio punto en los muros rectos pueden darse diversas soluciones, que varían dando lugar a un determinado ancho de la dovela.

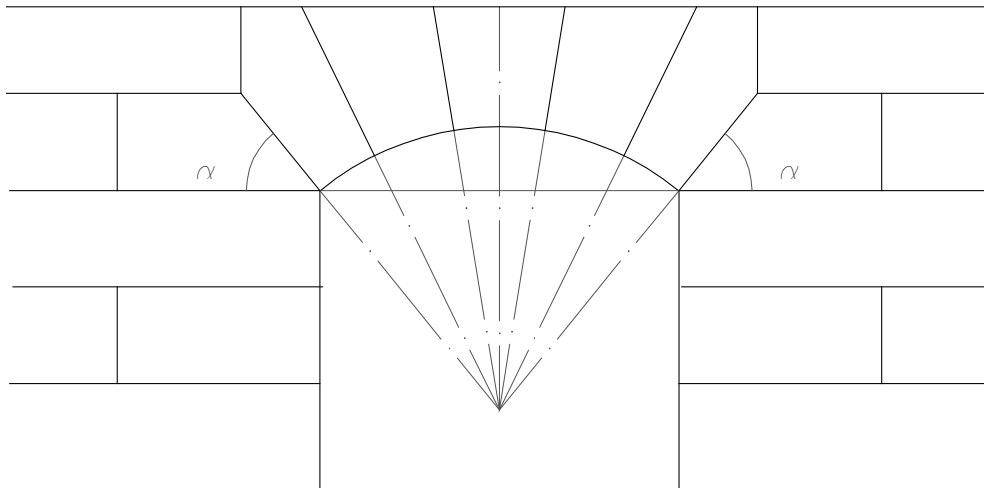


Despiece de arco de medio punto.

4.2. DESPIECE DEL ARCO REBAJADO EN UN MURO RECTO

Se realiza de una manera similar a la mencionada para los arcos de medio punto, con la diferencia de que el centro se desplaza a un punto inferior respecto a la línea que une los dos puntos de arranque.

Es necesario cuidar que la pieza del muro que se encuentra con la primera dovela en el arranque no forme un ángulo excesivamente agudo.

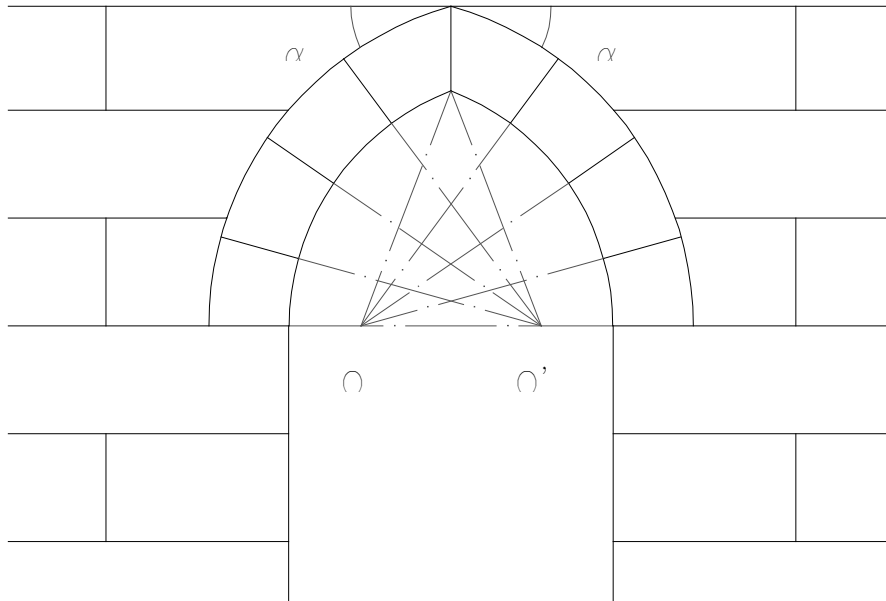


Despiece de arco rebajado.

4.3. DESPIECE DEL ARCO APUNTADO EN UN MURO RECTO

Para realizar el despiece de un arco apuntado podemos adoptar dos soluciones:

1. Dividir en partes iguales cada uno de los medios arcos que componen el arco total, uniéndose cada división con su centro O y O' respectivamente. Surgirá en el centro del arco una junta, pues son dos arcos despiezados que se apoyan uno en el otro.



Despiece de arco apuntado.

2. Efectuar la división del arco de forma que existe una clave.