

César Izquierdo Hernando
Antonio Alfaro Gil
Carlos Peñafiel de Pedro

PARTE 1

Manual de riesgos
tecnológicos
y asistencias
técnicas

EDIFICACIONES

Coordinadores de la colección

Agustín de la Herrán Souto
José Carlos Martínez Collado
Alejandro Cabrera Ayllón



Documento bajo licencia Creative Commons CC BY-NC-SA 4.0 elaborado por Grupo Tragsa y CEIS Guadalajara. No se permite un uso comercial de la obra original ni de las posibles obras derivadas, la distribución de las cuales se debe hacer con una licencia igual a la que regula la obra original. Asimismo, no se podrán distribuir o modificar las imágenes contenidas en este manual sin la autorización previa de los autores o propietarios originales aquí indicados.

Edición r0 2015.10.05

manualesbb@ceisguadalajara.es
www.ceisguadalajara.es

Tratamiento
pedagógico, diseño y
producción





CAPÍTULO

1

Caracterización



1. INTRODUCCIÓN

Definimos **arquitectura** (del griego αρχ (arch, cuyo significado es 'jefe', 'quien tiene el mando'), y τεκτων (tekton, es decir, 'constructor' o 'carpintero')), como el arte y técnica de proyectar y diseñar edificios, estructuras y espacios.

Por otra parte, denominamos **construcción** (de latín *construere* 'amontonar') al conjunto de procedimientos técnicos llevados a cabo para levantar diversos tipos de elementos constructivos que definen una **edificación**.

De acuerdo a la RAE, entendemos por **edificación** a "aquella construcción fija, hecha con materiales resistentes, para habitación humana o para otros usos".

Al ser las edificaciones uno de los principales ámbitos naturales de actuación de los cuerpos de bomberos, será necesario un conocimiento básico de las características proyectadas (conocimiento básico de la normativa de afección) y luego ejecutadas (sistemas constructivos, materiales empleados, etc.), que constituirán en su conjunto los escenarios de nuestras intervenciones.

2. CONCEPTOS DE FÍSICA APLICADOS A LA EDIFICACIÓN

2.1. FUERZA

Definición: magnitud vectorial utilizada en física, para esquematizar las interacciones entre cuerpos, es decir, la acción que un cuerpo puede sufrir, o ejercer sobre otro cuerpo. Se calcula como el producto de su masa por la aceleración a la que se ve sometida: $F = m \cdot a$

Características: los elementos que caracterizan las fuerzas en edificación, serán sus atributos (módulo o magnitud, dirección, sentido) y punto de aplicación.

Unidades: la cuantificación de las fuerzas se realizará en el sistema internacional (SI) en Newtons (N), equivalentes a (Kg m/s²).

Leyes: la fuerzas, al igual que el conjunto de la mecánica, se rigen por las 3 leyes de Newton:

1ª Ley: "Todo cuerpo persevera en su estado de reposo o movimiento uniforme y rectilíneo, a menos que una fuerza externa actúe sobre él". También se denomina "principio de inercia".



Imagen 1. 1ª Ley. Principio de Inercia



Imagen 2. 2ª Ley. $F = m \cdot a$



Imagen 3. 3ª Ley. Principio acción y reacción

2ª Ley: "La suma de todas las fuerzas que actúan sobre un cuerpo, es igual al producto de la masa del cuerpo por la aceleración producida por la fuerza, con desplazamiento en la dirección de la resultante de las fuerzas".

3ª Ley: "Dos cuerpos que actúan el uno sobre el otro desarrollan, siempre, dos fuerzas que actúan en una misma dirección, son de igual intensidad y tienen sentidos opuestos. Es conocido como "principio de acción y reacción".

Por ello, de acuerdo al citado principio, toda fuerza aplicada en un punto (acción) debe ser contrarrestada con otra igual y de sentido contrario (reacción) para que se mantenga el equilibrio.

Composición de fuerzas: como toda magnitud vectorial, las fuerzas se pueden componer (sumar, restar, multiplicar, etc.), dando lugar a nuevas fuerzas.

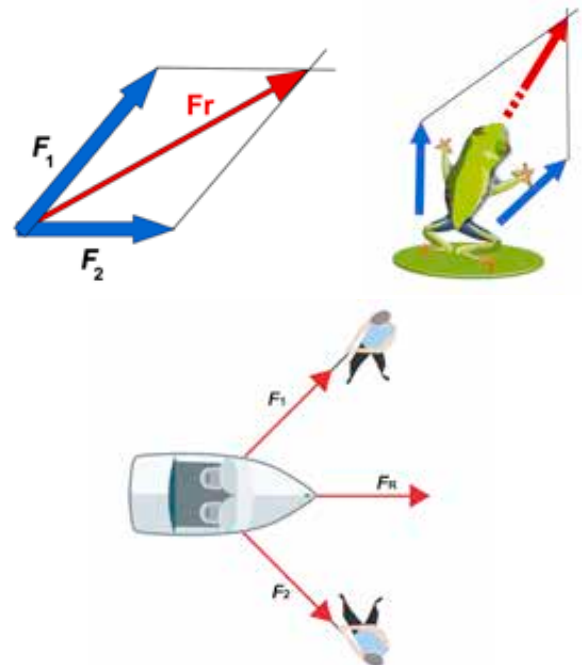


Imagen 4. Composición de fuerzas

2.2. MOMENTOS

Complementariamente a lo expuesto en el párrafo anterior, el resultado o reacción de una fuerza, dependerá en gran medida de su punto de aplicación, de acuerdo al cual se generará en su caso los conocidos como **momentos**.

Definición: entendemos por “par de fuerzas” al sistema formado por dos fuerzas paralelas entre sí, de la misma intensidad (o módulo), pero de sentidos contrarios. (Ej: una fuerza y su reacción)

Un par de fuerzas queda caracterizado por su momento (**momento de un par de fuerzas**), el cual es una magnitud vectorial, que tiene por valor el producto de cualquiera de las fuerzas (su módulo), por la distancia **d** perpendicular entre ellas (**brazo del par**).

$$M = F_1d = F_2d$$

En sentido práctico, el momento de un par de fuerzas con respecto a un punto da a conocer en qué medida existe capacidad de dicho sistema de fuerzas (una fuerza y su reacción), para cambiar el estado de la rotación del cuerpo alrededor de un eje que pase por dicho punto. Para evitar dicha rotación, en el cuerpo tratado se ha de generar un nuevo esfuerzo o nueva reacción, de magnitud idéntica y sentido contrario denominada **momento resistente o también momento de empotramiento**.

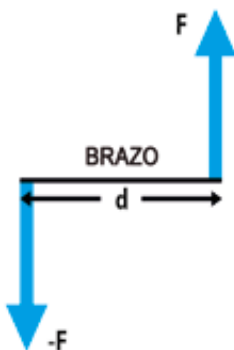


Imagen 5. Par

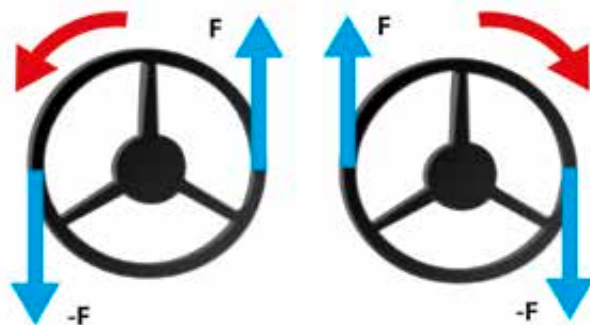


Imagen 6. Momento +

Imagen 7. Momento -

Unidades: la cuantificación de los *momentos* se realizará en Newtons por metro (N·m), equivalentes a (Kg m²/s²).

Momentos positivos y negativos: si una fuerza está produciendo un momento respecto un punto, en función del sentido de giro de las fuerzas respecto dicho punto, diremos que los momentos son positivos (giro en sentido horario) o negativos (giro en sentido antihorario).

Punto de aplicación: un misma fuerza o un mismo par de

fuerzas, generará distintos *momentos* en función de dónde sean aplicadas, dado que a mayor brazo del par (distancia perpendicular entre las fuerzas), mayor momento; O lo que es lo mismo, a mayor brazo, máyor esfuerzo para equilibrarla. (ver ejemplo en la base de esta página).

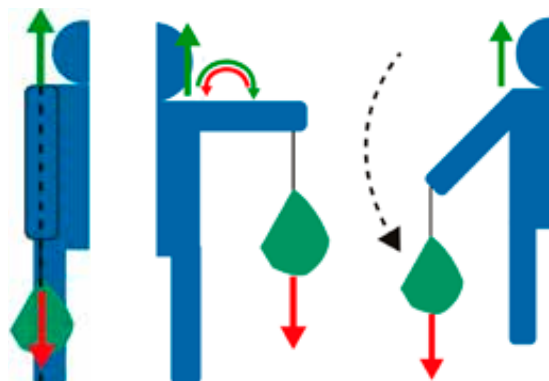


Imagen 8. Fuerzas alineadas

Imagen 9. Momento

Imagen 10. Giro libre

Equilibrio del par: todo par de fuerzas que no tenga una reacción que lo contrareste, tenderá a equilibrarse reduciendo su brazo de palanca. Este fenómeno se produce cuando tras girar libremente, ambas fuerzas se alinean, logrando que el brazo de palanca y por tanto su momento resulten nulos. **Todo giro libre presenta, por tanto, momento nulo.**



Si tras llevar la bolsa de la compra con los brazos en horizontal, nos cansamos y dejamos el hombro libre (momento en el hombro =0), el brazo girará oscilando la bolsa hasta que ésta se frene en la vertical del hombro, es decir, hasta que el brazo de palanca sea nulo.

Derivado del principio anterior obtenemos, el principio de funcionamiento de **una palanca**, barra rígida que puede girar alrededor de un punto fijo o eje (punto de apoyo o fulcro) cuando se le aplica una fuerza (potencia (P) para vencer una resistencia R.

Las dos fuerzas diferenciadas (potencia P y resistencia R), están en equilibrio, cuando generan idéntico momento pero de sentido contrario: Potencia P · Brazo de potencia dp = Resistencia R · Brazo de resistencia dr.

Por ello, para mover una resistencia R, sin incrementar el valor de P, bastará con incrementar el brazo de palanca o reducir el de resistencia:

$$P \cdot dp = R \cdot dr$$



Cuando llevamos la bolsa de la compra de la mano (peso “P”), en la vertical del hombro, el esfuerzo que deberemos realizar es otra fuerza vertical “R” idéntica al peso de la bolsa. Dado que peso “P” y reacción “R” están alineados en la vertical del hombro, no existirá ningún momento que debamos estabilizar por ser el brazo de palanca igual a cero. Sin embargo, en el caso de transportarla con los brazos en horizontal, nos costará mucho mayor esfuerzo, a pesar de tratarse de la misma carga: adicionalmente a la reacción del caso anterior, al llevar el peso se

parado del cuerpo una distancia “d” entre hombro y bolsa, se generará un momento entre ambas fuerzas, de magnitud el producto del peso de la bolsa “P” por el brazo de palanca “d”, el cual deberá ser estabilizado mediante una reacción de sentido contrario (momento resistente o momento de empotramiento). Lo que nos obligará a un esfuerzo adicional para evitar que la bolsa descienda. En resumen: a mayor separación de la vertical del hombro, mayor momento del par y necesidad de un mayor esfuerzo para poder materializar un momento de empotramiento que nos posibilite transportar el peso “P” en dicha posición.

2.3. EQUILIBRIO

Denominamos **estática**, a la rama de la mecánica clásica que analiza las cargas (fuerza, par / momento) y estudia el equilibrio de fuerzas en los sistemas físicos en equilibrio estático.

Definimos, por tanto, **equilibrio estático** como el estado de fuerzas en el que no se producen movimientos relativos en el tiempo en los elementos del sistema.

Básicamente, las cargas soportas por una estructura producirán dos tipos de reacciones en ésta: **empujes** (fuerzas) y **giros** (momentos). Debiendo ser contrarrestadas por reacciones iguales y de sentido contrario en los elementos constructivos de carácter estructural. Por ello, en relación la 1ª ley de Newton, toda situación de equilibrio conllevará que las resultantes/sumatorios fuerzas (ΣF) y momentos (ΣM) de cada cuerpo, serán igual a cero.

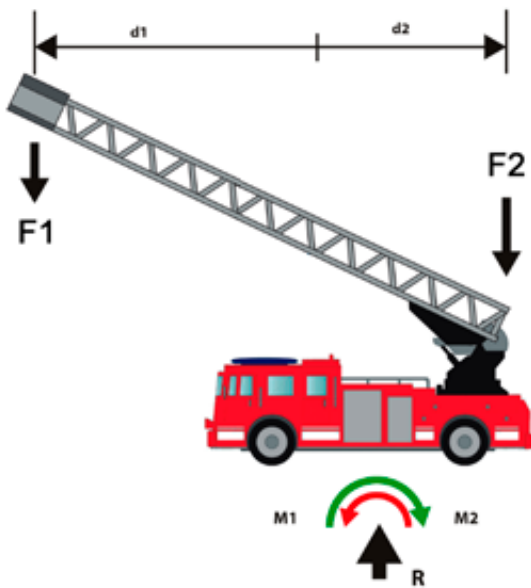
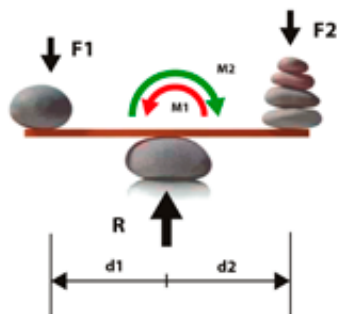


Imagen 11. Equilibrio estático

Condición límite de equilibrio:

$$R = F_1 + F_2$$

$$M_1 = F_1 \cdot d_1 = F_2 \cdot d_2 = M^2$$

Para una correcta comprensión del equilibrio, analizaremos el concepto de **Centro de gravedad**.

Definición: punto de un cuerpo en el cual puede considerarse concentrado su peso, de manera que si el cuerpo se apoyara en ese punto, permanecería en equilibrio en cualquier posición.

Propiedades: en relación con lo visto en epígrafes anteriores, el centro de gravedad es el punto de aplicación de una única fuerza (con valor idéntico a la resultante de cargas), a fin de lograr el equilibrio del cuerpo.

No debe corresponderse necesariamente con un punto material del cuerpo. Así, el centro de gravedad de una esfera hueca está situado en el centro de la esfera que, obviamente, no pertenece al cuerpo.

Un objeto apoyado sobre una base plana estará en equilibrio estable si la vertical que pasa por el centro de gravedad corta a la base de apoyo. Lo expresamos diciendo que el centro de gravedad se proyecta verticalmente (cae) dentro de la base de apoyo.

Si el cuerpo se aleja ligeramente de la posición de equilibrio, aparecerá un momento restaurador y recuperará la posición de equilibrio inicial. No obstante, si se aleja más de la posición de equilibrio, el centro de gravedad puede caer fuera de la base de apoyo y, en estas condiciones, no habrá un momento restaurador y el cuerpo abandona definitivamente la posición de equilibrio inicial mediante una rotación que le llevará a una nueva posición de equilibrio.

2.4. ELASTICIDAD

La teoría de la elasticidad es la base de estudio de la mecánica de sólidos.

Definición: capacidad para sufrir deformaciones reversibles cuando se encuentran sujetos a la acción de fuerzas exteriores y de recuperar la forma original si estas fuerzas exteriores se eliminan.

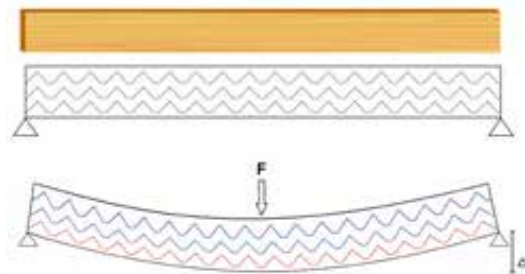


Imagen 12. Elasticidad

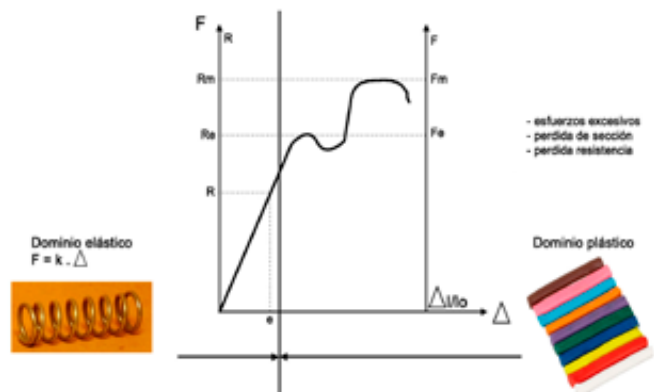


Imagen 13. Elasticidad vs. plasticidad

Todos los materiales suelen tener un comportamiento elástico inicial, hasta alcanzar el umbral denominado “Limite de elasticidad”, momento a partir del cual tienen un comportamiento plástico.

El comportamiento del material en ambos estadios es diferenciado:

- **Elasticidad:** las variaciones de las dimensiones y formas de un cuerpo son temporales y recuperables.
- **Plasticidad:** los efectos de las deformaciones son permanentes y no recuperables, debido a la alteración de los enlaces moleculares tras sufrir esfuerzos superiores al límite elástico. Suelen ir acompañadas de una pérdida de sección y de resistencia.

Para la comprensión del comportamiento resistente de un material, atenderemos a la ley de Hook:

$$\sigma = E \epsilon$$

La tensión sufrida por un cuerpo sólido, será directamente proporcional a su mayor o menor elasticidad (E) así como a la deformación efectiva sufrida (ϵ)

Por tanto, para la perfecta evaluación del comportamiento o deformación de los materiales y estructuras, será interesante conocer su deformación admisible a fin de compararla con la existente, siendo por tanto básico la utilización del **Módulo de elasticidad longitudinal o Módulo de Young (E)**:

Tabla 1. Deformación admisible para ciertos materiales según el módulo de elasticidad longitudinal

Material	Módulo de Elasticidad (valor aproximado-N/mm ²)
Mampostería de ladrillo	E = 3000 - 5000
Maderas duras (frondosas)	E = 10000 – 22500
Maderas blandas (coníferas)	E = 9000 - 11000
Acero	E = 210000
Hierro de fundición	E = 100000
Hormigón (Resistencia)	E = 21500 - 39000

$$\sigma = E \epsilon \rightarrow \epsilon = \sigma / E$$

A igualdad de deformación, un cuerpo sufre menores tensiones cuanto mayor sea su elasticidad (mayor módulo de elasticidad “E”)

Así pues, bajo la acción de una misma carga:

- La madera presenta una importante deformación en la dirección de la fibra.
- El hierro fundido se deforma el doble que el acero.
- El hormigón puede llegar a deformarse hasta 10 veces más que el acero.

2.5. FACTORES ASOCIADOS AL COMPORTAMIENTO TÉRMICO

Dado que las intervenciones de bomberos frecuentemente van asociadas a escenarios con presencia de fuertes variaciones térmicas provocadas por incendios, deberemos distinguir varios parámetros para comprender su caracterización y su cuantificación:

2.5.1. COEFICIENTE DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA (A)

VALOR NUMÉRICO QUE CUANTIFICA LA CAPACIDAD DE CONDUCCIÓN TÉRMICA DEL MATERIAL QUE SE TRATE. SUS UNIDADES SERÁN LOS W/M °C Ó W/M K

Cuanto más bajo sea el valor, mayor capacidad aislante tendrá el material.

Tabla 2. Conductividad térmica de algunos materiales

Material	Conductividad térmica (W/m K)
Acero	47-58
Acero inoxidable	14-16
Hierro	80
Aluminio	209
Corcho	0,04-0,30
Fibra de vidrio	0,03-0,07
Ladrillo	0,80
Madera	0,13
Poliuretano	0,018-0,025

Analizando el presente parámetro, podemos concluir a simple vista que:

- El hierro transporta bastante mejor el calor que el acero.
- Existen muy buenos aislantes como son el corcho, la fibra de vidrio o el poliuretano.

2.5.2. COEFICIENTE DE DILATACIÓN TÉRMICA (α)

La dilatación es el cambio de cualquier dimensión lineal del sólido tal como su longitud, alto o ancho, que se produce al aumentar su temperatura (dilatación volumétrica).

Generalmente se observa la dilatación lineal al tomar un trozo de material en forma de barra o alambre de pequeña sección, sometido a un cambio de temperatura, ya que el aumento que experimentan las otras dimensiones son despreciables frente a la longitud.

Así pues, el coeficiente de dilatación lineal mide la dilatación producida en un elemento por cada grado de aumento de temperatura y en cada metro lineal. Siendo Los valores más comunes:

Tabla 3. Dilatación térmica en algunos materiales

Material	Coefficiente de dilatación térmica ($\times 10^{-5}$)
Hormigón	1,17
Acero	1,2
Hierro	1,1
Ladrillo	0,9
Madera	0,2-0,9

Por ejemplo, el coeficiente de dilatación térmica del acero es de 0,00012 (1/ °C), y el del hormigón es aproximadamente el mismo.

Esto significa que una viga, por ejemplo, de hormigón armado de 10 metros de longitud que, durante el proceso de un incendio, pase de una temperatura ambiente de 20°C a 400°C, sufrirá una dilatación lineal de:

$$a = 0,000012 \cdot 10 \cdot 480 = 0,0576 \text{ m} = 5,76 \text{ cm}$$

Este aumento de longitud provoca empujes laterales que pueden provocar el colapso de la estructura.

3. ACCIONES EN LA EDIFICACIÓN

Según la normativa edificatoria en vigor, el Código Técnico de la Edificación, en su Documento Básico de Seguridad Estructural, Acciones en la Edificación “CTE DB SE AE”, las fuerzas, cargas o sollicitaciones que debe soportar un edificio se clasifican en las siguientes categorías:

- **Acciones permanentes:** cargas que actúan con carácter permanente en la edificación y permanecen constantes a lo largo de la vida útil de ésta. Se clasificarán en: Peso propio / Pretensado / Acciones del terreno.
- **Acciones variables:** cargas que pueden actuar o no en la edificación y cuya cuantía puede ser variable en el tiempo. Distinguiremos: Sobrecarga de uso / Acciones sobre barandillas y elementos divisorios / Viento / Acciones térmicas / Nieve.
- **Acciones accidentales:** cargas debidas a riesgos naturales o accidentes por riesgos antrópicos. Distinguiremos: Sismo / Incendio / Impacto.

3.1. ACCIONES PERMANENTES

3.1.1. PESO PROPIO

Peso de los elementos constructivos de un edificio. Se incluyen todos los materiales y elementos que se utilizan en su ejecución: estructura, cerramientos, tabiquería, acabados, instalaciones, etc. El peso propio de los elementos constructivos, se determinará, en general, a partir de las dimensiones de los elementos constructivos y el peso de sus materiales. Se indican en las tablas 4 y 6, los valores más significativos de los pesos propios de materiales y elementos constructivos recogidos en el CTE, ante una potencial intervención de bomberos.

3.1.2. PRETENSADO

Esfuerzos debidos a ciertos procesos constructivos asociados al hormigón armado (tensado de las barras de acero y compresión de la masa de hormigón, previo al fraguado de este último). No supondrá un valor de referencia ante una intervención de bomberos, por lo que tan solo se verificará si se siguen ejerciendo acciones de pretensado o no sobre una estructura para identificar posibles problemas de estabilidad.

3.1.3. ACCIONES DEL TERRENO

Esfuerzos generados y transmitidos a la estructura por parte del terreno en contacto con el edificio (peso terreno, empujes, hundimientos, etc), y cuya cuantía es estimada por el Código Técnico de la Edificación (concretamente en el DB-SE-C: Documento Básico Seguridad Estructural - Cimientos). Para

su cálculo será esencial la identificación del material considerándose básicamente suelos de origen sedimentario (bien arcillas, bien gravas o arenas) y la altura de las mismas.

A efectos del presente manual, consideraremos los siguientes valores de referencia para las acciones permanentes:

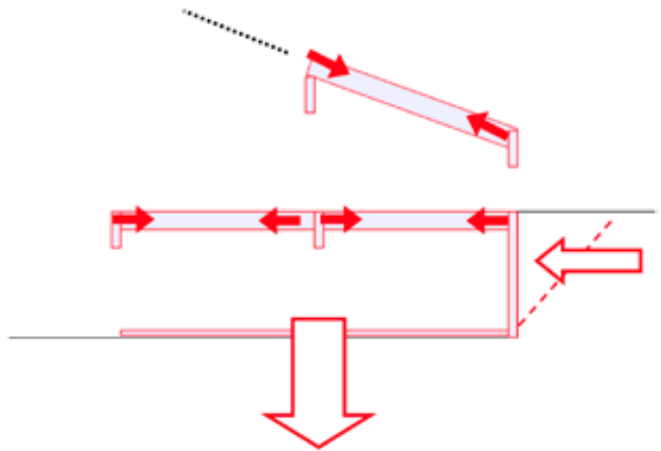


Imagen 14. Acciones permanentes

Tabla 4. Peso propio de materiales

Material	Peso específico (kN/m³)	Material	Peso específico (kN/m³)
Cal	13	Adobe	16
Yeso	15	Ladrillo cerámico	12-15
Cemento	16	Bloque hormigón	13-16
Mortero cemento	19-23	Piedra natural	24-28**
Hormigón	24+1*	Madera	3,5 – 5,0
Acero	77 – 78,5		

* En hormigón armado con armados ordinarios, aumenta 1kN /m³

** Basalto: 30 kN/m³

Tabla 5. Empuje del terreno

Profundidad	Arcilla kN/m²	Grava/Arena kN/m²
1 m	5	3,3
2 m	10	6,6
3 m	15	10

Tabla 6. Peso de elementos constructivos

	Peso específico aparente
Cubiertas	1,0-2,5 kN/m²
Forjados	2,0-5,0 kN/m²
Solados	0,5-1,5 kN/m²
Cerramientos exteriores (h= 3 m)	7,0 kN/m
Particiones interiores (h=3 m)	3,0-5,0* kN/m

* En viviendas se puede adoptar el valor medio 1kN/m²

3.2. ACCIONES VARIABLES

3.2.1. SOBRECARGA DE USO

Peso que debe soportar la estructura debido a todos los elementos necesarios para el desarrollo del uso al que se destina el edificio (comercial, vivienda, residencial público,...). Las sobrecargas de uso podrán ser uniformes (kN/m^2) o concentradas (kN), en la tabla 7 se indican los valores más comunes recogidos en el CTE DB SE AE en el esquema que aparece más adelante.

3.2.2. ACCIONES SOBRE BARANDILLAS Y ELEMENTOS DIVISORIOS

Fuerza horizontal uniforme que debe resistir la estructura propia de barandillas, petos, miradores, balcones o escaleras. Si bien el CTE estipula resistencias mínimas de entre 1- 3 kN/m según las categorías de uso. Ante una potencial intervención de bomberos y dado que desconocemos estado y resistencia real de las barandillas y elementos divisorios en cuestión consideraremos resistencias máximas de 0,5 kN/m .

3.2.3. VIENTO

Acciones (presiones y succiones) que ejerce el viento sobre la estructura dependiendo de la forma de la misma, su altura, su pendiente de cubierta o la zona geográfica en la que se encuentra el edificio. De forma simplificada, como valor en cualquier punto del territorio español, puede adoptarse 0,5 kN/m^2 .

3.2.4. ACCIONES TÉRMICAS

Los edificios y sus elementos están sometidos a deformaciones y cambios geométricos debidos a las variaciones de la temperatura exterior, a su vez condicionada por las particularidades climáticas del lugar, orientación, exposición del edificio, características de los materiales, calefacción / aislamiento, etc.



Las deformaciones debidas a las temperaturas conducen a esfuerzos y tensiones en otros elementos constructivos vecinos, por lo que, de manera análoga a las acciones de los pretensados, ante una potencial una intervención de emergencia únicamente deberemos centrarnos en la búsqueda de existen o no de deformaciones debidas a tales causas térmicas y sus potenciales consecuencias sobre terceros elementos.

En edificios con estructura de hormigón o acero, pueden no considerarse acciones térmicas cuando se dispongan de juntas de dilatación cada 40 m máximo.

3.2.5. NIEVE

Es necesario prever la sobrecarga por acumulación de nieve en cubiertas, para lo cual habrá de considerarse las sobrecargas atendiendo a la zona climática donde se sitúe el edificio e inclinación de las cubiertas.

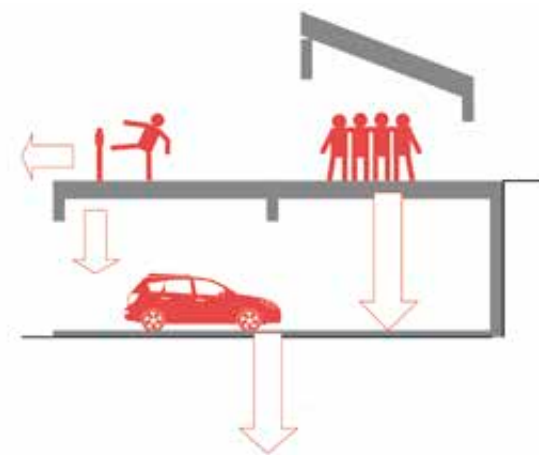
En cubiertas planas de edificios en localidades con altitud inferior a 1.000 m, basta considerar una carga de nieve de 1,0 kN/m^2 .



Acciones térmicas

Viento 5kN/m^2

Nieve 1kN/m^2



Imágenes 15, 16, 17 y 18. Acciones variables.

Tabla 7. Sobrecarga de uso

Tipo de ocupación	Uso /Recinto/ Elemento	Carga uniforme	Carga concentrada
Acceso restringido	Zonas con dormitorios: - Viviendas - Hospitales - Hoteles, etc	2 kN/m^2	2 kN/m^2
	Cubiertas sin uso público	1 kN/m^2	2 kN/m^2
Acceso público	Uso Comercial, pública concurrencia (zonas de aglomeración), etc	5 kN/m^2	7 kN/m^2
Acceso vehículos ligeros	Áreas circulación y aparcamiento	2 kN/m^2	20 kN/m^2

3.3. ACCIONES ACCIDENTALES

Cargas debidas a riesgos naturales o accidentes por riesgos antrópicos:

3.3.1. SISMO

Respuesta previsible de un edificio ante un movimiento sísmico. La protección de la edificación ante dicho fenómeno se recoge específicamente en la norma sismorresistente (NCSR-02> RD 997/2002 de 27 de septiembre), y se consideran como peligrosos aquellos sismos con aceleración superior a 0,04 veces la gravedad.

3.3.2. INCENDIO

Los edificios deben estar preparados para resistir un incendio durante una serie de minutos para garantizar la seguridad del mismo. El CTE-DB SI establece en función del uso y tamaño que posea un edificio cuáles son los parámetros mínimos en este sentido.

3.3.3. IMPACTO

Acciones en la edificación, generadas por un impacto accidental. Quedan excluidos de tal consideración los impactos premeditados.

En caso de exigirse su consideración por normativa municipal, los valores de cálculo de impacto de vehículos de hasta 30 kN de peso total son de 50 kN en la dirección paralela la vía y de 25 kN en la dirección perpendicular, no actuando simultáneamente.

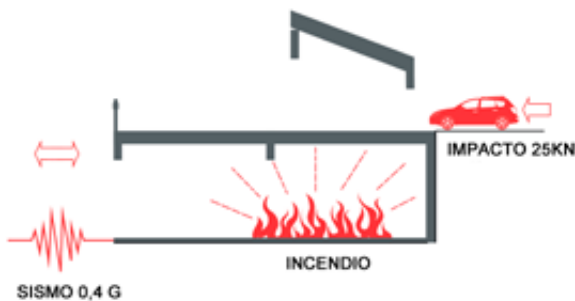


Imagen 19. Impacto de vehículos hasta 30 kN

4. ESFUERZOS / TENSIONES

Toda estructura, afectada por alguna de las acciones de la edificación (cargas), sufrirá un comportamiento mecánico denominado genéricamente “esfuerzo” o “conjunto de esfuerzos” y que se materializará en **tensiones** internas.

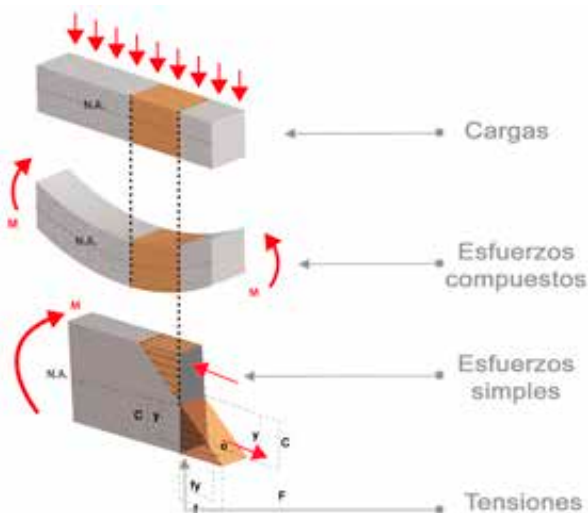


Imagen 20. Esfuerzos/ Tensiones

Definición: entendemos, por tanto, por “tensión”, a la magnitud física que representa la fuerza por unidad de área como resultado de acciones puntuales, lineales o superficiales (de manera uniforme o no), resultado de transmitir la carga a través de la materia del elemento constructivo, hasta el terreno de cimentación.

Unidades: la unidad de referencia a utilizar en el presente manual para cuantificación de las tensiones, es N/mm^2 ; ($1 N/mm^2 = 1Kg/cm^2 = 1MPa$).

Tipos de tensiones:

Desde el punto de vista de la comprensión del comportamiento estructural de una edificación, resultará fundamental el conocimiento de las características de esfuerzos y tensiones, distinguiendo las siguientes tipologías:

Según los **coeficientes de seguridad** utilizados:

- Tensión de rotura (sin ponderar por ningún coeficiente de seguridad): tensión máxima que es capaz de soportar el material, en condiciones de laboratorio.
- Tensión de trabajo (ponderada por coeficientes de seguridad): umbral máximo de tensión para que una estructura trabaje con suficiente grado de seguridad. En función del material, la tensión de trabajo suele ser del orden del 70-80% de su límite elástico.

Según la **naturaleza del esfuerzo**:

- Esfuerzos simples (compresión, tracción y cortante)
- Esfuerzos compuestos (flexión, pandeo, torsión).

4.1. ESFUERZOS SIMPLES

4.1.1. COMPRESIÓN

Estado de tensión mediante el cual las partículas del material tienden a reducir su distancia relativa entre sí, es decir, el material se aprieta. Este esfuerzo se crea cuando a un material se le somete a unas fuerzas con la misma dirección y sentido opuesto hacia el interior del material. Elementos constructivos frecuentemente comprimidos son: pilar, soporte, pie derecho, muro de fábrica, puntales, etc.

4.1.2. TRACCIÓN

Estado de tensión en el cual las partículas del material tienden a separarse unas de otras, es decir, el material se estira. Este esfuerzo se crea cuando a un material se le somete a unas fuerzas con la misma dirección y sentido opuesto hacia el exterior del material. Elementos constructivos frecuentemente traccionados son: Tirante.

4.1.3. CORTANTE / CORTADURA / CIZALLADURA

Es el estado de tensión en el cual las partículas del material se deslizan con movimiento relativo entre unas y otras. Es el esfuerzo que se crea al someter a una pieza a dos fuerzas con direcciones paralelas pero no coincidentes y sentidos opuestos. Ejemplo: se producen en los encuentros de una viga con un pilar.



Imagen 21. Compresión



Imagen 22. Tracción



Imagen 23. Cortante

4.2. ESFUERZOS COMPUESTOS

Los estados tensionales compuestos son combinaciones de los tres estados anteriores:

4.2.1. FLEXIÓN (O FLEXIÓN PURA)

Es el esfuerzo resultante de someter a una pieza predominantemente longitudinal, a una carga transversal. Como regla general, el elemento que recibe este esfuerzo, sufrirá simultáneamente en la parte inferior de la pieza esfuerzos de tracción y en la parte superior esfuerzos de compresión (Ej: vigas biapoyadas). Sin embargo, en el caso de elementos horizontales en voladizo, la flexión se invierte, induciendo a tracciones en las fibras superiores y compresiones en las inferiores. Dicho esfuerzo es característico por tanto elementos horizontales, ejemplo: carrera, jácena, viga, sopanda, etc.

4.2.2. PANDEO (O FLEXIÓN COMPUESTA)

Deformación motivada en elementos con elevada longitud y poca sección (piezas muy delgadas y alargadas), por fuerzas de compresión en la dirección de su directriz. Ejemplo: una tirante sometida a compresión.

4.2.3. TORSIÓN

Es el esfuerzo que se crea al someter a una pieza a una fuerza circular. Ejemplo: voladizos.



Imagen 24. Flexión



Imagen 26. Torsión

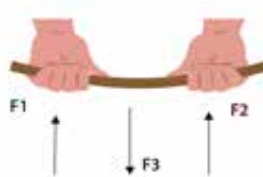


Imagen 25. Pandeo

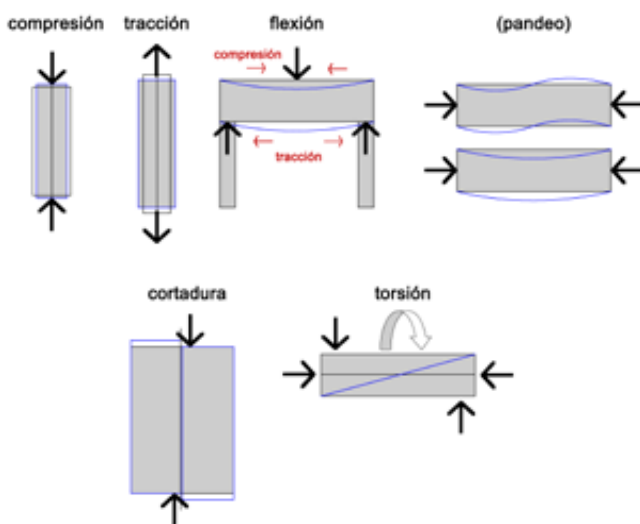


Imagen 27. Esfuerzos más comunes en edificación

En un conjunto estructural podemos distinguir distintos esfuerzos en función de la posición de las cargas y de cada uno de sus elementos. A modo de ejemplo basta con analizar el tradicional ejemplo del columpio:

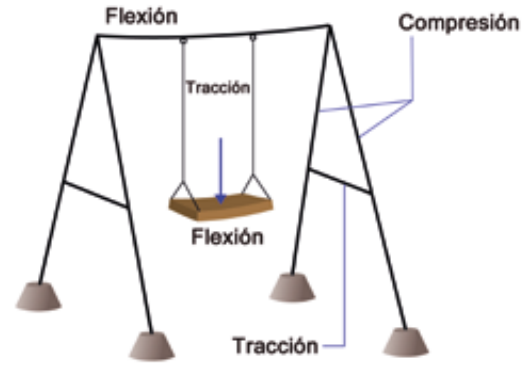


Imagen 28. Ejemplo del columpio

Representación gráfica: con objeto de irnos familiarizando con la identificación y manejo elemental de los esfuerzos anteriores y su aplicación a la edificación, es fundamental conocer los códigos de representación básica de los esfuerzos más comunes. Analizaremos, por tanto, las representaciones de los esfuerzos de compresión, tracción, cortante y flexión.

• Compresiones y tracciones:

La representación de las tensiones de compresión y tracción tendrá lugar mediante líneas isostáticas (puntos con tensiones de igual valor), cuya ubicación vendrán condicionadas por los nudos estructurales en cada elemento constructivo, ampliamente desarrollados en los epígrafes posteriores.

Para ilustrar el ejercicio, se disponen a continuación las líneas isostáticas de dos vigas con idéntica carga, geometría y material, variando las líneas de compresión o tracción según los distintos nudos en sus extremos.

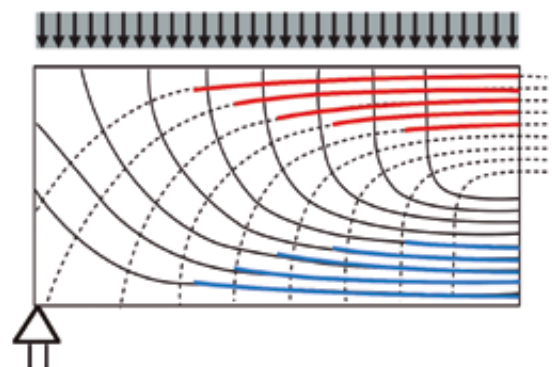


Imagen 29. Viga apoyada/articulada

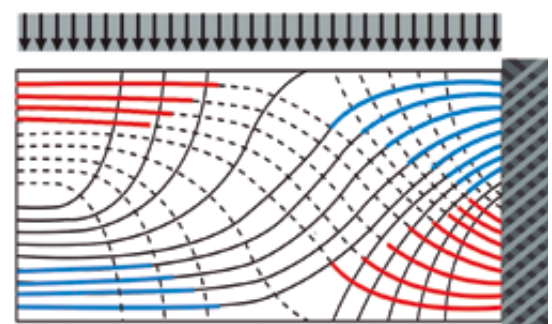


Imagen 30. Viga empotrada

- **Cortantes y Flexiones:**

Si analizamos el material anterior a nivel microscópico, el comportamiento del mismo será como continua:

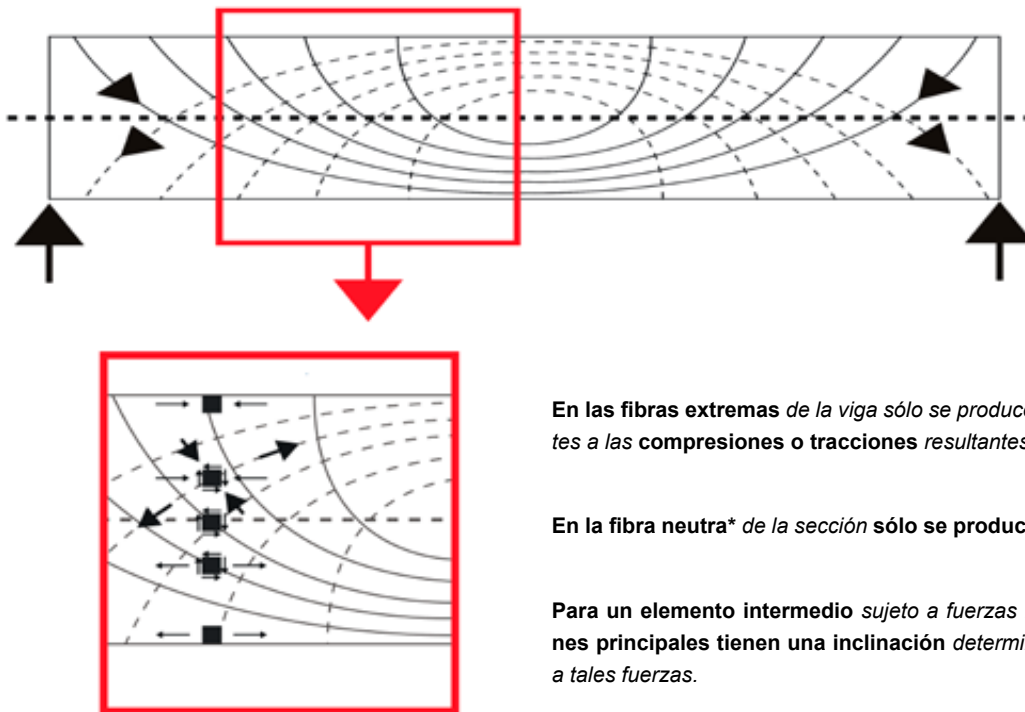


Imagen 31. Cortantes y flexiones

En las fibras extremas de la viga sólo se producen tensiones normales, equivalentes a las compresiones o tracciones resultantes de la flexión.

En la fibra neutra* de la sección sólo se producen tensiones debidas al cortante.

Para un elemento intermedio sujeto a fuerzas normales y cortantes, las tensiones principales tienen una inclinación determinada por las magnitudes relativas a tales fuerzas.

*Definimos fibra neutra como la línea imaginaria que pasa por el centro de gravedad de la sección transversal de una pieza sometida a flexión y que no está sometida a esfuerzos de flexión.

Por tanto, para un correcto análisis básico de los elementos que trabajan a flexión, deberemos analizar tanto su cortante (tensión en fibra neutra), como su momento flector (compresiones/tracciones en fibras externas):

- **Cortante. Tipologías:**

- **Esfuerzo cortante vertical:** esfuerzo cortante desarrollado a lo largo de una sección transversal de una viga, para resistir el cizallamiento transversal. Alcanza su máximo valor en la fibra neutra y decrece de forma no lineal hacia las caras exteriores. Se relaciona íntimamente con la flexión.
- **Esfuerzo cortante horizontal (o longitudinal):** esfuerzo cortante desarrollado para evitar el deslizamiento a lo largo de planos horizontales de una viga, sometida a carga transversal, igual en cada punto al esfuerzo cortante vertical en ese mismo punto.

Los diagramas de cortantes son la representación gráfica

de la variación en magnitud de la fuerza cortante (vertical) a lo largo del eje de un miembro estructural (fibra neutra), para un determinado conjunto de cargas transversales y condiciones de apoyo.

- **Flexión:**

Acción de inducir a una parte de una estructura a girar bajo la acción de las fuerzas externas a que está sometida. Tal y como hemos visto en epígrafes anteriores, la flexión es un esfuerzo compuesto por compresiones y tracciones y su intensidad y características vendrá definida por los momentos flectores.

Los diagramas de momentos flectores son la representación gráfica de la variación en magnitud del momento flector a lo largo de un elemento estructural para un determinado conjunto de cargas transversales y condiciones de apoyo. A menudo, la forma del diagrama del momento flector permite determinar la deformación de la estructura sometida a flexión.

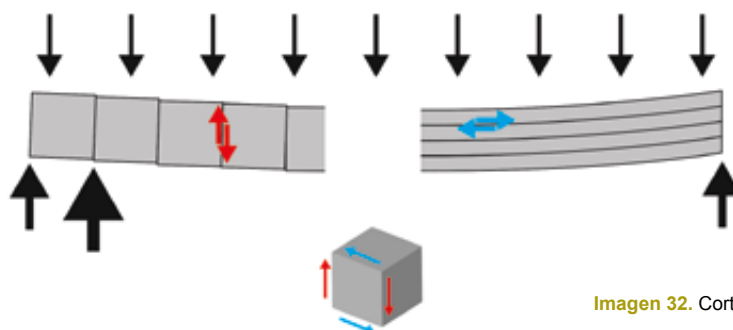


Imagen 32. Cortantes verticales+horizontales

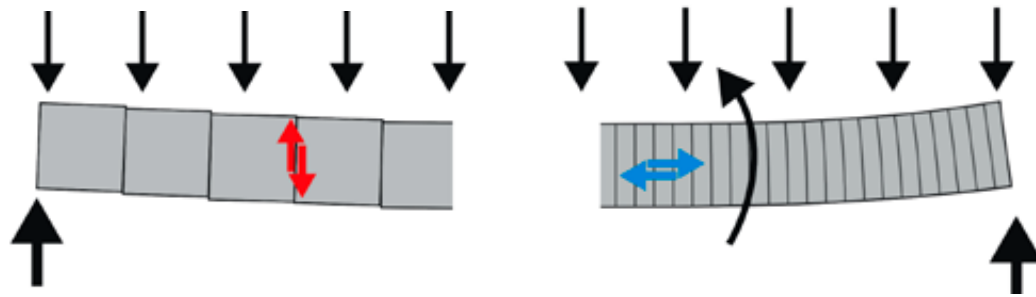


Imagen 33. Cortante y flexión

Dado que el cortante (vertical) y la flexión van íntimamente asociados, su representación gráfica va íntimamente relacionada y se suelen representar una junto a la otra.

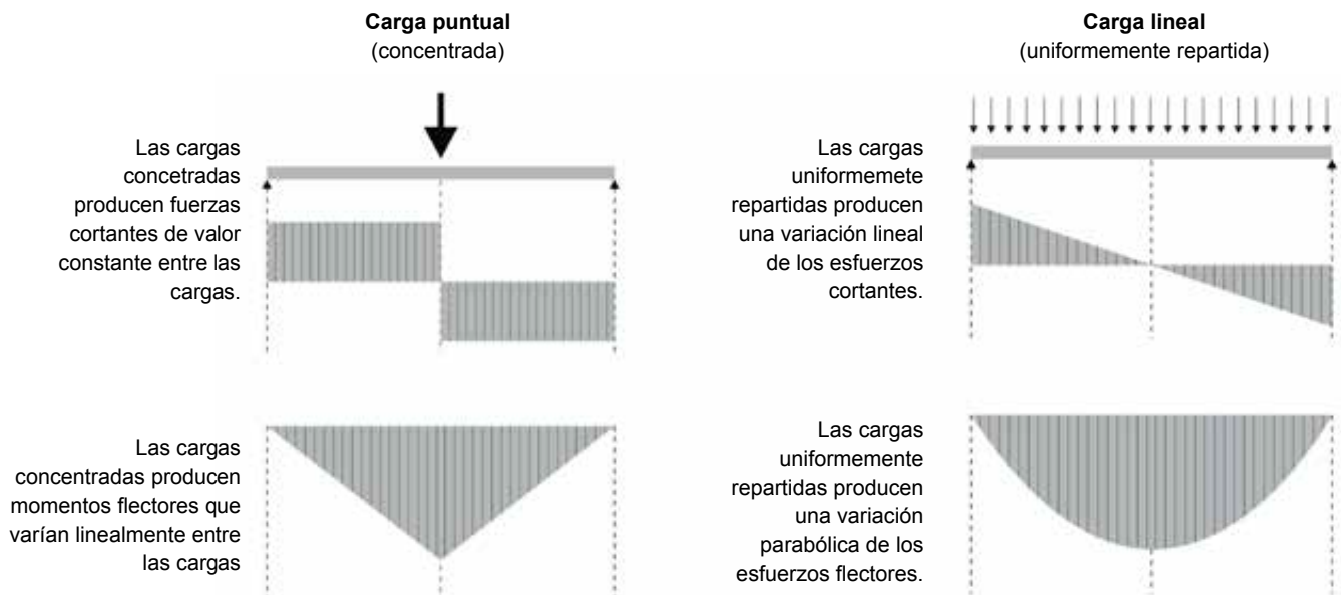


Imagen 34. Carga puntual / carga lineal

Los diagramas de momentos, al contrario que los de cortante, se suelen representar con los momentos negativos en la parte superior, dado que dicha representación suele acercarse a la deformada real de la estructura. Además, los puntos en los que la gráfica de cortantes corta al eje de abscisas, se corresponden con los puntos de momento nulo (de especial

importancia a la hora de identificar los puntos de apeo por los cuerpos de bomberos).

Con el fin de familiarizarnos con las anteriores representaciones, representaremos a continuación los diagramas de cortantes y flectores para los casos de vigas más frecuentes que analizaremos posteriormente en el presente manual:

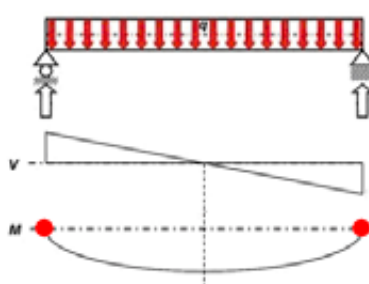


Imagen 35. Viga articulada-apoyada 1 m.

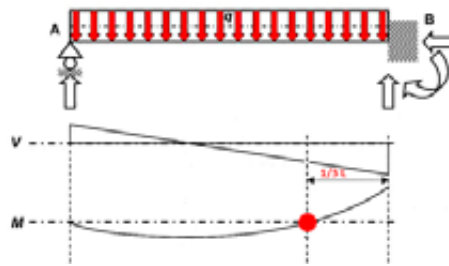


Imagen 36. Viga articulada-empotrada

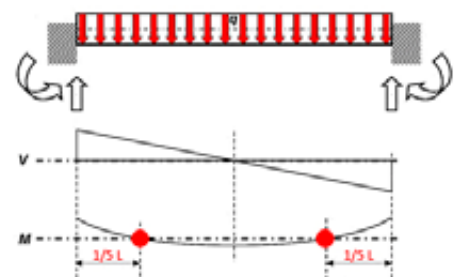


Imagen 37. Viga empotrada-empotrada

Comparando las tres vigas, el cortante es idéntico dado que las cargas verticales no varían. Sin embargo, los momentos serán distintos según los nudos o conexiones en los extremos de las vigas.



5. MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Definición: definimos como materiales de construcción, al conjunto de materias primas, cualquiera que sea su naturaleza, composición o forma, que puestos en obra mediante las técnicas constructivas adecuadas, generan la materialización de un elemento constructivo en particular, y de una edificación en sentido general.

Disponibilidad: debido a la importancia económica y social del sector de la construcción, se requieren ingentes cantidades de materiales de construcción en la actividad de la edificación, motivo por el cual, la mayor parte de ellos son elaborados a partir de materias primas de gran disponibilidad como son los áridos (arena, grava) o la arcilla.

Comportamiento mecánico: es frecuente que para una primera aproximación al estudio de los materiales de construc-

ción, se utilice como parámetro básico su comportamiento estructural ante los esfuerzos, distinguiendo:

- **Materiales tenaces:** materiales que antes de fracturarse absorben energía, debido a su alta ductilidad (deformabilidad). Trabajan muy bien por tanto a compresión como a tracción, por lo que son muy flexibles. Son claros ejemplos la madera o el acero.
- **Materiales frágiles:** materiales con comportamiento inverso a la tenacidad, es decir, con buen comportamiento a compresión, mal a tracción y, por lo tanto, no soportan flexiones. Son materiales de “carácter másico”, tales como la piedra y el ladrillo.

Para un completo análisis de las características de los materiales que comúnmente se localizarán en las edificaciones objeto de intervención, utilizaremos una visión más amplia que únicamente el criterio anterior, considerando conceptos como su origen, naturaleza, proceso de fabricación o ejecución.

5.1. MATERIALES PÉTREOS

Tabla 8. Materiales pétreos

PÉTREOS NATURALES	<ul style="list-style-type: none"> • Rocas ígneas • Rocas sedimentarias • Rocas metamórficas 									
	Materiales conformados	<table border="1"> <tr> <td>Aglomerantes</td> <td>Arcilla → Tapial</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">Conglomerantes</td> <td>Aéreos</td> <td>Yeso Cal aérea</td> </tr> <tr> <td>Hidráulicos</td> <td>Cal hidráulica Cemento</td> </tr> <tr> <td>Bituminosos</td> <td>Alquitrán Betún Asfalto</td> </tr> </table>	Aglomerantes	Arcilla → Tapial	Conglomerantes	Aéreos	Yeso Cal aérea	Hidráulicos	Cal hidráulica Cemento	Bituminosos
Aglomerantes	Arcilla → Tapial									
Conglomerantes	Aéreos	Yeso Cal aérea								
	Hidráulicos	Cal hidráulica Cemento								
	Bituminosos	Alquitrán Betún Asfalto								
PÉTREOS ARTIFICIALES		Áridos Agua								
	Materiales compuestos	Pasta Mortero Hormigón								
	Piedra	Sillar Sillarejo Mampuesto								
	Elementos de fábrica	<table border="1"> <tr> <td>Arcilla</td> <td>Adobe Ladrillo cerámico Arcilla Aligerada o Termoarcilla</td> </tr> <tr> <td>Hormigón</td> <td>Bloque hormigón</td> </tr> </table>	Arcilla	Adobe Ladrillo cerámico Arcilla Aligerada o Termoarcilla	Hormigón	Bloque hormigón				
Arcilla	Adobe Ladrillo cerámico Arcilla Aligerada o Termoarcilla									
Hormigón	Bloque hormigón									

5.1.1. MATERIALES PÉTREOS NATURALES

Definición: materiales extraídos directamente de la naturaleza, los cuales presentan la propiedad de que, para sufrir modificaciones sensibles en su estructura en presencia del agua, necesitan periodos de tiempo superiores a la vida útil de un edificio.

Uso: son muy apreciados en la construcción debido a su resistencia o durabilidad frente a los agentes medioambientales, sin embargo presentan una serie de inconvenientes (alto coste, poca plasticidad, fragilidad, etc.), que hacen que hayan sido paulatinamente relegados por otros materiales de procedencia artificial o manufacturados.



En la actualidad, los materiales pétreos naturales (o rocas) raramente se suelen emplear como materiales estructurales, sino que fundamentalmente se usan como materia prima de otros materiales (ej: cementos), o como elementos de acabado de paredes y suelos.

Tipos de rocas: en función de su origen podemos clasificarlas en ígneas, metamórficas o sedimentarias.

a) Rocas ígneas

Definición: proceden de la solidificación del magma del interior del planeta.

Tipologías:

- **Intrusivas, plutónicas o magmáticas:** procedentes de la solidificación del magma en el interior de la corteza terrestre. Se caracterizan por ser materiales muy densos y resistentes. Ej: granito; empleado en elementos estructurales (cimentaciones, muros de carga, etc), así como acabados (pavimentación).
- **Extrusivas, volcánicas o eruptivas:** procedentes de la solidificación y enfriamiento del magma en la superficie de la corteza terrestre. Son menos densas y resistentes que las rocas intrusivas y mucho más oscuras. Ej: basalto, con uso similar al granito.



Imagen 38. Plutónicas



Imagen 39. Volcánicas

b) Rocas sedimentarias

Definición: materiales resultado del proceso sedimentario sobre rocas preexistentes, acumulándose los sedimentos en capas paralelas que, sometidos a procesos físicos y químicos (diagénesis), generan materiales más o menos consolidados de cierta consistencia.

Tipologías:

En función de su origen distinguiremos:

- Dentríticas:** por alteración física de otras rocas preexistentes. Se clasifican a su vez en sueltas y compactas.
- No dentríticas:** de origen químico, por precipitación (cristalización), de sustancias en disolución y posterior consolidación.

Tabla 9. Rocas según su origen

DENDRÍTICAS		NO DENDRÍTICAS
Sueltas	Compactas	<ul style="list-style-type: none"> • Arcilla • Caliza • Yeso
Gravas →	Conglomerados	
Arenas →	Arenisca	
Limos →	Lutita	

DENDRÍTICAS



Imagen 40. Gravass



Imagen 41. Conglomerados



Imagen 42. Arenas



Imagen 43. Areniscas



Imagen 44. Limos



Imagen 45. Lutitas

NO DENDRÍTICAS



Imagen 46. Arcilla



Imagen 47. Calizas



Imagen 48. Yesos

Uso: las rocas sedimentarias son las más importantes en los procesos constructivos (fabricación de materiales y elementos constructivos), por lo que sus dimensiones y características son estrechamente regulados por el CTE DB SE-C:

	Suelos gruesos (mm)		Suelos finos (mm)
Gravas →	2,0 – 60,0	Limos →	0,002-0,060
Arenas →	0,06-2,00	Arcillas →	< 0,002

b.1.1. Gravass: fragmentos de roca procedentes de la trituración de rocas naturales o artificiales, empleados en mampostería, pavimentos y elaboración de hormigones

b.1.2. Arenas: elemento esencial en la elaboración de morteros y hormigones.

b.2.1. Arcillas: su composición microscópica, propicia un gran almacenamiento de agua generando una gran plasticidad de la arcilla. Se emplea en todas las clases de ladrillos (adobe) y elementos cerámicos (ladrillos cerámicos, tejas, baldosas, etc).

c) Rocas metamórficas

Definición: rocas originadas a partir de la transformación de rocas ígneas y sedimentarias a base de procesos basados en el incremento de presión y temperatura, respecto las que reinaban en su génesis, dan lugar a cambios en su composición y estructurales, dando lugar a nuevos minerales.

Los factores que causan el metamorfismo son:

- **Altas temperaturas:** entre los 150-800°C, se rompen los enlaces entre átomos y se favorecen las reacciones.
- **Presión:** se manifiesta de tres formas:
 - **Litostática:** debida al peso de las capas superiores.
 - **Confinante:** debida a la presencia de fluidos en la roca.
 - **Dirigida o tectónica:** deforman la roca y disponen sus estructuras y minerales en dirección perpendicular al esfuerzo.
- **Reacciones químicas:** propician un cambio de textura, aparición de la estructura exfoliable, así como cambios mineralógicos asociados a la pérdida de agua y carbono.



Imagen 49. Reacciones químicas

Uso: debida a su baja resistencia y su característica exfoliabilidad, su uso es bastante limitado como elementos para revestimientos de cubiertas, fachadas o suelos.

Tipologías: dentro de las rocas metamórficas, hay cuatro series de rocas (evoluciones de rocas más frecuentes) siendo la más popular e intensa la “serie pelítica”:

Arcilla > Pizarra > Esquisto > Micacita > Gneis > Migmatita



Imagen 50. Tipos de rocas



A partir de arcillas (origen sedimentario) y mediante incrementos de presión y temperatura, se van generando sucesivamente las rocas indicadas, siendo cada una de ellas de mayor resistencia y compacidad que las anteriores.

5.1.2. MATERIALES PÉTREOS ARTIFICIALES

Para un correcto desarrollo del presente epígrafe, clasificaremos los elementos pétreos artificiales, obtenidos a base de procesos industriales o manufacturados, en función de los procesos de amalgama o cementación de sus partículas, distinguiendo dos tipologías básicas:

- Materiales formáceos:** material a base de mezcla fluida en estado plástico (pastoso), que tras ser vertido en un molde, obteniendo la forma de éste tras un periodo de endurecimiento.
- Elementos de fábrica:** conjuntos constructivos a base de pequeños elementos prefabricados sólidos, puestos en obra mediante elementos de conexión (aglomerantes y conglomerantes).



Imagen 51. Materiales formáceos



Imagen 52. Fábricas

a) Materiales formáceos o conformados

De acuerdo a la anterior definición y según la RAE, distinguiremos:

- I. **Materiales básicos** (conglomerantes / aglomerantes, áridos y agua).
- II. **Materiales compuestos** (pasta, mortero y hormigón). (ver página 21)

I. Dentro de los **materiales básicos** distinguimos:

- I.1. **Aglomerantes:** conjunto de materiales capaces de unir fragmentos de una o varias sustancias y dar cohesión al conjunto por efectos de tipo exclusivamente físico (generalmente por solidificación por secado). Son materiales aglomerantes, el barro, la cola, etc. Al producto material final se le denomina aglomerado.
- I.2. **Conglomerantes:** materiales capaces de unir fragmentos de una o varias sustancias y dar cohesión al conjunto mediante transformaciones químicas en su masa, que originan nuevos compuestos. El material final recibirá la denominación de conglomerado.
- I.3. **Áridos:** materiales granulares inorgánicos de tamaño variable, usados para la fabricación de morteros y hormigones.
- I.4. **Agua:** elemento que propicia la reacción química de los conglomerantes.

I.1. Aglomerantes

Tapial (Aglomerados de arcilla)

Definición: material localizado en elementos de construcción verticales (muros), mediante tongadas apisonadas y moldeadas directamente en el propio encofrado de madera.

Propiedades y características:

- **Densidad:** 16-21 kN/m³, es decir, pesa algo más que sus productos de arcilla cocida (ladrillo perforado y el hueco), a pesar de tener un peor comportamiento estructural.
- **Resistencia:** muy baja; 1,5 N/mm². Por lo que los elementos estructurales fabricados a base del citado material serán de grandes dimensiones para sustentar pequeñas cargas.
- **Higroscopicidad:** aunque posee una menor absorción de la humedad ambiental o de los agentes meteorológicos que materiales como el yeso, posee una baja durabilidad frente a los agentes atmosféricos,
- **Aislamiento térmico:** el tapial presenta un excelente aislamiento térmico a la par que una eficaz transpiración de la presión de vapor, por lo que en las edificaciones en las que se emplea, están dotadas de un razonable confort térmico interior en invierno y una mayor refrigeración en verano.

Ejecución: al presentar el tapial en el momento de su ejecución un estado plástico, deberá contarse con la presencia auxiliar de moldes o encofrados donde verterlo hasta la adquisición de la consistencia sólida.

Dado que el material se fabrica *in situ*, la mezcla no es preciso que sea tan grasa como la de los adobes, y basta con que

tenga el 15-20% de arcilla, a la que se le suele añadir paja u otros materiales para dotarles de mayor resistencia.

Preparada la mezcla, se va vertiendo en tongadas de unos 20 cm de altura, a fin de evitar la decantación de las partículas más pesadas al fondo del encofrado.

Uso: el uso del tapial se circunscribe en la actualidad a obras de restauración o reparación de edificaciones preexistentes, ya que sus propiedades son ampliamente superadas por prácticamente el resto de materiales constructivos, con costos de ejecución material mucho menores.



Tamizado tierra



Mezcla arido, paja y agua sin formar barro



Encofrado y vertido



Apisonado

Imagen 53. Uso de aglomerados

I.2. Conglomerantes

Definición: material que mediante transformaciones químicas, propicia la ligazón de uno o varios materiales, a fin de dar cohesión a masas de materiales formáceos. Estos materiales son productos de mezclas plásticas obtenidas por combinación, de conglomerantes, áridos y agua, generalmente usado en obras como elemento de ligazón (piedras y ladrillos) o de revestimiento superficial de paramentos (enlucidos, guarnecidos, revocos, enfoscados, etc.).

Según los componentes utilizados, distinguiremos:

- Conglomerante + Agua = **Pasta**
- Conglomerante + Árido fino + Agua = **Mortero**
- Conglomerante + Árido fino + Árido grueso + Agua = **Hormigón**

El conglomerante es el elemento fundamental de cualquiera de los tres productos: pasta, mortero y hormigón.

Tipos de conglomerantes:

Atendiendo al medio en el que realicen el fraguado, distinguiremos:

- **Aéreos:** adquieren su cohesión y máxima dureza en contacto con el aire. Ej: yeso y cal.
- **Hidráulicos:** fraguan tanto en el aire como en el agua. Ej: cemento y las cales hidráulicas.

- **Hidrocarbonatados:** precisan ser calentados a ciertas temperaturas para su fácil extensión, consolidándose al perder su viscosidad. Ej: alquitrán, betún y asfalto.

1.2.1. Conglomerantes aéreos

- **Yeso:**

Definición: conglomerante aéreo obtenido a partir de la piedra de Aljez (molido y posterior deshidratación + calcinación en horno), ampliamente utilizado en construcción como pasta para guarnecidos, enlucidos y revoques así como pasta de agarre y de juntas.

Propiedades:

- **Densidad:** 15 kN/m³.
- **Resistencia:** muy baja ≥ 2 N/mm².
- **Fraguado:** se produce a gran velocidad y durante el mismo se genera un notable incremento de la temperatura y volumen. Mal conductor del calor y la electricidad, es buen aislante térmico.
- **Tipos:** distinguiremos los siguientes modelos básicos de yeso para la construcción:
 - **(YG) Yeso Grueso de Construcción:** usado como para pasta de agarre, capa base y como conglomerante auxiliar en obra. No se usa nunca como acabado: se localiza por tanto en guarnecidos pero no en enlucidos.
 - **(YF) Yeso Fino de Construcción:** usado en enlucidos sobre revestimientos interiores (guarnecidos o enfoscados).
 - **(YP) Yeso de proyectados:** yeso para aplicación mecánica mediante máquina de proyectar. Se utiliza para revestir interiores tanto en paramentos verticales como horizontales.
 - **(E-30) Escayola:** usada en la ejecución de elementos prefabricados para tabiques y techos.
 - **(E-35) Escayola Especial:** usada en trabajos de decoración, en la ejecución de elementos prefabricados para techos y en la puesta en obra de estos elementos.
 - **Otros yesos:** con propiedades acústicas, exposición al fuego, etc.



YG

YF

YP

E-30

Imagen 54. Tipos de yeso

- **Cal grasa/Cal aérea/Cal:**

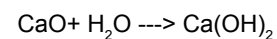
Definición: óxido de calcio alcalino y de color blanco, obtenido a partir de la calcinación de la piedra caliza obtenida en yacimientos denominados "caliches". Si la piedra caliza es pura o tiene un contenido máximo en arcilla de un 5% produce una clase de cal muy blanca (cal grasa o aérea), que forma una pasta muy fina y untuosa cuando se apaga.



Imagen 55. Proceso de Re-carbonatión / Calcinación / Hidratación

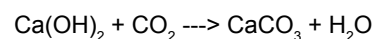
Propiedades:

- **Densidad:** 13kN/m³.
- **Reacciones y productos:** la cal, óxido de calcio (CaO), también llamada **cal viva**, reacciona violentamente con el agua, haciendo que ésta alcance los 90 °C. Se forma entonces hidróxido de calcio, también llamado **cal apagada o muerta** (Ca(OH)₂).



Oxido de calcio + Agua → Hidróxido de calcio

El hidróxido de calcio reacciona otra vez con el óxido de carbono del aire para formar de nuevo **carbonato de calcio** (cal), dando lugar a un endurecimiento de la masa reactiva. El producto resultante es poco resistente al agua.



Hidróxido de calcio + Dióxido de carbono → Carbonato de calcio + Agua

Uso: se mezcla con agua y pigmentos para preparar mezclas de gran plasticidad y pinturas, o bien mezclándola con arena para preparar morteros.



Caliches



Cal viva(CaO)



Cal apagada(Ca(OH)₂)



Carbonato de calcio (CaCO₃)

Imagen 56. Tipos de cal

1.2.2. Conglomerantes hidráulicos

- **Cal hidráulica:**

Definición: variante de la cal viva, con porcentajes de arcilla en la roca caliza superiores al 5%, lo cual le dota de las propiedades hidráulicas, manteniendo el resto de propiedades que posee la cal grasa.

Propiedades: las reacciones y productos son más rápidas que las descritas para la cal aérea y da lugar a productos hidratados, mecánicamente resistentes y estables, tanto al aire como bajo el agua.

Uso: está especialmente recomendada para restauración de muros y fachadas, en soportes antiguos y acabados rústicos.

- **Cemento:**

Definición: mezcla de caliza y arcilla, sometida a calcinación en hornos especiales hasta un principio de fusión, obteniéndose el clinker, que será posteriormente molido. El producto resultante es un polvo muy fino y suave al tacto, que tiene la propiedad de endurecerse al contacto con el agua y se usa como conglomerante en morteros y hormigones.

Tipologías: en función de su naturaleza distinguiremos dos tipos básicos de cementos:

- **Naturales** (rápido y lento)
- **Artificiales**

Debido a su disponibilidad limitada en la naturaleza y facilidad de fabricación, el cemento usado de manera ordinaria en edificación es el artificial, existiendo una amplia gama comercial con diferentes características.

Marco legal y Nomenclatura: al igual que todo producto comercial, los sacos de cemento han de reflejar sus características y propiedades, en la nomenclatura establecida según UNE EN 197-1, como continúa:



Imagen 57. Nomenclatura del cemento

Tabla 10. Nomenclatura del cemento para su identificación comercial

TIPO DE CEMENTO	SUBDIVISIONES DEL CEMENTO PRINCIPAL	ADICIONES
CEM: Cemento común	A, B ó C: Subtipos de cemento (indica el % aditivos), seguidos de guión (-) y la letra del aditivo.	S: Escoria de alto horno O: Humo de sílice P: Puzolana natural Q: Puzolana natural calcinada V: Ceniza volante de sílices W: Ceniza volante calcárea T: Esquistos calcinados-> L, LL: Caliza
CEM I: Cemento portland	M: Cementos portland compuestos.	
CEM II: Cemento portland con aditivos	I, II, III, IV, V (sin las letras CEM): Cementos con características adicionales.	
CEM III: Cemento con escorias de alto horno		
CEM IV: Cemento puzolánico		
CEM V: Cemento compuesto		
CLASE RESISTENTE (Resistencia a compresión en N/mm ²)		TIPOS DE RESISTENCIA
32,5: Resistencia media.		R: Cemento de alta resistencia inicial.
42,5: Resistencia alta.		N: Cemento de resistencia normal.
52,5: Resistencia muy alta.		

Los aditivos, tanto los de origen natural (P, Q, T, L y LL: procedentes de rocas volcánicas y metamórficas) como los de origen artificial (S, O, V y W: resultado de procesos siderúrgicos), propiciarán, en general, un aumento de la resistencia, durabilidad frente a agresiones químicas (cloruros, sulfatos, corrosión o exposición al agua de mar), reducción del calor de fraguado (menor necesidad de agua, retracción y fisuración), ciertas propiedades hidráulicas, etc.

1.2.3. Conglomerantes hidr carbonatados bituminosos

Definición: compuestos de propiedades ligantes que precisan ser calentados a ciertas temperaturas para su fácil extensión (disminución de la viscosidad con la temperatura), consolidándose al perder su viscosidad. Hay que destacar el alquitrán, el betún o el asfalto.

Uso: al ser insensibles al agua les hace idóneos para su empleo en la construcción de carreteras e impermeabilización de superficies.

Tipologías:

- **Alquitrán:** producto bituminoso negro, viscoso, semisólido, obtenido por destilación de la hulla, lignito o madera. Se utiliza como protección del hierro y la madera aplicado en caliente, en forma de pintura y como hidrófugo o impermeabilizante.
- **Betún:** producto negro o parduzco a base de la mezcla de hidrocarburos naturales viscosos o líquidos, obtenidos del refinado del petróleo. Presenta extraordinarias propiedades de impermeabilidad y adhesividad, siendo su uso frecuente en láminas impermeabilizantes de cubierta.
- **Asfalto:** sustancia impermeable de color negro que si bien constituye la fracción más pesada del petróleo crudo, puede llegar a encontrarse libremente. Frecuentemente se usa con arena o gravilla para pavimentar caminos y carreteras.



Imagen 58. Alquitrán



Imagen 59. Betún



Imagen 60. Asfalto

Tipos de áridos:

- Según su origen
- Según el tamaño de sus partículas

Según su origen:

- **Naturales/Rodados:** mayor dureza y resistencia de grano, menor necesidad de agua y mayor limpieza. Son de origen natural y están formados por desgaste, ya sea por erosión o por lavado.
- **Machaqueo / Reciclados / Triturados:** mayor resistencia a tracción, mayor adherencia, pero una mayor dificultad en la puesta en obra. Proviene de la trituración de rocas. Posee mayor resistencia a tracción.
- **Artificiales:** provienen de transformaciones térmicas o de subproductos industriales (escorias, cenizas volantes, arcillas expandidas).



Imagen 61. Áridos naturales



Imagen 62. Áridos triturados



Imagen 63. Áridos artificiales

Según el tamaño de sus partículas (diámetro según CTE DB SE C):

Tabla 11. Tipos de áridos según el tamaño de sus partículas

Suelos gruesos		
Gravas	Gruesas	20,0 - 60,0 mm
	Medias	6,0 - 20,00 mm
	Finas	2,0 - 6,0 mm
Arenas	Gruesas	0,60 - 2,00 mm
	Medias	0,20 - 0,60 mm
	Finas	0,06 - 0,20 mm
Suelos		
Limos	Gruesos	0,020 - 0,060 mm
	Medios	0,006 - 0,020 mm
	Finos	0,002 - 0,006 mm
Arcillas	< 0,002 mm	

1.3. Áridos

Definición: los áridos son materiales granulares inorgánicos de tamaño variable, usados para la fabricación de morteros y hormigones que influyen de forma determinante en las propiedades físicas del mortero cuando se unen a un conglomerante.

Propiedades:

- **Naturaleza:** inerte y no deben actuar químicamente frente a los componentes del cemento o frente a agentes externos (aire, agua, hielo, etc.).
- **Resistencia:** elevada resistencia mecánica.
- **Uso:** ampliamente utilizados tanto en los materiales formáneos como en la fabricación de los elementos de fábrica.

I.4. Agua

Definición: el agua es el elemento que propicia la reacción química de los conglomerantes y por tanto el inicio del proceso de compactación y adquisición de la resistencia de la mezcla conglomerante árido.

Características: como regla general, se podrán utilizar todas las aguas cuya práctica se haya demostrado como aceptable, debiendo vigilar los siguientes aspectos:

- El agua utilizada en amasados o curados no debe tener ningún ingrediente perjudicial en cantidades tales que afecten a las propiedades del material o a la protección de las potenciales armaduras frente a la corrosión, estableciéndose como umbrales de seguridad a tal efecto los siguientes parámetros:

PH ≥ 5

Sulfatos (SO_4) ≤ 1 gramo por litro

Ión Cloruros (CL^-):

Hormigón pretensado:
 ≤ 1 gramo por litro

Hormigón en masa o armado:
 ≤ 3 gramo por litro

- Podrán emplearse aguas de mar o aguas salinas para el amasado o curado de materiales formáceos siempre que no contengan armadura alguna. Se prohíbe expresamente el uso de dicha agua para hormigones armados o pretensados.

II. Materiales compuestos: mezclas y productos

II.1. Pasta

Definición: mezcla plástica a base de conglomerante y agua, cuya reacción química genera material de agarre o pequeños rellenos. De todos modos, hay que señalar que la pasta es únicamente la aplicación plástica de un conglomerante, dado que al no tener árido, no constituye en sentido estricto un conglomerado.

Funciones de sus elementos:

- Conglomerante:**
 - Función física:** envolver y adherirse a la piel de las partículas que debe unir y a su vez ocupar los huecos dejados por los áridos.
 - Función química:** combinarse con el agua, consiguiendo la adherencia y el desarrollo de resistencias.
- Agua**
 - Función física:** disminuye el rozamiento entre las partículas, facilitando la plasticidad.
 - Función química:** se combina con el conglomerante

Tipologías: en función del conglomerante utilizado, distinguiremos “pasta de” cal, yeso o cemento.



Imagen 64. Pasta de cal



Imagen 65. Pasta de yeso



Imagen 66. Pasta de cemento

II.2. Mortero

Definición: mezcla a base de conglomerante, árido fino y agua, de menor plasticidad que la “pasta”, que una vez endurecida es utilizada como revestimiento de paramentos (revocos o enfoscados).

Funciones de sus elementos: complementariamente a las propiedades de las pastas, los áridos tienen una función exclusivamente física, debiendo absorber y transmitir las cargas, así como disminuir las retracciones.

Tipologías: cada tipo de mortero se nombra en función del conglomerante empleado en su elaboración, distinguiendo mortero de yeso, cemento o cal. De manera análoga, cuando haya dos conglomerantes distintos hablaremos de “morteros mixtos”; y En el caso concreto de cemento (aporta resistencia) y cal (aporta flexibilidad), “mortero bastardo”.



Imagen 67. Mortero de cal



Imagen 69. Mortero de cemento



Imagen 68. Mortero de yeso

Marco legal y Nomenclatura: de acuerdo UNE-EN 998-2, los morteros se caracterizan de acuerdo a su resistencia a compresión, designada con la letra M seguida de un valor numérico que indica su resistencia a compresión en N/mm²: M-1; M-2,5; M-5; M-7,5; M-10; M-15; M-20.



Imagen 70. Saco mortero

Imagen 71. Nomenclatura saco mortero

II.3. Hormigón

Definición: elemento conformado a base de conglomerante+agua+árido grueso y, eventualmente, aditivos, el cual es puesto En obra en estado plástico siendo vertido sobre un molde estanco denominado encofrado.

Características

- **Uso:** si bien la aplicación del hormigón en construcciones se remonta a la civilización romana, se considera que su uso generalizado en la construcción se produjo a lo largo del siglo XX. Actualmente es ampliamente debido a la gran disponibilidad, bajo costo de sus materias primas. Y sencillez tanto de los procesos de fabricación como ejecución.
- **Resistencia mecánica:** tiene una aceptable resistencia a compresión, despreciable a tracción y baja a cortante, lo que hace que frecuentemente deba completarse con una estructura de acero (“armado”), que suple sus limitaciones resistentes (tracciones y cortantes). El producto resultante de la unión de hormigón y acero se denomina “hormigón armado”.

Tipologías:

- **Hormigón en masa:** masa pétreo artificial sin armado o complemento estructural en su interior. Únicamente soporta compresiones, por lo que en la construcción lo localizaremos como hormigones de limpieza o cimentaciones rígidas.



Imagen 72. Hormigón en masa

Hormigón armado: hormigón con armadura de acero en su interior, debidamente calculada y posicionada. Este hormigón es apto para resistir esfuerzos de tracción (acero) y compresión (hormigón y acero). La estructura o armado de acero no comenzará a trabajar hasta que una vez ejecutado el elemento constructivo, se realice su desapeo.



Imagen 73. Hormigón armado

- **Hormigones pretensados:** hormigón con estructura de acero en el interior de la masa del material (tendones), con la particularidad de que entra en carga (se tensa), previamente a su desapeo con el fin estructural de disminuir las tracciones generadas por la flexión. En función del momento en el que se tensen las armaduras de acero, distinguiremos:
 - Hormigón pretensado **con armadura pretesa:** la armadura se tesa antes de hormigonar, es decir, en fábrica. El pretensado preteso es la acción de pretensar una pieza de hormigón, confiriendo una tensión inicial a los cables antes de verter el hormigón: Primeramente se tensan los cables entre dos topes hasta alcanzar la tensión prefijada. Seguidamente se vierte el hormigón en el molde que contiene los cables que quedarán embebidos en su masa y se deja curar completamente. Finalmente se cortan los cables, con el resultado de que las tensiones inducidas en los mismos se transfieren al hormigón gracias a los esfuerzos de adherencia (entre hormigón y acero).
 - Hormigón pretensado **con armadura postesa:** la armadura se tesa después de hormigonar, es decir en obra. El pretensado posteso es la acción de pretensado de una pieza de hormigón, tensando los tendones después de que el hormigón haya fraguado.



Imagen 74. Hormigón pretensado (armadura postesa)

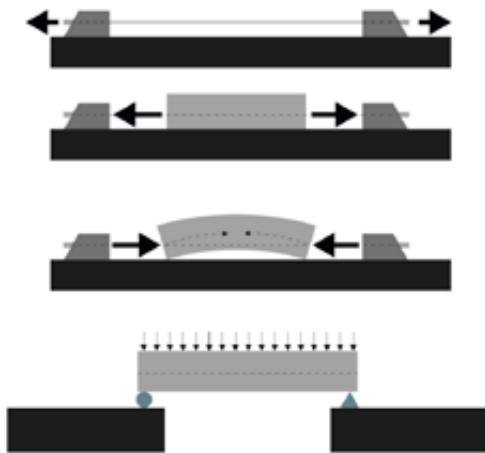


Imagen 75. Pretensados

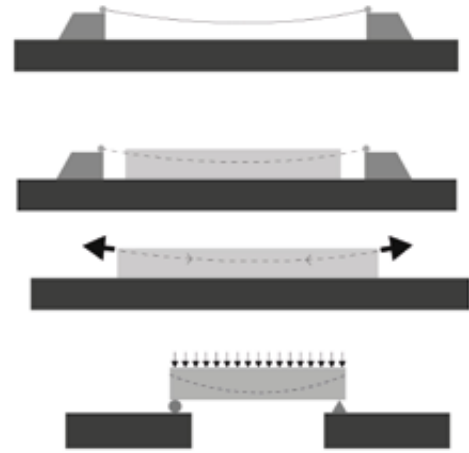


Imagen 76. Postensados

Pretensados

1. Tensado de los tendones.
2. Hormigonado.
3. Liberación de tendones.
4. Pretensión efectiva.



Imagen 77. Pretensados

Postensados

1. Colocación de tendones con vainas.
2. Hormigonado.
3. Tensado de los tendones.
4. Anclaje de tendones.



Imagen 78. Postensados

El proceso de pretensado:

1. En primer lugar se colocan los tendones (constituido por uno o varios tendones) sin tensar, envueltos en unas vainas o fundas.
2. Acto seguido se hormigona la pieza, de manera que la masa de hormigón fresco envuelva perfectamente las vainas y se espera a que endurezca.
3. Una vez endurecido el hormigón, se anclan los tendones por un extremo, mientras se tensan con un gato por el otro, apoyándose en el hormigón de la pieza.
4. Finalmente se anclan ambos extremos y se retira el gato.
5. Finalizada la fabricación del elemento constructivo, las vainas que contienen los tubos se pueden rellenar de una pasta o lecha a presión (armadura adherente o postesado enlechados), o no (armadura no adherente o postesados sin enlechar).

Ventajas de hormigones pretensos y postesos, frente a los hormigones armados:

- Las estructuras se encuentran permanentemente comprimidas, y por consiguiente no fisuran, por lo que resulta ser más rígida, durable y estanca que una estructura de hormigón armado convencional. la deformabilidad inicial es además enormemente reducida, pudiéndose presentar incluso contraflechas (deformación inversa a la prevista).
- Tiene un mejor comportamiento frente al fuego que los forjados reticulares y que las alveoplasas.

- Al completar el tesado de una planta (generalmente al tercer día del hormigonado) la estructura ya es auto-resistente y por lo tanto se puede descimbrar completamente y quitar el 100% de los puntales.
- Todo lo anterior conduce a la posibilidad de reducción de cantos, espesores, cantidad de armaduras pasivas y, en general de peso propio del hormigón armado, lo que permite a su vez, aumentar las luces a cubrir y reducir los plazos de ejecución.

Marco legal y Nomenclatura: de acuerdo a lo dictado por la norma de referencia EHE-08 ("Instrucción de Hormigón Estructural", del Ministerio de Fomento), los hormigones se tipifican según la siguiente nomenclatura:

T - R / C / TM / A

T. Tipología de hormigón: se denominará HM cuando sea hormigón en masa, HA cuando sea hormigón armado y HP cuando sea hormigón pretensado.

R. Resistencia: resistencia característica en N/mm² del hormigón a la compresión a los 28 días, según la escala normalizada: 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 70, 80, 90 y 100.

Las resistencias características más comunes según la tipología de hormigón son:

- HM: ≥ 20 (20, 25, 30) N/mm²
- HA: ≥ 25 (25, 30, 35, 40, 45, 50) N/mm²
- HP: ≥ 25 , pero se suele utilizar ≥ 35 (25, 30, 35, 40, 45, 50) N/mm²

C. Consistencia: tipo de consistencia: S Seca, P plástica, B Blanda, F Fluida y L Líquida.

Se cualificación y consiguiente caracterización se realiza mediante el cono de Abrams:

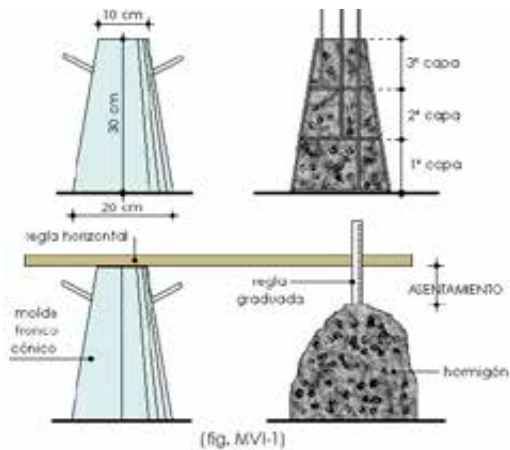


Imagen 79. Cono Abrams

TM. Tamaño máximo del árido (en mm): este parámetro será fundamental para que el hormigón penetre por todos los huecos existentes entre los elementos armados.

A. Ambiente de exposición: designación del ambiente para el que estará preparado el hormigón, para hacer frente a distintas exigencias de humedad, corrosión, ataque químico, heladas, abrasión, etc; a las que estará expuesto el hormigón:

- Clases generales:

> I, IIa, IIb, IIIa, IIIb, IIIc y IV, (Caracterizan el hormigón ante corrosión por cloruros)

- Clases específicas:

> Qa, Qb, Qc (Exposición química).

> H (hielo), F (fundentes), E (abrasión):

Tabla 12. Consistencia de los hormigones frescos

Consistencia	asiento en cono de Abrams (cm)	Compactación
Seca	0 – 2	Vibrado
Plástica	3 – 5	Vibrado
Blanda	6 – 9	Picado con barra
Fluida	10 – 15	Picado con barra
Líquida	16 - 20	Picado con barra



HA-25/S/20/IIa: hormigón armado de resistencia característica a la compresión a 28 días de 25N/mm² de consistencia plástica, con tamaño de árido 20 mm y exposición tipo de ambiente IIa.

Ejecución /puesta en obra: la puesta en obra del hormigón viene condicionada por su estado plástico inicial, distinguiéndose los siguientes periodos:

- **Encofrado:** tras conformación de un molde estanco, resistente y no adherente, se vierte en su interior la masa plástica.
- **Vibrado:** a fin de la adecuada mezcla de los productos con diferente granulometría, penetración de la masa

por todos los huecos entre los armados y expulsión de las burbujas de aire, el hormigón se vibrará por medios mecánicos.

- **Curado:** proceso de hidratación, asociado a complejas reacciones químicas que derivan sucesivamente en los fenómenos de fraguado y curado, dando lugar a un producto final de consistencia pétreo.
 - **Fraguado:** periodo de hidratación del hormigón durante el cual se produce una transformación de su consistencia inicial plástica a sólido. Duración: 2-8h.
 - **Curado (propriadamente dicho)/ endurecimiento:** el periodo del endurecimiento máximo o de adquisición del 100% de su resistencia característica (inferior a la máxima), tiene una duración de 28 días:
 - 24-48h: 50% de su resistencia.
 - 1 semana (7 días): 3/4 de su resistencia máxima.
 - 4 semanas (28 días): Prácticamente su resistencia total.
 - Por su parte, el tiempo mínimo de puesta en carga, se establece en 2 semanas (14-15 días).



Imagen 80. Encofrado



Imagen 81. Vertido



Imagen 82. Vibrado



Imagen 83. Curado

Aditivos: sustancias añadidas con carácter complementario al hormigón, con objeto de modificar alguna de sus características físicas o químicas. Según EHE, no deberán superar el 5% del peso del cemento.

Tipos de aditivos:

- **Reductores de agua / Plastificantes:** disminuyen el contenido de agua de un hormigón para una misma trabajabilidad o aumentan la trabajabilidad sin modificar el contenido de agua.
- **Reductores de agua de alta actividad / Superplastificantes:** disminuyen significativamente el contenido de agua de un hormigón, sin modificar la trabajabilidad o aumentar significativamente la trabajabilidad sin modificar el contenido de agua.



Imagen 84. Separadores



Imagen 85. Distanciadores



Imagen 86. Pasadores



Imagen 87. Conectores



Imagen 88. Berenjenos



Imagen 89. Setas



Imagen 90. Pasatubos



Imagen 91. Cartuchos

- **Modificadores de fraguado / Aceleradores, Retardantes:** modifican el tiempo de fraguado de un hormigón.
- **Inclusores de aire:** producen en el hormigón un volumen controlado de finas burbujas de aire, uniformemente repartidas para mejorar su comportamiento frente a heladas.
- **Multifuncionales:** modificar más de una de las funciones principales definidas con anterioridad

Elementos auxiliares:

- **Separadores:** pieza de pequeño tamaño que eleva el armado sobre el encofrado horizontal para situarlo en su posición correcta durante el periodo de fraguado. Se fabrican en plástico y en hormigón y quedan embebidos dentro del elemento constructivo.
- **Distanciadores:** es un modelo de separador que distancia las armaduras tanto de los encofrados horizontales como verticales, asegurando su recubrimiento total. Se fabrica a base de plástico.
- **Pasamuros:** evita que se adhiera el espadín que separa ambas caras del encofrado al hormigón..
- **Conectores:** conexión entre los distintos elementos resistentes de un forjado mixto (acero-HA).
- **Berenjenos:** pieza de sección triangular dispuesta a fin de matar los vivos de esquinas.
- **Setas:** tapón protector de los extremos de las armaduras a fin de evitar accidentes.
- **Pasatubos:** elementos pasantes dispuestos durante el encofrado a fin de facilitar los pasos de las instalaciones previstas tras el hormigonado.
- **Cartuchos fijación balastradas:** para fijación de balastradas auxiliares.

Comparativa de la resistencia de los conglomerados fabricados a base de cemento:

Hay que resaltar las características resistentes del conjunto de productos básicos de la construcción fabricados a partir del cemento.



Imagen 92. Cemento



Imagen 93. Mortero

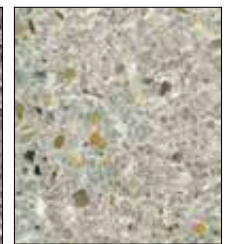


Imagen 94. Hormigón

CEMENTO

32,5-52,5 N/mm²

MORTERO

1,0-25,0 N/mm²

HORMIGÓN

≥ 20,0 – 50,0
(100,0) N/mm²

A partir de una muy buena resistencia de los cementos (32,5-52,5 N/mm²), la adición de árido para fabricación del mortero genera una pérdida de resistencia de un mínimo de un 50% respecto del cemento (1,0-25,0N/mm²).

Sin embargo, paradójicamente la adición de un nuevo árido (grava) para conformación del hormigón, propicia un nuevo incremento de la resistencia hasta niveles similares a los originales (20,0-50,0 N/mm²) y en hormigones de alta resistencia valores superiores hasta los 100,0 N/mm².

Dicho fenómeno es resultado de factores exclusivamente físicos, asociados a la composición espacial generada por los componentes de los materiales objeto de comparación:

- **Cemento-mortero:** el árido aportado al cemento para dar lugar al mortero, propicia estructuras formáceas de mayor volumetría, pero cuyas oquedades entre partículas se traducirán en una deficiente compactación (cemento-árido fino), dando como resultado una menor resistencia unitaria.
- **Mortero-hormigón:** la incorporación del árido grueso a la estructura del mortero, generará una estructura granular heterogénea con oquedades mucho menores o inexistentes, lo que desembocará en una compactación mucha mayor y un nuevo incremento de la resistencia del material.

b) Elementos de fábrica

Conjunto de piezas prefabricados (piedra o ladrillo), trabadas con mortero, a hueso (sin mortero) o con llaves que, para garantizar su estabilidad y resistencia, se disponen según un orden (aparejo), de tal forma que su plano de apoyo se mantenga perpendicular al esfuerzo, y queden trabados entre sí mediante desplazamiento de las juntas verticales.

Si bien su como material estructural fue básico durante el periodo en el que desapareció el uso del hormigón en la construcción (del siglo V al XIX), en la actualidad, las mejores prestaciones resistentes del segundo, unido a la generalización de sistemas estructurales entramados en detrimento de los murales, han propiciado que su uso en elementos estructurales sea muy limitado.

Tipos fábrica según el material empleado:

I. Fábrica de piedra (Sillar, Sillarejo y Mampuesto)

Definición: elemento constructivo generalmente de carácter estructural, constituido a base de piezas “prefabricadas” de piedra natural esculpida en mayor o menor medida trabadas mediante aparejos sencillos.

Características:

- **Ligazón:** las piezas se esculpirán en mayor o menor medida, determinando su colocación mediante mortero, a hueso o a base de llaves (grapasp o armaduras de conexión).
- **Tipologías estructurales:** generarán sistemas estructurales muy másicos a base de tipologías de muros y techos, recogiendo básicamente solicitaciones verticales (muros, pilastras y arcos), que propiciarán esfuerzos básicamente de compresión.
- **Capacidad mecánica:** la piedra natural tienen una muy alta resistencia a compresión. Sin embargo, en caso de prever la aparición de esfuerzos distintos, los elementos constructivos deberán reforzarse (Ej: contrafuertes en muros verticales a fin de absorción de esfuerzos horizontales).

Tipologías: En función del tamaño de la pieza de fábrica y su mayor o menor labra, diferenciaremos las técnicas de Sillar, Sillarejo y Mampuesto.

- **Sillar:** piedra labrada por varias de sus caras, generalmente en forma de paralelepípedo, cuyo elevado peso y tamaño obligaba generalmente a manipularlos mediante máquinas, a diferencia del sillarejo y los mampuestos, que, como su nombre indica, *se ponen con la mano*.
- **Sillarejo:** muro de fábrica construido a base de piedras labradas o simplemente desbastada, de forma paralelepípedica rectangular y pequeñas dimensiones. Especialmente se aplica a la que no atraviesa todo el grueso del muro. Dentro de la técnica del sillarejo, se distinguen dos modalidades:
 - Sillarejo Irregular: las juntas horizontales y verticales se trabajan hasta 15 cm de profundidad.
 - Sillarejo regular: las juntas verticales se trabajan hasta 15 cm de profundidad, las horizontales se trabajan en toda la piedra.

• Mampuesto:

Obra ejecutada con piedras sin labrar de forma irregular rejuntadas (a hueso) o ligadas con mortero, que pueden manejarse por un solo hombre sin necesidad de medios mecánicos. En función de la mayor o menor regularidad de las piezas, exigirá para su ejecución una mayor cantidad de ripios (pequeñas piedras a modo de cuña para calzar las piezas mayores) y mortero.



Imagen 95. Sillar



Imagen 96. Sillarejo



Imagen 97. Mampuesto

Más allá de un mejor o peor acabado estético, los distintos modelos de fábrica a base de piedra natural tienen una repercusión directa en la capacidad resistente del elemento constructivo en cuestión, citándose a continuación los modelos más comunes:

Tabla 13. Resistencia aportada de modelos de fábrica de piedra natural como elemento constructivo

Tipología de fábrica	Coefficiente de trabajo kN/mm ²
Sillería de granito	40 a 50
Sillería de arenisca	20 a 25
Sillería de caliza	5 a 15
Mampostería de granito	10 a 15
Mampostería de caliza	6 a 10

II. Fábrica a base de arcilla

II.1. Adobe (arcilla seca)

Definición: ladrillo a base barro (20% arcilla, 80% arena) vertido en moldes y luego secado al sol entorno 25-30 días, al que con objeto de aumentar su resistencia y evitar la fisuración durante el periodo de secado, se le añaden fibras naturales: paja, crin de caballo, heno seco, etc.

Características:

- Aislamiento térmico: bueno.
- Durabilidad: mala.
- Costo: bajo costo material, pero elevado en la mano de obra.
- Mantenimiento: requiere mantenimiento continuo, a base de capas de barro (revoco de barro) o cal. No es correcto hacerlo con mortero de cemento, puesto que el producto resultante es poco permeable al vapor y humedad interior, dando lugar a la disolución del adobe e incluso al desprendimiento del mortero de cemento por

separación con el muro. enlucido con base de cal apagada en pasta.

- Dimensiones: son comunes las proporciones próximas al 1:2 y las dimensiones que propicien que el albañil pueda manejarlo con una sola mano (Ej: 6 x 15 x 30 cm).



Imagen 98. Moldeo



Imagen 99. Secado



Imagen 100. Ejecución fábrica

II.2. Ladrillo cerámico (arcilla cocida)

Definición: pieza de base arcillosa, generalmente ortoédrica, obtenida por moldeo, secado y cocción a altas temperaturas (350° C), empleada en albañilería para la ejecución fundamentalmente de elementos constructivos de carácter vertical (muros, tabiques, etc.).



Comparativamente, el ladrillo es la versión irreversible del adobe, diferenciándose de éste en que tras la cocción, no experimenta cambios físico-químicos.

Nomenclatura:

• Superficies de un ladrillo:

- Tabla / Lecho: superficie mayor del ladrillo. Delimitada por sogas y tizones.
- Canto: superficie intermedia del ladrillo. Delimitada por sogas y gruesos.
- Testa: superficie menor del ladrillo. Delimitada por tizones y gruesos.

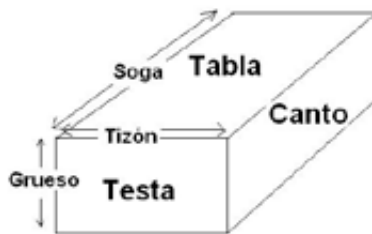


Imagen 101. Nomenclatura ladrillo

• Dimensiones de un ladrillo:

- Soga: arista o dimensión mayor del ladrillo. Equivale al largo del ladrillo.
- Tizón: arista o dimensión media del ladrillo. Equivale al ancho del ladrillo.
- Grueso: arista o dimensión menor del ladrillo. Equivale al espesor del ladrillo.

En la zona de Levante y Cataluña es característico el uso de un ladrillo de mayor longitud (unos 29cm), popularmente conocido como ladrillo "Catalán". Las **juntas** entre las distintas piezas serán:

- **Horizontales:** Tendel.
- **Verticales:** Llaga.

Características:

- Aislamiento térmico: a la par del adobe.
- Durabilidad: elevada
- Costo: menor costo de material (mayor difusión comercial) y menor costo de mano de obra respecto al adobe.
- Acabado: se suelen ejecutar para ser vistas al exterior y revestidas al interior.
- Mantenimiento: nulo
- Ejecución: perfecta trabazón entre hiladas de ladrillo, de manera que las juntas verticales se alternen, sin continuidad, con espesor máximo de 1,5 cm. Así mismo, Las paredes irán unidas a las estructuras por armadura auxiliar.
- Dimensiones: a fin de propiciar la modulación de los elementos constructivos, cada dimensión es dos veces la inmediatamente menor, más 1 cm de junta.

Los formatos más comunes son:

- Normalizado: 25 x 12 x 5 cm.
- Métrico: 24 x 11,5 x 5,25 / 7 / 3,5 cm .
- Catalán: 29 x 14 x 5,2 / 7,5 / 6 cm.

Tipologías más comunes de ladrillos:

- Según huecos y perforaciones: huecos, perforados y macizos.
- Otras tipologías: cara vista, aplantillados, etc.

Tipos de ladrillo según huecos y perforaciones:

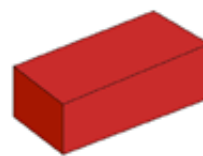


Imagen 102. Ladrillo Macizo (M)

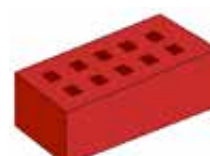


Imagen 103. Ladrillo Perforado (P)



Imagen 104. Ladrillo Hueco (H)

- **Ladrillo macizo (M):** ladrillo a base de material macizo o que presentan perforaciones de tabla a tabla con una superficie máxima del 10% del total de la pieza. Su gran compacidad no permite su cocción regular. Si bien en edificaciones tradicionales se localiza en muros estructurales, en la construcción actual únicamente se ubica en restauraciones y elementos singulares.
- **Ladrillo perforado (P):** ladrillo con perforaciones prismáticas o cilíndricas continuas de tabla a tabla, en cuantía entre el 10 y el 33% de la superficie de la pieza. Tiene un marcado carácter estructural, localizándolo en muros carga y cerramientos. También es característica la modalidad destinada a aislamiento acústico.

- **Ladrillo hueco (H):** aquellos con perforaciones prismáticas o cilíndricas continuas de testa a testa. No tiene carácter estructural y sí complementario, formando parte de cerramientos exteriores y divisiones interiores.
 - Huevo sencillo (HS): formado por una única hilera de huecos longitudinales (3-4 huecos en cada hilera). Su espesor (3-5cm) permite en su interior instalaciones sencillas tipo cableado (luz o teléfono), no siendo apto para fontanería.
 - Huevo doble (HD): característica doble hilera de huecos longitudinales.
 - Dimensiones similares al huevo sencillo pero de mayor anchura (7-9cm). Dicho incremento de sección propicia su uso para incluir prácticamente cualquier instalación y registro en su interior, incluida la fontanería. Es común por tanto su localización en cuartos húmedos (cocinas y baños).
 - Ladrillo hueco triple (HT): dado que las tipologías HS y HD ya analizadas son suficientes para cubrir las distintas necesidades, El uso del HT es bastante limitado, restringiéndose a recintos especiales. Ej: Recintos con necesidades de un mayor aislamiento acústico.
 - Ladrillo gran formato (LGF):
 - Dimensiones: longitudes que abarcan desde los 50 hasta los 70cm, siendo una medida bastante común los “70,5x51,7x6 cm”
 - Ventajas: altísima velocidad de ejecución (con dos ladrillos se cubre entre 1-1,5m lineales).
 - Inconveniente: mayor escombros y costo que los de huevo sencillo y huevo doble.



Imagen 105. Ladrillo Hueco Sencillo (HS)



Imagen 106. Ladrillo Hueco Doble (HD)



Imagen 107. Ladrillo Hueco Triple (HT)

Otras tipologías de ladrillos:

- **Ladrillos cara vista:** piezas cerámicas de alta calidad estética y técnica (resistencia al agua, absorción, compresión, etc), existiendo una alta gama de acabados estéticos (tradicional, clinker, esmalgado, gres, etc).
- **Ladrillos aplantillados:** aquellos que tienen un perfil curvo, de forma que al colocar una hilada de ladrillo, forman una moldura corrida.



Imagen 108. Ladrillo Gran Formato (LGF)

Dimensiones de los muros de fábrica de ladrillo:

- **De media asta o de medio pie:** grosor de 12,5 o 15 cm, según el tipo de ladrillo utilizado. Se corresponde con un tizón.
- **De asta o de un pie:** grosor 37,5 o 45 cm; es la medida correspondiente a una sola hilada.
- **De doble asta o dos pies:** grosor de 50 o 60cm; medida correspondiente a 2 hiladas o cuatro tizones.

II.2.1. Hiladas y aparejos

A la hora de estudiar la estabilidad de un elemento constructivo a base de fábrica (ej: muros), deberemos analizar la forma en la que se han colocado los ladrillos, por lo que deberemos analizar la composición de hiladas (composiciones de ladrillos en series horizontales) y aparejos (composición de hiladas).

- **Hilada:** conjunto de ladrillos o de sillares dispuestos horizontalmente, uno a continuación del otro, formando una hilera o fila, que se va levantando sucesivamente al construir un muro o pared.

Tipologías básicas de hiladas:

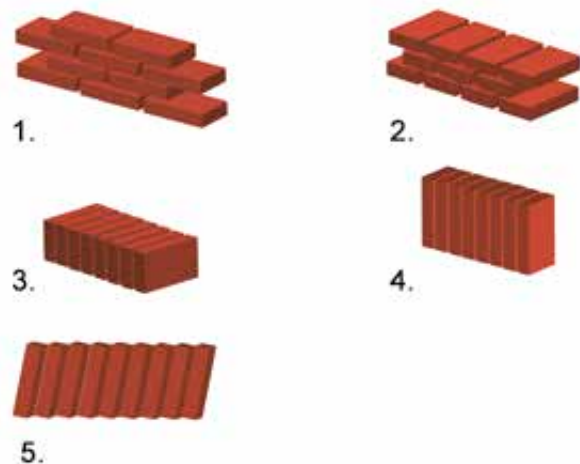


Imagen 109. Tipologías básicas de hiladas

1. **Hilada a soga:** las piezas están colocadas planas sobre la cara de mayor superficie, siendo su cara lateral menor normal al paramento de la pared o muro. Las piezas de las hiladas siguen la dirección de las sogas, por lo que las caras en contacto son las tablas y las testas, quedando a la vista los cantos.
2. **Hilada a tizón:** las piezas están apoyadas sobre su cara mayor y forman paramento con su cara lateral menor. Las piezas de las hiladas siguen la dirección de los tizones, por lo que las caras que contactan son los cantos y las tablas, quedando a la vista las testas.
3. **Hilada a rosca:** las piezas apoyadas sobre su cara lateral mayor, con la menor formando paramento. Las piezas de las hiladas siguen la dirección de los gruesos. Las caras que contactan son las tablas, quedando a la vista los cantos y las testas.
4. **Hilada a sardinel:** las piezas apoyadas sobre su cara lateral menor y formando paramento con sus caras laterales mayores. Al igual que las hiladas a

rosca, las piezas siguen la dirección de los gruesos, por lo que las caras que contactan son las tablas, quedando a la vista los cantos y las testas.

5. Hiladas trincadas: las piezas vecinas están en contacto con sus tablas verticalmente, presentan al mismo tiempo cierta inclinación respecto a la vertical. Las caras en contacto con las piezas inferiores y superiores son las testas, dejando el canto a la vista.

- **Aparejo:** distribución del conjunto de las hiladas, a fin de lograr una adecuada trabazón (unión entre dos o más de los elementos que forman una estructura), entre la inmediata inferior y superior. Dicho de otro modo, es la forma de disponer la traba de los ladrillos.

Tipologías de aparejos

- **Simple:** los ladrillos se distribuyen de la misma forma en todas sus hiladas.
- **Compuestos:** la distribución de los ladrillos varía de unas hiladas a otras. Hay una gran variedad siendo los más comunes los siguientes:

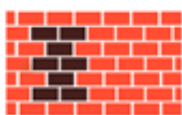


Imagen 110.
Aparejo español

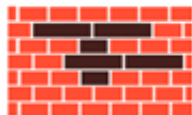


Imagen 111.
Aparejo belga



Imagen 112.
Aparejo inglés

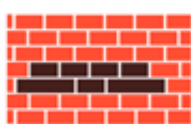


Imagen 113. Aparejo holandés

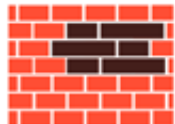


Imagen 114. Aparejo gótico

II.3. Bloque de termoarcilla o arcilla aligerada

Definición: pieza cerámica de baja densidad y mayor grosor que el ladrillo convencional, que se utiliza como alternativa los muros de ladrillo o bloque de hormigón.

Características:

- **Macroporos:** pieza de baja densidad debido a la volatilización de los materiales granulares añadidos a la masa arcillosa en el proceso de fabricación de los bloques, al pasar por el horno a altas temperaturas.
- **Perforaciones:** gran cantidad de huecos de aire que propician un excelente aislamiento térmico y acústico.
- **Dimensiones:** las piezas base tienen unas medidas mo-



Imagen 115. Bloque genérico

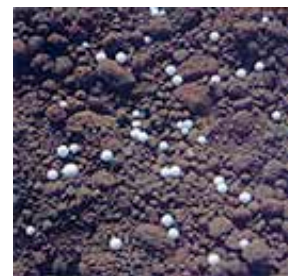


Imagen 116. Material base

dulares de 30 cm longitud x 19 cm altura x 14-29 cm espesor, existiendo piezas especiales para cada función (ej: esquinas, dinteles, etc).

- **Coste:** sus mayores dimensiones (ahorro en la cantidad de piezas), machiembado en testas (ahorro de mortero en dicha cara) y el ahorro de medios auxiliares, propician un importe coste respecto fábricas con dos hojas y cámara de aire aislada.
- **Tiempos de ejecución:** 1m²/0,5h, mientras que para una fábrica de doble hoja, casi se necesitan 2h.
- **Acabado:** han de revestirse tanto al exterior como al interior.

III. Fábrica de bloque hormigón

Definición: pieza prefabricada a base de cemento, agua y áridos finos y/o gruesos y/o artificiales con o sin aditivos, incluidos pigmentos, de forma sensiblemente ortoédrica, con dimensiones exteriores no superiores a 60cm.



Imagen 117. Bloque de hormigón



Imagen 118. Armados

Uso: El uso comercial del bloque está incluso más extendido que el del ladrillo de hormigón, siendo frecuente su localización en elementos constructivos de recintos industriales.

Características:

- **Material:** pieza prefabricada prismática y con huecos, a base de hormigón más ligero que el estructural.
- **Dimensiones:** normalizadas, no superiores a 60 cm. Las más comunes comercialmente son 40x20x20cm.
- **Resistencia:** resistencia aceptable a compresión, si bien en el caso de muros de bloque de hormigón, se ha de armar para completar posibles tracciones y pandeos mediante armaduras de cercha plana o armaduras tipo "murfor".
- **Aislamiento acústico:** elevado.
- **Acabados:** ambos se fabrican para ser revestidos o cara vista, si bien en general son acabados más toscos que los proporcionados por otros elementos aquí expuestos.



Tipologías más comunes:

- De gafa: son el modelo más común. Son posteriormente revestidos con algún tratamiento superficial.
- Multicámara: bloque dotado de múltiples hoquedades compartimentadas, que propician un incremento de su aislamiento térmico, de manera similar a los bloques de termoarcilla.
- De carga: son más macizos, y se emplean cuando el muro tiene funciones estructurales (esto es: cuando soporta el forjado superior)
- Armados: diseñados como encofrado *perdido* de muros macizos de hormigón. Presentan rebajes interiores para apoyar las armaduras (construcción) de acero.
- Cara vista: son bloques con al menos una de las caras especialmente preparadas para no precisar revestimiento.
- Piezas especiales: ej. en U: se emplean como *zunchos* para cubrir cantos de forjado, o para crear dinteles.



Imagen 119. De gafa

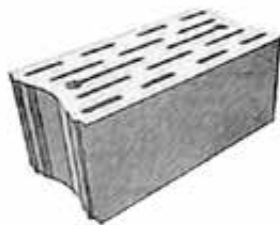


Imagen 120. Multicámara



Imagen 121. De carga



Imagen 122. Armados

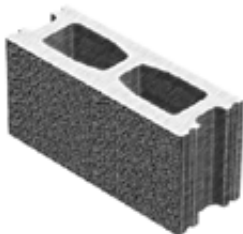


Imagen 123. Cara vista

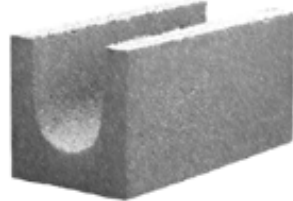


Imagen 124. En U

5.2. MATERIALES METÁLICOS

5.2.1. MATERIALES NO FERROSOS

Materiales usados en edificación para fines no estructurales, siendo los más comunes: plomo, cinc, cobre, latón, bronce, estaño, aluminio, etc.

5.2.2. MATERIALES FERROSOS

Aleaciones de hierro con otros elementos, diferenciándose entre ellas por su porcentaje en peso de carbono. El contenido

de carbono tiene un efecto fundamental en las propiedades del acero:

- A mayor cantidad de carbono:
 - Aumenta la dureza y la resistencia, pero también su fragilidad.
 - Disminuye la ductilidad.
- A menor contenido de carbono: Mejora la soldabilidad.

I. Hierro dulce o forjado

Definición: material con gran pureza de hierro y mínimo porcentaje de carbono en su composición, siendo inferior al 0,03%.

Propiedades: material muy dúctil y maleable, que admite la forja. Resulta muy poroso por lo que se oxida con facilidad y presenta con frecuencia grietas internas que los hacen poco útiles para otras aplicaciones industriales.

Productos: su destino principal son los trabajos de cerrajería.



Imagen 125. Hierro dulce

II. Fundición (% Carbono > 2,00%)

Definición: proceso de fabricación de piezas a base de aleaciones con alto contenido en carbono, consistente en la fusión de un material hasta su punto plástico, e introducirlo en un molde hasta su solidificación.

Propiedades:

- Una vez fundido el material, este presenta aspecto plástico, por lo que rellena los moldes dispuestos al efecto, pudiéndose fabricar piezas de distinto tamaño y complejidad.
- Son más fáciles de mecanizar que los aceros.
- Son resistentes al choque térmico, a la corrosión y de buena resistencia al desgaste.



Imagen 126. Fundición

Productos: los productos resultantes son quebradizos, estando reservado a la fabricación de tuberías, tapas de registro, etc.

III. Acero



Imagen 127. Acero

Definición: aleación de hierro y carbono, donde el porcentaje del último oscila entre el 0,03 y el 2% (legalmente al 1,075%) en peso de su composición, situándose los valores más comunes entre el 0,2 y el 0,3%.

Marco legal: CTE DB SE-A

Características físicas:

- **Fabricación:** frente a la fundición, donde la aleación se moldea, el acero se forja (por presión o impacto), dando lugar a productos de muy alta resistencia.
- **Densidad:** a pesar de su elevada densidad (7850 kg/m³ frente a los 2700 kg/m³ del aluminio, por ejemplo) el acero es utilizado en todos los sectores industriales por sus ventajas estructurales.
- **Coefficiente de dilatación:** $1,2 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ \text{C}^{-1}$, prácticamente idéntico al del hormigón ($1,17 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ \text{C}^{-1}$). Motivo por el cual, es el producto empleado para suplir las carencias a tracción del acero, dando lugar al hormigón armado.
- **Conductividad eléctrica y térmica:** alta
- **Propiedades físicas:** es un material relativamente dúctil (alambres), maleable (productos laminados) y soldable (composición de estructuras de dimensiones y complejidad importante).
- **Propiedades mecánicas:** alta resistencia a compresiones y tracciones, por lo que es utilizado en todo tipo de elementos constructivos de forma individualizada o mixta, supliendo las carencias de otros materiales (hormigón armado).
- **Corrosión:** supone sin duda alguna su gran problema, existiendo varios sistemas de protección superficial (cincado, galvanizado, cromado, niquelado, pavonado, etc), además de productos específicos, que tratan de atajar dicho problema desde su propia composición:
 - Acero inoxidable (aleación acero - cromo)
 - AceroCorten(aleaciónacero-cobre+cromo+niquel).

Tipologías:

Debido a sus propiedades mecánicas, así como la normalización de dimensiones, composición y calidad del producto final, el uso del acero está ampliamente presente en casi todos los procesos constructivos, destacando, a efectos del presente manual las siguientes variedades:

- III.1. Acero estructural
- III.2. Acero de armar
- III.3. Acero para pretensados



Imagen 128. Acero estructural



Imagen 130. Acero para pretensados

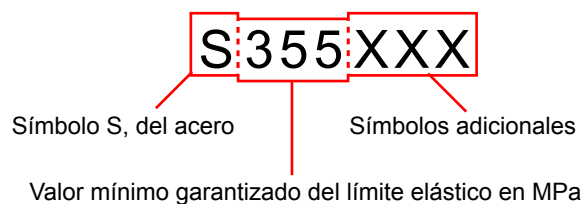


Imagen 129.
Acero de armar

III.1. Acero estructural

Definición: acero laminado en caliente para conformación de perfiles, barras y chapas, utilizados para la fabricación de elementos constructivos simples o compuestos.

Nomenclatura: según UNE EN 10027-1 se establece que las diferentes modalidades de acero se clasificarán con la letra S (Steel), seguida de una numeración, que expresará el valor mínimo del límite elástico en MPa (N/mm²) y unos símbolos adicionales que determinan sus características.



- Clase resistente (límite elástico): 235, S 275, S 355 y S 450 MPA (N/mm²)
- Símbolos adicionales: destacaremos el uso de los distintos grados,
 - Grado JR: aplicación en construcción ordinaria
 - Grado J0: aplicación en construcción con altas exigencias de soldabilidad.
 - Grado J2: aplicación en construcción con especiales exigencias de resistencia, resiliencia y soldabilidad.

Las **tipologías de aceros estructurales utilizadas en la construcción** se clasifican de acuerdo al proceso de fabricación y están regulados por las Euronormas en las siguientes categorías:

- III.1.1. Productos de acero **laminados en caliente**.
- III.1.2. Productos **huecos** para la construcción:
 - a) Acabados en caliente
 - b) Conformados en frío.
- III.1.3. Perfiles de **sección abierta** para la construcción laminados en frío y perfilados



III.1.4. Productos **planos de acero** recubiertos en continuo de materias orgánicas (prelacados)

III.1.5. Otros productos.

III.1.6. **Acero laminado en caliente** (chapas y perfiles): fabricados a base de acero de las clases resistentes indicadas en el epígrafe anterior, están disponibles en una amplia gama de perfiles y chapas:

Perfiles:

- IPN
- IPE
- HEB (base)
- HEA (ligero)
- HEM (pesado)
- UPN (U normal)
- UPE (U europeo)
- U (U comercial)
- L (L Lados iguales)
- LD (L Lados desiguales)
- T
- Redondo
- Cuadrado
- Rectangular
- Hexagonal

Chapas:

- Medias: $3\text{mm} < e < 4,75\text{mm}$
- Gruesas: $e > 4,75\text{mm}$



Imagen 131. Perfil en "U"



Imagen 132. Perfil en "I"



Imagen 133. Perfil en "H"

- **Perfiles "H":** HEA/HEB/HEM. El diseño de dicho perfil con el mismo canto que ala, propicia que para lograr la misma resistencia a flexión que un perfil "I", sea necesario una mayor cantidad de material y por tanto de coste. Sin embargo, a diferencia de los perfiles en "I", los perfiles en "H", tienen una muy buena resistencia tanto en sentido longitudinal, como en sentido transversal, siendo más recomendables para su uso en pilares. De entre los anteriores, el más común es el HEB.

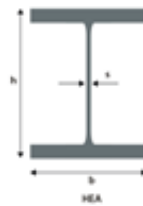


Imagen 136. HEA



Imagen 137. HEB

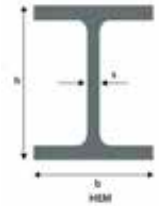


Imagen 138. HEM

- **Perfiles "U":** UPE e UPN. Se utilizarán en vigas de poca entidad o para fabricar otros elementos constructivos metálicos (ej: vigas o pilares).



Imagen 139. Perfiles en "U"

La diferencia entre ambos perfiles citados será análoga a los modelos IPE-IPN



Imagen 140. UPE



Imagen 141. UPN

Perfiles más comunes:

- **Perfiles "I":** IPN e IPE. La geometría de dicho perfil con un canto mayor que su ala, propician su especial resistencia a esfuerzos de flexión, por lo que son los dos modelos más utilizados en vigas.

La diferencia entre IPE e IPN estriba en la sección del perfil, dado que si bien el espesor del ala del IPN, disminuye a medida que nos alejamos del alma, el del IPE, permanece constante. Motivando que el IPN esté en desuso dado que para la consecución de la misma sección resistente, sea necesario mayor cantidad de material que el IPE. El perfil IPN, también recibe la denominación de "Doble T".



Imagen 134. IPE

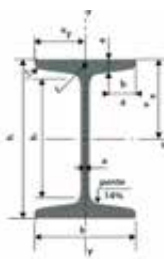


Imagen 135. IPN

Otros perfiles: amplia gama comercial de perfilería auxiliar, destacando los modelos en L, LD y T.

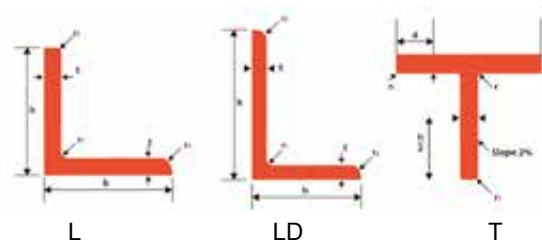


Imagen 142. Otros perfiles (L, LD y T)

De acuerdo a lo anterior, parece sobreentenderse que los perfiles en I siempre se localizarán en vigas y los H en pilares, pero dicha afirmación no es absolutamente cierta:



Pilares de cimentación de un cartel publicitario.

Dicho elemento constructivo tendrá un peso propio y una carga variable generada por la acción del viento. Dado que la magnitud de la carga variable, generará un esfuerzo mucho mayor que el propio peso del cartel, teniendo una clara dirección de trabajo en la dirección del potencial viento. Por ello, los pilares de los carteles se suele ejecutarse a base de perfiles IPE/IPN.



Vigas en aperturas de forjados.

Cuando se realiza una apertura en forjado preexistente, se altera su capacidad resistente, pero sobretodo su estabilidad o arriostramiento en el plano horizontal. Por ello, se suele reforzar la apertura con vigas horizontales tipo HEB que no solo a la sean capaces de resistir los esfuerzos verticales (peso propio, sobrecargas de uso, etc), sino que a la par propicie una respuesta contundente ante probables movimientos o deformaciones en el plano horizontal.



Imagen 143. Cartel publicitario



Imagen 144. Apertura de huecos en forjados

III.1.7. Productos huecos para la construcción

Se distingue entre acabados en caliente y conformados en frío.

- a) **Acabados en caliente:** se incluyen dentro de la presente categoría, los perfiles huecos estructurales de sección transversal constante, de espesor igual o mayor que 2 mm, conformados en caliente, con o sin tratamiento térmico posterior, así como los conformados en frío con tratamiento térmico posterior. Ambos se utilizan en la construcción de estructuras. Estarán disponibles en secciones con tipología circular, cuadrada, rectangular o elíptica.
- b) **Conformados en frío:** se incluyen los perfiles huecos estructurales soldados conformados en frío sin tratamiento térmico posterior, de espesor mayor o igual que 2 mm, de sección transversal constante, igualmente empleados en la construcción de estructuras. De manera similar a los acabados en caliente, están disponibles con secciones circular, cuadrada o rectangular.

III.1.8. Perfiles de sección abierta conformados en frío y perfilados: perfiles de sección constante, con formas diversas, producidos por conformado en frío de chapas planas laminadas en caliente o en frío, empleados en la construcción de estructuras.

Las tipologías más frecuentes serán las secciones en L, U, C, Z y Omega.

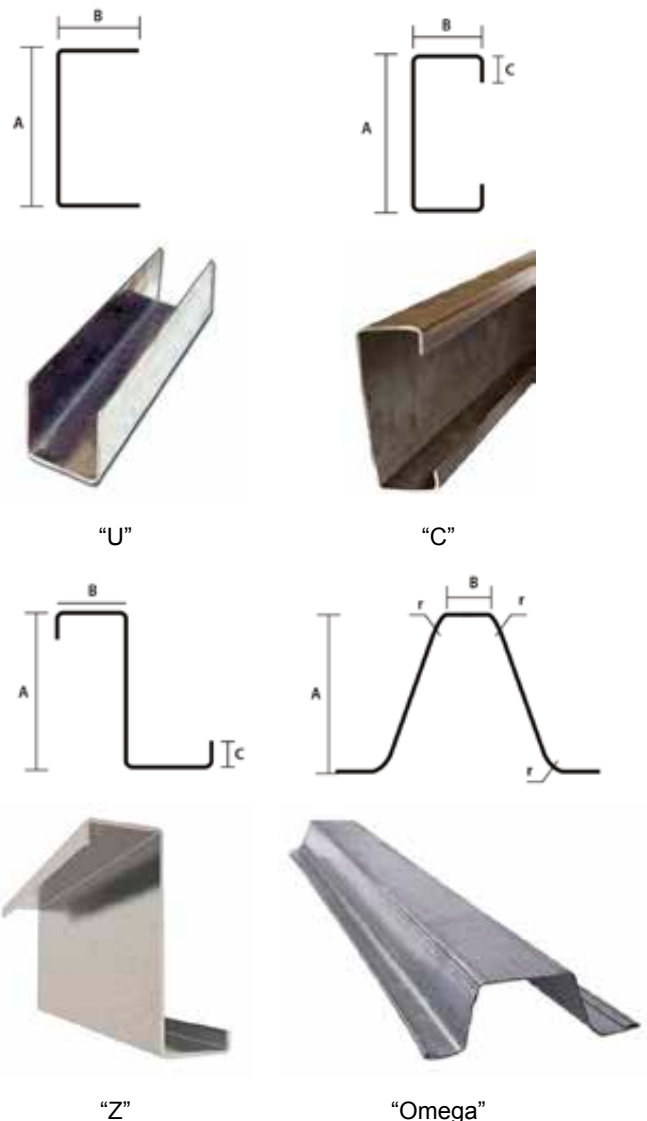


Imagen 145. Tipos de perfiles de sección abierta conformados en frío y perfilados

III.1.9. Productos planos de acero recubiertos en continuo de materias orgánicas (prelacados): gama de revestimientos orgánicos que se utilizan para recubrir el metal prepintado (poliester, poliuretano, PVDF, resina epoxi, etc); los cuales se desarrollan con el fin de proporcionar diferentes propiedades, tales como brillo, dureza o resistencia a los ataques químicos.



Imagen 146. Acero prelacado

Denominación de los armados según su posición:

- **Armaduras longitudinales:**
 - **Armados principales o armaduras a secas:** barras de acero en la dirección del eje principal del elemento constructivo en cuestión. Constituyen los armados principales, recogiendo los esfuerzos principales del elemento constructivo de hormigón armado.
 - **Armadura de piel:** armaduras suplementarias longitudinales formadas por barras de pequeño diámetro, situadas en las proximidades de los paramentos, que distribuyen las tensiones oblicuas que tienden a concentrarse en el hormigón existente por encima de la zona de recubrimiento de la armadura principal. Se suelen colocar en elementos con canto superior a 70 cm, De manera que la distancia máxima entre armaduras sea de 30 cm.
- **Armaduras transversales:** barras transversales y auxiliares de las armaduras longitudinales, colocadas generalmente de modo perpendicular a estas. Destacaremos como armaduras transversales más frecuentes los siguientes modelos:

• Estribos

Cada una de las armaduras secundarias en forma de “U” o cerco cerrado que se colocan como piezas de atado en barras de caras opuestas y perpendicularmente a éstas, para resistir la componente vertical de la tensión diagonal.

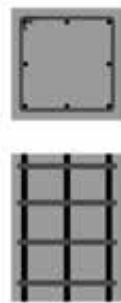


Imagen 153. Estribos

• Zunchos

Definición 1: armadura lateral en forma de hélice de alambre, desarrollada regularmente y sujeta en posición mediante separadores, que evita el pandeo del elemento constructivo.

Definición 2: viga de atado horizontal dispuesta como finalización o remate de una elemento constructivo. Al recoger solamente las tensiones perimetrales, necesitará menor cantidad de acero que la que tendría en el interior del mismo.

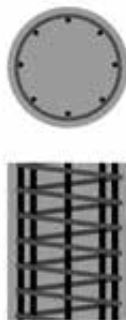


Imagen 154. Zunchos

III.3. Acero para pretensados

Definición: se engloban dentro de la presente categoría, aquellos productos de acero aptos para la fabricación de armaduras activas:

Nomenclatura del acero: Y1570, Y1670, Y1770, Y1860

- Y: Acero para pretensados
- Clase resistente (carga de rotura): 1570/1570/1770/1860 MPA (N/mm²).
- Coeficientes De seguridad: A efectos del presente manual, los límites admisibles de trabajo se establecerán en el 70% de la carga de rotura para acciones estáticas y el 40% para acciones dinámicas.

Productos comerciales:



Imagen 155. Alambres

Imagen 156. Cordones

Imagen 157. Cables

Destacaremos los siguientes productos:

- **Alambre:** elemento de acero de sección maciza, liso o grafilado (mayor adherencia con el hormigón), suministrado normalmente en rollo.
- **Cordón:** producto formado por un número de alambres arrollados helicoidalmente, con el paso y mismo sentido de torsión, sobre un eje ideal común. Los cordones se diferencian por el número de alambres, del mismo diámetro nominal y arrollados helicoidalmente sobre un eje común.
- **Cable:** definimos cable de acero al elemento estructural compuesto por diversos cordones metálicos dispuestos helicoidalmente alrededor de un alma (textil, metálica o mixta), comportándose como una única unidad.

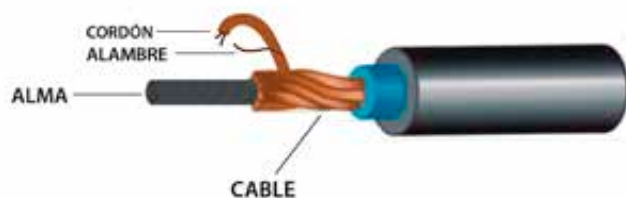


Imagen 158. Partes del acero para pretensados

Nomenclatura: la composición de un cable se expresa de forma abreviada mediante la siguiente nomenclatura,

$$C \times A + N$$

C: Número de cordones

A: Número de alambres en cada cordón *

N: Número de almas textiles.**

*Si los cordones son otros cables, se sustituye la segunda cifra (A) por una notación entre paréntesis que indica la composición.

**Cuando el alma del cable no es textil, se sustituye la última cifra (N), por una notación entre paréntesis que indica la composición de dicha alma.

A modo de ejemplo, analizaremos unos cables de acero usados para estabilizaciones estructurales:

$\Phi 10\text{mm} \rightarrow 6 \times 19 +1$:

- Denominación: 6 x 19 +1: se trata de un cable de alma textil compuesto por 6 cordones de 19 alambres cada cordón y alma textil.
- Resistencia: en función del diámetro obtendremos la resistencia nominal, aplicándole los necesarios coeficientes de seguridad:
 - Cargas Estáticas (70% límite rotura) = $0,7 \times 55,3 = 38,71\text{KN} \rightarrow 40,0 \text{ KN}$
 - Cargas dinámicas (40% límite rotura) = $0,4 \times 55,3 = 22,12 \rightarrow 20,0 \text{ KN}$

Tabla 14. Cargas de rotura en el cable de acero según su diámetro

\varnothing (mm)	peso (kg/m)	carga de rotura mín (kg)
3	0,0311	498
4	0,0554	885
5	0,0865	1.380
6	0,1250	1.990
7	0,1700	2.710
8	0,2210	3.540
9	0,2800	4.480
10	0,3460	5.530
11	0,4190	6.690
12	0,4980	7.970
13	0,5850	9.350
14	0,6780	10.800
16	0,8860	14.200
18	1,1200	17.900
20	1,3800	22.100
22	1,6700	26.800
24	1,9900	31.900

5.2.3. UNIONES

En la construcción de grandes estructuras, el uso de acero tiende a racionalizarse, construyéndose perfiles compuestos a partir de los productos básicos de las siderurgias. Los sistemas de uniones más utilizados son el roblonado, el atornillado y la soldadura.



Imagen 159. Roblones

Imagen 160. Tornillos

Imagen 161. Soldadura

- I. **Roblonado/remachado:** unión de piezas mediante roblones cilíndricos/troncocónicos introducidos en caliente, de manera que una de las cabezas viene ya formada con el cuerpo del remache, mientras que la oposta se forja en el momento de su colocación. Técnicamente es equiparable a un remachado y estructuralmente lo asemejaremos a una articulación. Su uso en la actualidad es claramente limitado, habiéndose sustituido desde 1970, por sistemas de uniones atornilladas.
- II. **Tornillos:** unión metálica en frío a base de piezas compuestas por un vástago roscado coronado con cabeza hexagonal, al que se acopla en el extremo contrario una tuerca para apriete de los dos elementos a conectar; además de una arandela para perfecto reparto de la presión ejercida por la tuerca.

Tipos de tornillos:

- **Ordinarios T/ Calibrados TC:** si bien En los tornillos ordinarios, el diámetro del agujero de las piezas es 1 mm mayor que el del vástago, en los calibrados, dichos diámetros estarán ajustados. La diferencia estructural entre ambos es que serán más recomendables los segundos, para la ejecución de nudos rígidos.
- **Alta resistencia TR:** uniones donde el esfuerzo de rozamiento entre los materiales a unir, es mayor que las sollicitaciones de las piezas. Por ello, el apriete (par de apriete), deberá ser el especificado en proyecto, motivo por el cual se ha de realizar mediante llaves dinamométricas.

Características mecánicas de los tornillos:

Los tornillos diferencian su calidad en función de la resistencia mecánica que tienen. La norma (EN ISO 898-1), establece un código de dos dígitos al efecto, separados por un punto:

X.Y

El número situado más a la izquierda indicará la tensión de rotura en (N/mm²), mientras que el segundo indicará en que % de la carga de rotura en la que se sitúa el límite elástico.

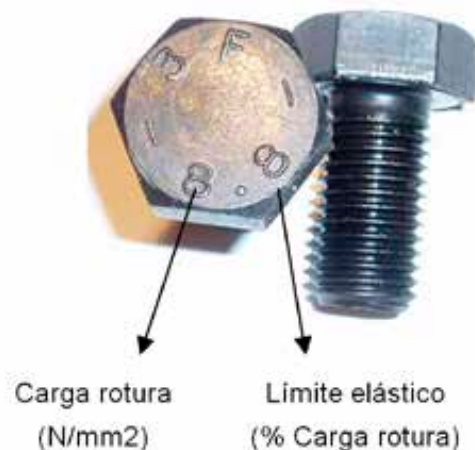


Imagen 162. Características del tornillo



Un tornillo de la clase 8.8, será un tornillo con carga de rotura mínima a 800 N/mm², situándose su límite elástico al 80% (640 N/mm²).

La citada norma estandariza las siguientes clases resistentes, debiendo ser estampados convenientemente en las cabezas de los tornillos por los fabricantes:

4.6, 5.6, 5.8, 6.8, 8.8, 10.9 y 12.9

Soldadura: proceso de unión en donde se realiza la unión de dos materiales, mediante alguna de las siguientes vías:

- Sin aportación de material: por fusión (calor) o por presión (presión + calor).
- Con aportación de material: ordinaria o autógena (aleación).

5.3. MATERIALES ORGÁNICOS: MADERA

Definición: materia leñosa y lignocelulósica situada entre la médula y la corteza de un árbol o arbusto, siendo las especies arbóreas más utilizadas, en estructuras de madera, las maderas de coníferas (grupo botánico de las gimnospermas) y las maderas de frondosas (grupo botánico de las dicotiledóneas).

Debido a su importante disponibilidad en toda la geografía, ha sido ampliamente utilizada en construcción (elementos estructurales, cerramientos, acabados, etc.).

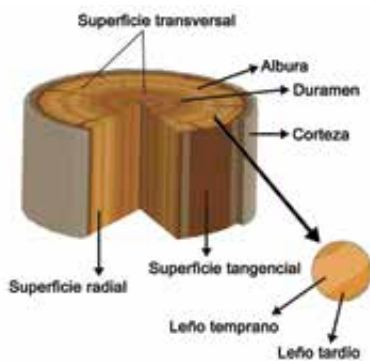


Imagen 163. Madera

Características físicas y propiedades:

- **Densidad:** muy variable según la especie y grado de humedad, estableciéndose unos valores medios para la mayoría de las especies entre 350 - 500 Kg/m³.
- **Humedad** (humedad de equilibrio higroscópico): contenido de humedad para el cual la madera, en un ambiente con unas condiciones normalizadas de temperatura y humedad relativa, ni gana ni pierde humedad. En el Anejo F del CTE DB SE M, se reflejan los valores medios para cada zona climática de España, reflejando humedades máximas 12-20% y mínimas 7-15%.
- **Anisotropía:** el comportamiento mecánico del material no será igual en todas sus direcciones, considerándose la dirección de las fibras y la dirección normal (perpendicular) y la tangencial a las mismas.

- **Higroscopicidad:** la madera tiende a absorber o perder agua según condiciones ambientales. Alterando su densidad y comportamiento estructural.
- **Conductividad térmica:** los coeficientes de dilatación de la madera son muy bajos, por lo que se considera que no dilata y que es un buen aislante.
- **Comportamiento mecánico:** claramente condicionado por la clase específica de madera y su anisotropía, que determinarán los esfuerzos y resistencias.

Desde el punto de vista de una intervención de bomberos, la madera es un material con un muy buen comportamiento a flexión y con un comportamiento razonablemente bueno a compresión y tracción. A pesar de lo cual, en la mayoría de manuales de bomberos se refleja frecuentemente la afirmación en virtud de la cual, la madera tiene una mayor resistencia a compresión que a tracción. Dicha afirmación no es absolutamente cierta, pero sobre todo genera unas pautas erróneas de cara a una potencial intervención:

- En virtud de la tipología y clase resistente de la madera, estaremos ante un material con idénticas compresiones y tracciones o incluso con mayores tracciones que compresiones.
- El problema resistente de la madera radicará sin embargo en la ejecución de sus nudos (unión de piezas), siendo mucho más sencillo el encuentro de piezas que trabajan a compresión que a tracción.

Tipologías:

Según el CTE DB SE M se regula el uso en la construcción de la madera aserrada, la madera laminada, la madera microlaminada y los tableros.



Madera aserrada



Madera laminada



Madera microlaminada



Tableros

Imagen 164. Tipología de madera

5.3.1. MADERA / MADERA ASERRADA / MADERA ESTRUCTURAL

Definición: pieza de madera maciza obtenida por aserrado del árbol y generalmente escuadrada, es decir, con caras paralelas entre sí y cantos perpendiculares a las mismas.

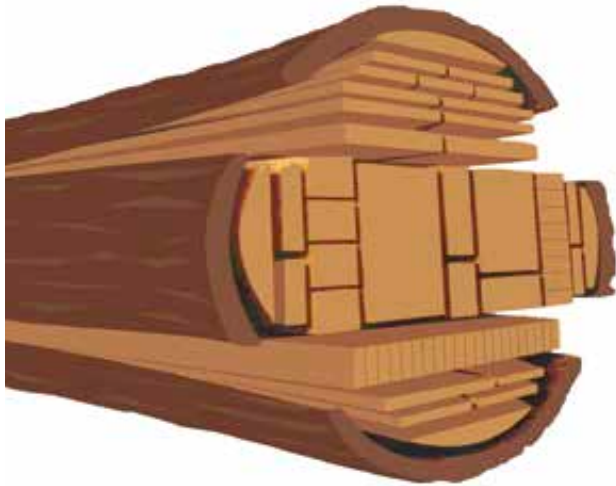


Imagen 165. Despiece árbol

microscópicos en la superficie: cerezo, arce, roble, fresno, nogal, encina, olivo, castaño, olmo, etc.

- Nomenclatura: la madera perteneciente a la presente categoría, se denomina con la letra “D”, seguida de una numeración (30, 35, 40, 50, 60 y 70) que indican el valor de la resistencia característica a flexión ($f_{m,k}$), en N/mm^2 .

Tipologías: dentro de la presente categoría distinguiremos dos grandes grupos de maderas:

- **Coníferas (maderas blandas):**
 - Origen: maderas provenientes de árboles de hoja perenne y caracterizadas por poros cerrados no percibidos en producto acabado: cedro, abeto, pino, álamo, abedul, aliso, etc.
 - Nomenclatura: la madera perteneciente a la presente categoría, se denomina con la letra “C”, seguida de un valor numérico (14, 16, 18, 20, 22, 24, 27, 30, 35, 40, 45 y 50), indicativo de su resistencia característica a flexión), en N/mm^2 .
- **Fronchosas (maderas duras).**
 - Origen: maderas provenientes de árboles de hoja caduca y caracterizadas por la presencia de poros

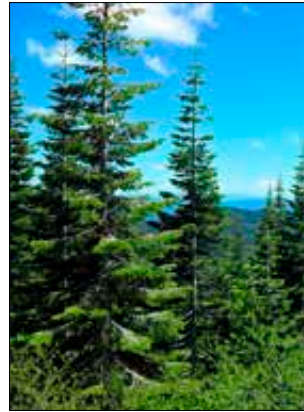


Imagen 166. Coníferas

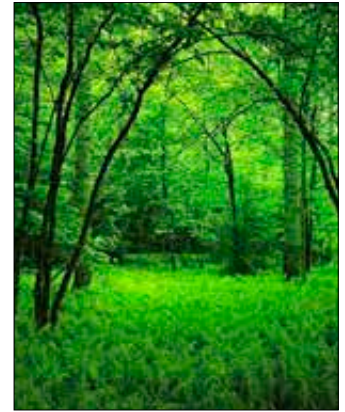


Imagen 167. Frondosas

Comportamiento mecánico: En las coníferas, la madera C14 presenta el doble de resistencia a compresión que a tracción, pero a medida que se incrementa la clase resistente se va reduciendo la diferencia. Los casos extremos son la clase C45, con idénticas cuantías y la C50, con mayor resistencia a tracción que a compresión.

De manera análoga a las coníferas, en las frondosas, las clases D30, 35 y 40, presentan mayor resistencia a compresión que a tracción, comportamiento que se invierte para las D50, 60 y 70, donde predominan las tracciones.

Tabla 15. Resistencias de maderas coníferas

Propiedades		Clase resistente											
		C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50
Resistencia (característica), en N/mm^2													
- Flexión	$f_{m,k}$	14	16	18	20	22	24	27	30	35	40	45	50
- Tracción paralela	$f_{t,0,k}$	8	10	11	12	13	14	16	18	21	24	27	30
- Tracción perpendicular	$f_{t,90,k}$	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
- Compresión paralela	$f_{c,0,k}$	16	17	18	19	20	22	22	23	25	26	27	29
- Compresión perpendicular	$f_{c,90,k}$	2,0	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,1	3,2
- Cortante	$f_{v,k}$	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0

Tabla 16. Resistencias de maderas frondosas

Propiedades		Clase resistente					
		D30	D35	D40	D50	D60	D70
Resistencia (característica), en N/mm^2							
- Flexión	$f_{m,k}$	30	35	40	50	60	70
- Tracción paralela	$f_{t,0,k}$	18	21	24	30	36	42
- Tracción perpendicular	$f_{t,90,k}$	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
- Compresión paralela	$f_{c,0,k}$	23	25	26	29	32	34
- Compresión perpendicular	$f_{c,90,k}$	8	8,1	8,3	9,3	10,5	13,5
- Cortante	$f_{v,k}$	4	4	4	4	4,5	5
Rigidez. kN/mm^2							

5.3.2. MADERA LAMINADA ENCOLADA



Madera laminada homogénea



Madera laminada combinada



Estructura a base de madera laminada

Imagen 168. Ejemplos de madera laminada encolada

Definición: elemento formado por láminas de madera, encoladas en varias capas superpuestas hasta una sección determinada de la pieza.

Tipologías: dentro de la presente categoría, distinguiremos:

- Madera laminada encolada “combinada”: maderas de distinta clase resistente.
- Madera laminada encolada “homogénea”: material de la misma clase resistente.

Nomenclatura: la madera perteneciente a la presente categoría, se denomina con la letra “GL”, seguida de una numeración (24, 28, 32 y 36) indicativo de su resistencia característica a flexión, en N/mm²; y tras las mismas, las letras h (homogénea) o c (combinada), según proceda.

A igualdad de clase resistente entre madera aserrada y laminada, las resistencias son similares, pero las dimensiones de los elementos estructurales propiciadas por los segundos, son mucho mayores que las piezas generadas por la madera aserrada, que estará condicionada al tamaño del árbol.

Comportamiento mecánico: la madera encolada, al ser un producto manufacturado presenta un comportamiento más lineal que la madera aserrada, presentando una resistencia a compresión axial, un 30% mayor que a tracción axial.

A igualdad de clase resistente entre madera aserrada y laminada (C24-GL24 c/h), las resistencias son similares, pero las dimensiones de los elementos estructurales propiciadas por los segundos (productos manufacturados), pueden ser mucho mayores que las piezas generadas por la madera aserrada (condicionada al tamaño del árbol).

5.3.3. MADERA MICROLAMINADA

Definición: producto derivado de la madera para uso estructural fabricado con chapas de madera de pequeño espesor (3-5 mm) encoladas con la misma dirección de la fibra. En inglés LVL.



Imagen 169. Madera microlaminada

Tabla 17. Resistencias de madera laminada encolada homogénea

Propiedades		Clase resistente			
		GL24h	GL28h	GL32h	GL36h
Resistencia (característica), en N/mm ²					
- Flexión	$f_{m,k}$	24	28	32	36
- Tracción paralela	$f_{t,0,k}$	16,5	19,5	22,5	26
- Tracción perpendicular	$f_{t,90,k}$	0,4	0,45	0,5	0,6
- Compresión paralela	$f_{c,0,k}$	24	26,5	29	31
- Compresión perpendicular	$f_{c,90,k}$	2,7	3	3,3	3,6
- Cortante	$f_{v,k}$	2,7	3,2	3,8	4,3

Tabla 18. Resistencias de madera laminada encolada combinada

Propiedades		Clase resistente			
		GL24h	GL28h	GL32h	GL36h
Resistencia (característica), en N/mm ²					
- Flexión	$f_{m,k}$	24	28	32	36
- Tracción paralela	$f_{t,0,k}$	14	16,5	19,5	22,5
- Tracción perpendicular	$f_{t,90,k}$	0,35	0,4	0,45	0,5
- Compresión paralela	$f_{c,0,k}$	21	24	26,5	29
- Compresión perpendicular	$f_{c,90,k}$	2,4	2,7	3	3,3
- Cortante	$f_{v,k}$	2,2	2,7	3,2	3,8

5.3.4. TABLERO

Definición: producto derivado de la madera en la que predominan la longitud y la anchura sobre el espesor, y en la que el elemento constitutivo principal es la madera.

Tipologías:

- Tablero de **madera maciza**: fabricado fundamentalmente con tablas, tablillas o listones de madera unidos entre sí por encolado, machihembrado, etc.
- Tablero **contrachapado**: formado por capas de chapas de madera encoladas donde las direcciones de las fibras de dos capas consecutivas formen un cierto ángulo, generalmente de 90°.
- Tablero de **fibras**: fabricado mediante fibras lignocelulósicas mediante la aplicación de calor y/o presión y un aglomerante sintético. Existen tres variantes: Densidad media (DM o MDE), duro y semiduro.
- Tablero de **partículas** (o aglomerado): formado por partículas de madera o de otro material leñoso, aglomeradas entre sí mediante un adhesivo y presión, a la temperatura adecuada.
- Tablero de **virutas**: de constitución similar al de partículas pero fabricado con virutas de mayores dimensiones y con propiedades mecánicas mayores. Una modalidad de gran aceptación es el "Tablero de virutas orientadas OSB" (*Oriented Strand Board*): tablero en el que las virutas de las capas externas están orientadas siguiendo la dirección longitudinal del tablero, por lo que las propiedades mecánicas del tablero se incrementan en esa dirección y disminuyen en la dirección perpendicular.



Imagen 170. Madera maciza



Imagen 171. Contrachapado



Imagen 172. Fibras



Imagen 173. Aglomerado



Imagen 174. OSB

Comportamiento mecánico: los resistencias de las distintas clases de tableros variarán ostensiblemente entre cada modelo y la dirección de aplicación del esfuerzo, pero todos ellos presentarán en común que son inversamente proporcional a su espesor y grado de humedad, presentando.

6. SISTEMAS CONSTRUCTIVOS BÁSICOS EMPLEADOS EN LA CONSTRUCCIÓN

Según la RAE, la **edificación** es "aquella construcción fija, hecha con materiales resistentes, para habitación humana o para otros usos".

De acuerdo a la definición anterior, el termino edificación conlleva la puesta en obra de materiales de construcción mediante ejecución de técnicas constructivas, para la generación de un espacio interior o habitación. Y dotado de las instalaciones que posibiliten un confort suficiente que posibilite el desarrollo de los usos para los que ha sido diseñado.

Así pues, desde un punto de vista técnico, procederemos al análisis de la edificación como el resultado de la conjugación de tres clases de elementos constructivos: Estructurales, complementarios y auxiliares.

- **Elementos estructurales:** conjunto de elementos constructivos dotados de capacidad portante (recibir y transmitir cargas). Ej: Forjados, pilares, cimentaciones, etc.
- **Elementos complementarios:** conjunto de elementos que complementan a la estructura para generar un espacio interior, dotado del confort necesario para desarrollo del uso o fin para el que ha sido diseñado. Ej: cerramientos, divisiones interiores, instalaciones, acabados, etc.
- **Elementos auxiliares:** elementos que forman parte de la edificación durante el proceso de construcción o reparación de la edificación. Una vez finalizadas las acciones constructivas puede retirarse o quedar embebido en el elemento constructivo, pero sin función alguna. Ej: andamios, cimbras, encofrados o apeos.

6.1. ELEMENTOS ESTRUCTURALES

Definición: conjunto de elementos de la edificación, destinados a soportar las cargas (equilibrio) y trasmitirlas al terreno sin deformarse excesivamente (elasticidad). Debido a su función, reciben igualmente la denominación de elementos portantes.

En relación a la anterior definición, denominaremos:

- Capacidad portante de una estructura, a la aptitud de un edificio para asegurar, la estabilidad del conjunto y la resistencia necesaria, durante el tiempo denominado periodo de servicio que, según el CTE DB SE, será por defecto de 50 años.
- Aptitud de servicio: aptitud para limitar deformaciones, degradaciones o anomalías inadmisibles, conformes con el uso del edificio.

Marco normativo: Debido a la importancia de los sistemas estructurales, la legislación en la materia es realmente amplia, destacando las siguientes normas de referencia:

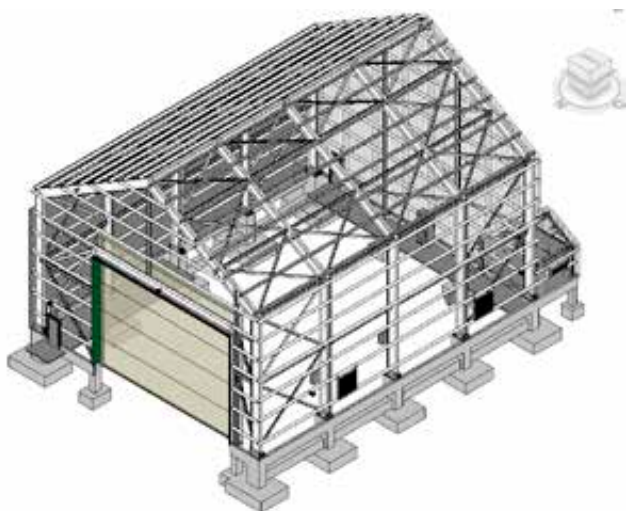


Imagen 175. Elementos estructurales



Imagen 176. Elementos complementarios



Imagen 177. Elementos auxiliares

- El **Código Técnico de la Edificación (CTE)**, es el conjunto principal de normativas que regulan la construcción de edificios en España desde 2006. En él se establecen los requisitos básicos de seguridad y habitabilidad de las construcciones, definidos por la Ley de Ordenación de la Edificación (LOE), debiendo tener en cuenta sus exigencias en las fases de proyecto, construcción, mantenimiento y conservación.

Su contenido se estructura en documentos, los cuales pueden ser clasificados en dos grandes grupos:

- **Documentos Básicos de seguridad:**

- **DB-SE (Documento Básico de Seguridad Estructural):** Se compone a su vez de 5 normativas:
 - **DB-SE AE (Acciones en la Edificación):** Acciones o fuerzas externas que deben de soportar las estructuras (ya desarrollados al inicio del presente manual).
 - **DB-SE C (Cimientos)**
 - **DB-SE A (Acero)**
 - **DB-SE F (Fábrica)**
 - **DB-SE M (Madera)**
- **DB-SI (Documento Básico de Seguridad en caso de Incendio)**
- **DB-SUA (Documento Básico de Seguridad de Utilización y Accesibilidad)**

- **Documentos Básicos de habitabilidad:**

- **DB-HS (Documento Básico de Salubridad)**
- **DB-HR (Documento Básico de protección frente al Ruido):** Fue aprobado posteriormente al resto de *Documentos Básicos*.
- **DB-HE (Documento Básico de Ahorro de Energía):** La normativa requiere la introducción de sistemas de energía solar y la utilización de materiales y técnicas de construcción que contribuyan al ahorro energético.

Con carácter complementario, deberán tenerse en cuenta, además, las especificaciones de la normativa siguiente:

- EHE: Instrucción de hormigón estructural
- EFHE: Instrucción para el proyecto y la ejecución de forjados unidireccionales de hormigón estructural realizados con elementos prefabricados.
- NCSE: Norma de construcción sismorresistente: parte general y edificación
- Etc.

Factores: Si bien los tradicionales estudios sobre comportamiento estructural se centran en los materiales constructivos y resistencia de estos, a efectos del presente manual, y con el claro objetivo de aplicar procedimientos que sean operativos a la par que sencillos, se recurrirá permanentemente al análisis de los tres factores que todo bombero puede identificar en una potencial intervención, independientemente de su naturaleza (incendio, inundación, fallo mecánico por cualquier patología edificatoria, sismo, etc). Estos factores son:

- Geometría
- Rigidez
- Materiales (ya desarrollados anteriormente)

6.1.1. GEOMETRÍA

El factor que mayor incidencia tiene en el comportamiento o funcionamiento de una estructura es indudablemente su forma, la cual se reflejará de manera inmediata en la magnitud y dirección tanto de esfuerzos soportados como tensiones.



Supongamos que con un papel A4 pretendemos elevar un vaso de agua unos milímetros, respecto un nivel horizontal. Si tratamos de levantarlo apoyado en el papel resultará imposible, ya que el papel verá fácilmente superada su capacidad resistente a flexión. Sin embargo, si el mismo A4, le damos una geometría distinta (lo enrollamos o doblamos), variará su comportamiento mecánico, pudiendo elevar no solo la masa del vaso, sino cargas mucho mayores (en nuestro ejemplo, incluso la jarra).



Imagen 178. Geometría

Para una correcta comprensión de la incidencia de la geometría en el comportamiento estructural, analizaremos el caso particular de los funiculares.

- **Funicular/ Polígono funicular:** forma geométrica adoptada por un cable deformado libremente en respuesta directa a la magnitud y punto de aplicación de fuerzas externas. Se caracteriza por adaptar siempre su forma para estar sometido a tracción pura bajo la acción de la carga aplicada.

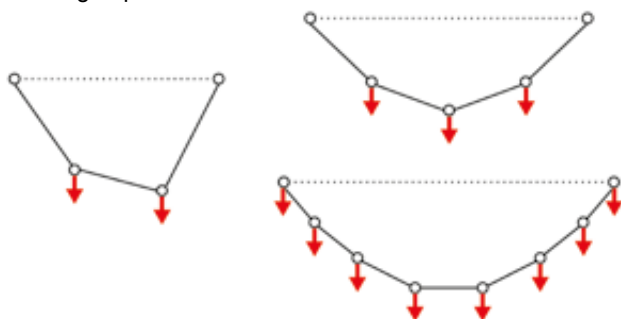


Imagen 179. Funiculares/Polígonos funiculares

Curva funicular: forma curva adoptada por un cable que se deforma libremente ante la acción de una carga distribuida uniformemente:

- Si la carga a la que está sometida el cable es exclusivamente su propio peso, la curva descrita recibirá el nombre de **catenaria**.
- En caso de que la curva descrita se deba a una carga lineal uniformemente repartida en proyección horizontal, la forma adoptada por la curva es una **parábola**.

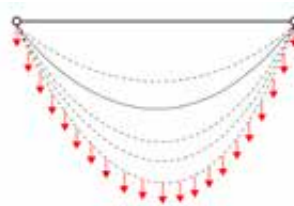


Imagen 180. Catenaria

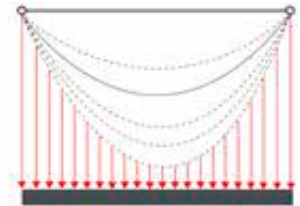


Imagen 181. Parábola

- **Estructura funicular:** estructura cuyas características geométricas propician reacciones y esfuerzos exclusivamente de compresión y tracción. Para cada estado de carga, existe una sola forma funicular general. Si cambia la distribución de las cargas, aparecen fuerzas de flexión inducidas por la estructura.

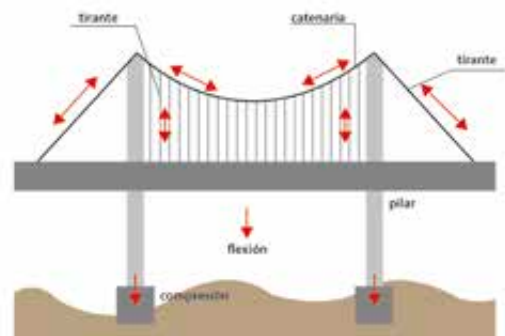


Imagen 182. Estructura funicular

Por ello, definida la geometría de toda estructura (en nuestro caso el funicular/polígono funicular/catenaria/parábola), nos vendrán determinados varios conceptos estructurales:

- **Cuantía de las tensiones internas de la estructura:** Al aumentar la flecha de un cable de una estructura funicular, disminuyen las fuerzas internas desarrolladas en el mismo. Este mismo ejemplo es extensivo a un arco.

- **Arriostramientos:** anclajes, barras a compresión o elementos similares necesarios para absorber las componentes horizontales de las tensiones.

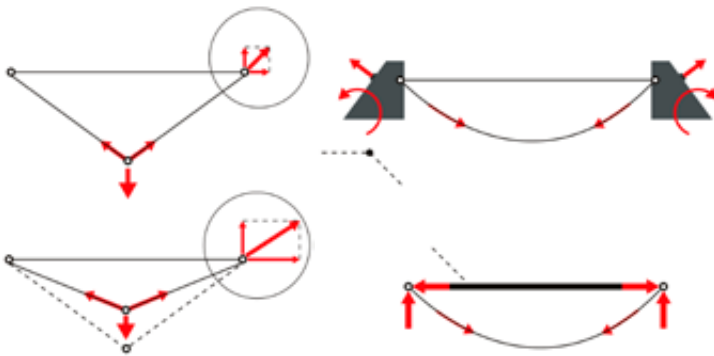


Imagen 183. Incremento de flecha

Imagen 184. Arriostramiento

6.1.2. RIGIDEZ

Capacidad de un elemento estructural para soportar esfuerzos sin sufrir deformaciones ni desplazamientos excesivos.

Para una correcta comprensión del concepto, analizaremos varios conceptos asociados:

- a) **Grados de libertad (GL):** conjunto de movimientos posibles o no impedidos de un cuerpo, en un sistema plano. Se trata por tanto, de la mayor o menor facilidad disponible por un cuerpo para desplazarse bien en el espacio (Grados de Libertad Externos (GLE)), bien sus partículas en su interior (Grados de Libertad Internos (GLI)).

Todo cuerpo elemento estructural, tiene tres potenciales movimientos o grados de libertad en un sistema plano:

- Desplazamiento vertical
- Desplazamiento horizontal
- Giro

- b) **Coacciones:** frente a los grados de libertad que puede disponer un cuerpo, éste presentará un número mayor o menor de limitaciones a éstos, denominados coacciones. Por ello, a mayor número de coacciones menor cantidad de grados de libertad (y viceversa). Análogamente a los grados de libertad, las coacciones podemos clasificarlas como Coacciones Externas (CE), o Coacciones Internas (CI).



Imagen 185. Grados de libertad



Imagen 186. Coacciones

- c) **Nudo:** conexión o vínculo estructural, entre dos o más elementos portantes. En función de los movimientos limitados (coacciones externas (CE) /coacciones internas (CI)), el nudo se catalogará en una de las tres siguientes tipologías:

- **Apoyo:** nudo estructural caracterizado por la limitación de movimientos verticales, pero permitiendo los movimientos horizontales y giros. Dicha tipología de nudo, presenta 1 coacción y permite 2 grados de libertad.
- **Articulación:** nudo que limita desplazamientos verticales y horizontales, permitiendo los giros. Presenta, por tanto, "2" coacciones y propicia "1" grado de libertad.
- **Empotramiento:** nudo caracterizado por la limitación de todo tipo de movimientos (verticales, horizontales y giros). "3" coacciones y "0" grado de libertad.

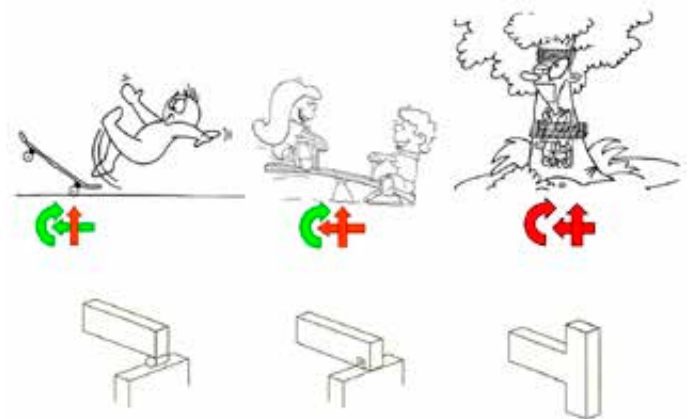


Imagen 187. Apoyo, articulación y empotramiento

Así mismo, a efectos del presente manual, las distintas tipologías de nudos estructurales se representarán con los siguientes símbolos en los distintos esquemas y ejercicios:

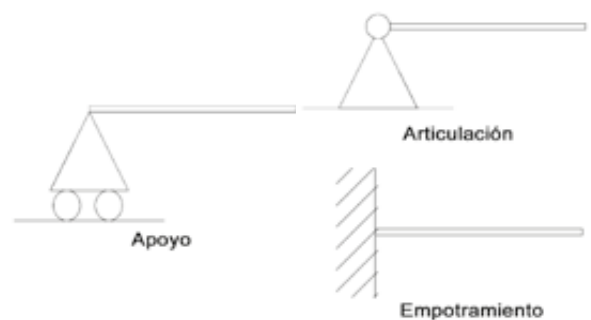


Imagen 188. Apoyo, articulación y empotramiento esquemas



Un nudo no es más seguro cuantas mayores coacciones o menores grados de libertad presente, sino que cada nudo será recomendado para una función específica, de manera que un conjunto estructural, puede tener todos los modelos de nudos existentes para cumplir correctamente su función.

A modo de ejemplo utilizaremos una estructura básica como es un columpio, el cual para un correcto funcionamiento tendrá:

- **Empotramientos:** en la base del conjunto y entre las piezas de la estructura principal (Larguero y postes).
- **Articulaciones:** para que el columpio propiamente dicho, pueda oscilar. Situadas en los encuentros con el larguero superior y con el asiento.
- **Apoyo:** al sentarse una persona, el asiento se configura como un apoyo simple, ya que de otra manera la persona no se podría volver a levantar.

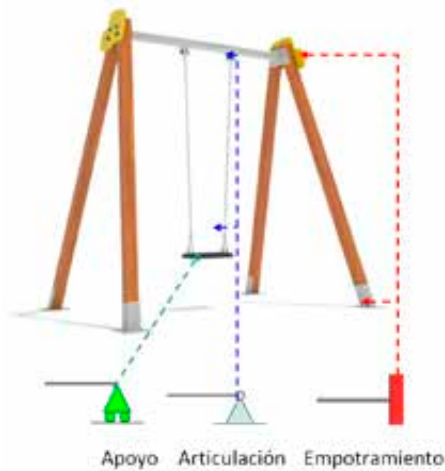


Imagen 189. Ejemplo de nudos en un columpio

Así pues, el columpio sólo dejará de funcionar correctamente caso de que alguno de los nudos anteriores no cumplan su función:

- Empotramiento: se rompa la base alguna de sus piezas rígidas (larguero o los nudos entre estas).
- Articulación: se bloquee o rompa la articulación columpio-larguero de la parte superior.
- Apoyo: el exceso de velocidad acabe generando la caída del ocupante del columpio.



Imagen 190. Rotura de empotramiento



Imagen 191. Rotura de articulación



Imagen 192. Empuje horizontal en apoyo

I. Isostaticidad e hiperasticidad:

Al objeto de comprender el comportamiento real de un conjunto estructural, sus nudos deberán analizarse en su conjunto, surgiendo a la palestra los conceptos de Isostaticidad, Hiperestaticidad e Hipostaticidad.

I.1. Estructuras Isostáticas / predeterminadas:

Sistema estructural que si bien presenta un equilibrio limitado, este es suficiente para que el conjunto estructural sea estable. Dichas estructuras pueden ser analizadas y resueltas simplemente mediante la aplicación de la 1ª ley de Newton, es decir, los sumatorios de fuerzas (ΣF) y momentos (ΣM) en cada cuerpo, serán igual a cero.

$$\Sigma F=0 ; \Sigma M=0$$

- **Ventajas:** las diferencias de temperatura no generan nuevas tensiones, ya que dilatan libremente, sufriendo únicamente el desplazamiento de sus elementos.
- **Inconvenientes:** Si bien la estructura es mínimamente estable, el incremento de tensión sufrido por supresión o fallo de cualquiera de sus elementos (barra, nudo, placa, etc), no es capaz de ser absorbido por el resto de elementos, produciéndose el colapso de la misma.

I.2. Estructuras hiperestáticas / indeterminadas:

Sistema estructural con fuerte equilibrio, debido a que presenta mayor seguridad de la que sería necesaria para lograr el equilibrio básico (estructura isostática). Para su análisis, además de considerar los principios de la estática, se deberá valorar la compatibilidad de movimientos entre sus elementos.

- **Ventajas:**
 - **Seguridad:** está formada por mayor cantidad de elementos estructurales de los necesarios para permanecer con estabilidad. Por ello, Al estar dotada de mayores factores de seguridad que las isostáticas, la supresión o fallo de alguno de sus elementos no conduce al colapso. El reparto de esfuerzos entre los elementos estructurales no dañados generará desplazamientos y nuevas tensiones internas, para lograr el equilibrio.
 - **Coste:** al trabajar con un amplio grado de seguridad, se podrán obtener estructuras que a igualdad de cargas recibidas (comparadas con las isostáticas), requieren menor sección en sus elementos y por tanto menor costo material. Por el contrario son más elaboradas, por lo que tendrán un mayor coste de mano de obra.
 - **Geometría:** elementos de mayores luces que las isostáticas, o lo que es lo mismo, el uso de menores secciones para luces iguales.
 - **Rigidez:** menores deformaciones ante idénticas cargas y mejor comportamiento ante acciones dinámicas.

• **Inconvenientes:**

- Sensibilidad ante:
 - Asentamientos del terreno
 - Desplazamientos en nudos
 - Variaciones de temperatura
- Requiere refuerzo de las secciones junto a nudos rígidos.
- Puede resultar muy elaborada.

I.3. Estructuras Hipostáticas o mecanismos.

Frente a estructuras Isostáticas e Hiperestáticas que analizan el equilibrio desde dos puntos de vista diferenciados, los mecanismos (estructuras Hipostáticas), son sistemas inestables, por lo que funcionan de manera idéntica a un “mecano”: ante la acción de una fuerza no logra el equilibrio y se desplaza.



Imagen 193. Estructura hiperestática



Imagen 195. Estructura hipostática (mecanismo)



Imagen 194. Estructura isostática

I.4. Identificación de estructuras isostáticas, hiperestáticas y mecanismos.

Ante una intervención de los cuerpos de bomberos, resultará por tanto fundamental la identificación de las propiedades mecánicas del conjunto estructural en el que tenemos que actuar o que deberemos estabilizar, tanto a nivel externo, como a nivel interno.

Con el fin de poder identificar rápidamente la estabilidad externa e interna del conjunto estructural del escenario de nuestra intervención, se planteará a continuación un sistema de análisis sencillo para aplicar a cualquier tipología de estructura ordinaria en un sistema plano. Aunque existen multitud de sistemas más básicos que el expuesto a continuación, éste presenta la ventaja de su inmediata aplicación a todas las tipologías y casuísticas estructurales.

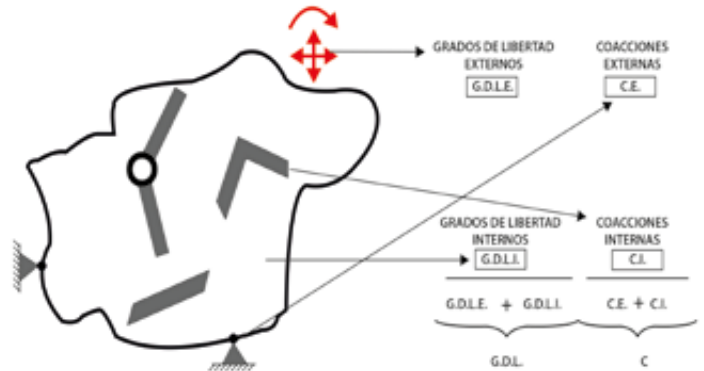


Imagen 196. Sistema de análisis para poder identificar rápidamente la estabilidad externa e interna

Visión externa del sistema:

- **GLE:** sumatorio de potenciales Grados de Libertad Externos, del conjunto estructural. Siempre los consideraremos con valor 3 (desplazamiento vertical + desplazamiento horizontal + giro).
- **CE:** sumatorio de Coacciones Externas presentes. Cada apoyo tendrá por valor 1ud, las articulaciones 2 uds y los empotramientos 3 uds.

Visión interna del sistema:

- **GLI:** sumatorio de potenciales Grados de Libertad Internos. Con valor 3 (N-1), siendo N el número de barras (elementos internos) total de la estructura.
- **CI:** sumatorio de Coacciones Internas presentes en el seno del sistema estructural. Para su cuantificación deberemos estudiar nudo por nudo, estipulándose los siguientes resultados según cada tipología presente:

Tabla 19. Cálculo de coacciones internas

	Barras apoyadas entre sí:	Barras articuladas entre sí:			Barras empotradas entre sí		
	CI = n-1	CI = 2(n-1)			CI = 3(n-1)		
n	2	2	2	3	2	2	3
CI	n-1 = 0	2 (n-1) = 2	2 (n-1) = 2	2 (n-1) = 4	3 (n-1) = 3	3 (n-1) = 3	3 (n-1) = 6

Siendo $n = \text{número de barras que llegan a cada nudo}$:

Cálculo de la estabilidad de un cuerpo: Identificaremos Los grados de libertad externos (GLE) e internos (GLI) y las coacciones externas (CE) e internas (CI), sumándolas por separado, para acto seguido calcular el grado de hiperestatismo (diferencia entre los números totales de grados de libertad (GL) y coacciones (C)).

En función del resultado numérico del cálculo, catalogaremos la estabilidad del conjunto estructural como continua:

- GL < C: Estructura hiperestática
- GL = C: Estructura isostática
- GL > C: Estructura hipostática (mecanismo).

Visualicemos el sistema de cálculo anterior con un ejemplo sencillo:

¿Qué equilibrio tiene el siguiente sistema?

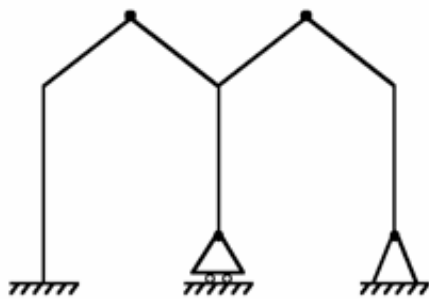


Imagen 197. Ejemplo de cálculo de la estabilidad de un cuerpo

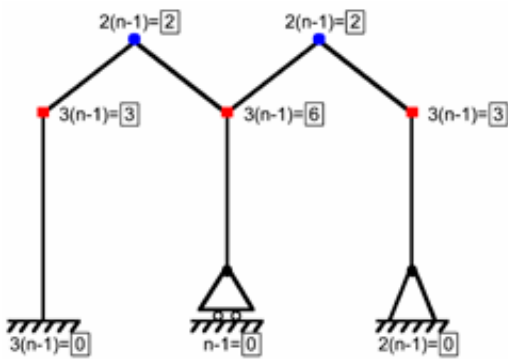


Imagen 198. Ejemplo de cálculo de la estabilidad de un cuerpo (II)

$N = \text{Total barras} = 7$

GLE = 3	CE = 6 (3uds (Emp)+1ud (Apoyo)+ 2uds (Artic))
GLI = $3(N-1) = 18$	CI = 16
Sumatorio GL = 21	Sumatorio C = 22

GL < C = Estructura Hiperestática
(El sistema es, por tanto, claramente estable).

Para tratar de comprender el problema del análisis del equilibrio en todos los supuestos, analizaremos a continuación distintas casuísticas estáticas para un conjunto estructural complejo: **el cuerpo humano**.

El cuerpo humano es una sencilla estructura ósea a base de extremidades lineales (brazos y piernas), unidas a la columna vertebral mediante “articulaciones”. En el caso de que lo exigiese nuestra estabilidad, dichas articulaciones se pueden bloquear rigidizando dos o más miembros (Ej: Muñeca, puede rigidizar la acción del brazo con la mano), como ocurre con un empotramiento.

Por ello, mediante la combinación de articulaciones y empotramientos, el cuerpo humano se puede transformar en un mecanismo, una estructura isostática o incluso una hiperestática.

Así pues, para desarrollar el sistema de análisis estructural explicado en el epígrafe anterior, analizaremos nuestra estabilidad en una situación concreta: tratando de equilibrar el cuerpo sobre las manos (haciendo el pino).

Supongamos que hacemos el pino y para equilibrarnos en la dirección del movimiento, nos apoyamos en la pared:

¿Con cuál de las dos siguientes posiciones logramos una mayor estabilidad en la dirección perpendicular a la pared?

Equilibrio “A dos manos”:

- Apoyos sobre palmas en suelo (articulaciones) y pies contra pared (apoyo).
- Bloqueo de codos (empotramiento), hombros, cadera y rodillas.

Equilibrio “A dos manos y cabeza”:

- Apoyos sobre palmas (articulaciones) y cabeza en suelo (apoyo), y pies contra pared (apoyo).
- Bloqueo de hombros, cadera y rodillas (empotramiento); codos sin bloquear (articulación).

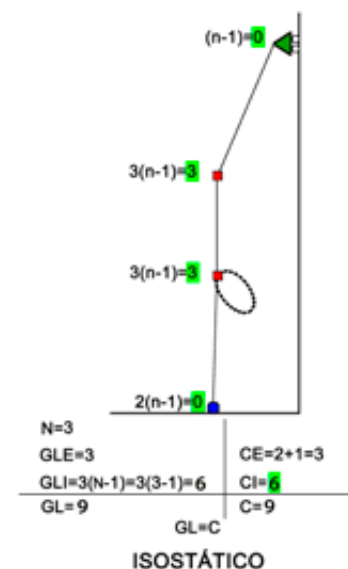


Imagen 199. Equilibrio “a dos manos”

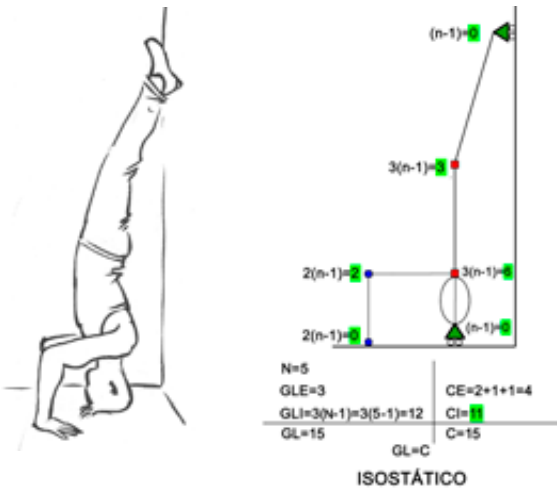


Imagen 200. Equilibrio "a dos manos y cabeza"

Si realizamos el conveniente análisis estructural, ambas posiciones constituirán un conjunto isostático en la dirección planteada (durante el tiempo que seamos capaces de bloquear las articulaciones), de forma que si sufren un nuevo esfuerzo imprevisto, se caerán.

Ahora bien,

¿Por qué no nos caemos en la dirección paralela a la pared?, ¿Cuál será posición en la que logremos la máxima estabilidad en dicha dirección?

Curiosamente y aunque parezca anormal, la situación más inestable de las tres planteadas, es el pino a tres apoyos. Si bien la posición constituye un conjunto isostático (suficiente para mantener un mínimo equilibrio), las dos posiciones previas, aunque más exigentes físicamente (bloqueo de codos) aseguran una mayor estabilidad estructural.

Compliquemos el problema un grado más:

- En caso de no disponer de una pared de apoyo, ¿cuál de las siguientes posiciones será más estable para hacer el pino a una mano?

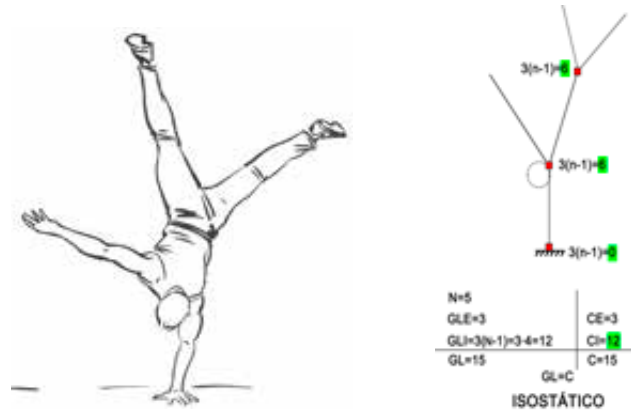


Imagen 204. Conjunto isostático a una mano

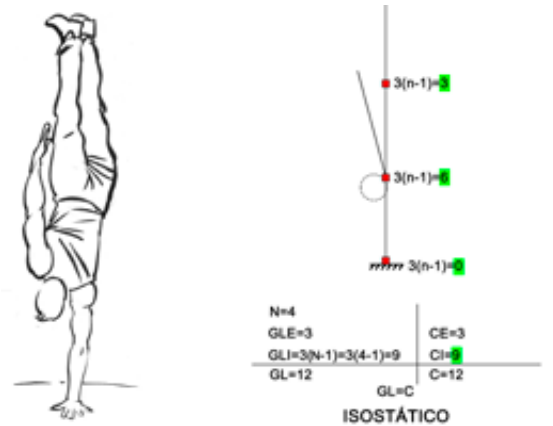
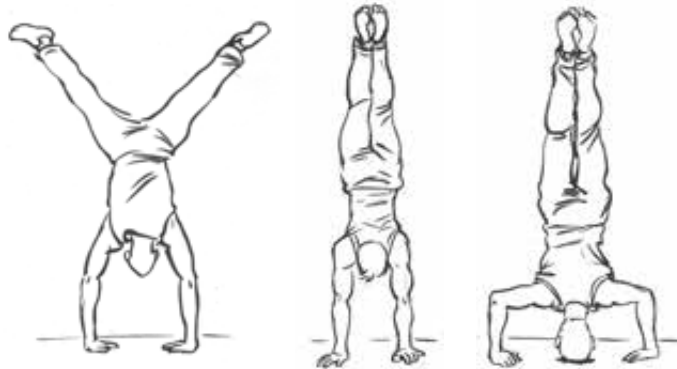
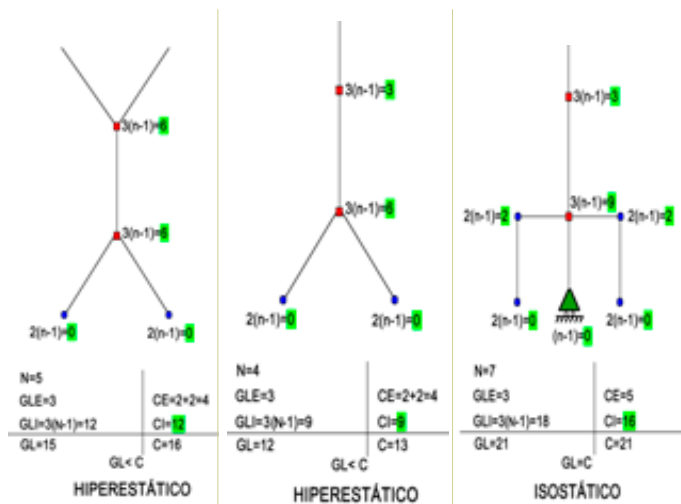


Imagen 205. Conjunto isostático a una mano



Imágenes 201 y 202.

Conjunto hiperestático a dos manos

Imagen 203.

Conjunto isostático a dos manos

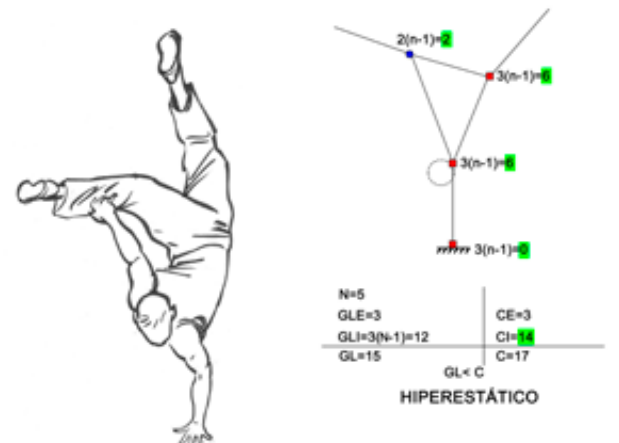


Imagen 206. Conjunto hiperestático a una mano

Tras un primer vistazo los tres esquemas podrán parecer erróneamente idénticos. En todas ellas, se exige un gran esfuerzo físico para bloqueos de muñeca, tronco y cadera

(empotramientos). Sin embargo, en la posición de la derecha, el simple acto de coger el pantalón con una de las manos (articulación), generará un arriostramiento adicional, que posibilitará el hiperestatismo del conjunto.

Mecanismos:

Frente a los dos supuestos anteriores en los que se plantea el análisis del equilibrio (a una mano o dos manos), en ciertas estructuras puede ser necesario su funcionamiento como un mecanismo durante ciertos procesos constructivos (Ej: montaje, transporte o desmontaje). Dando lugar a mecanismo “controlados”.

En el caso que nos ocupa, la carencia de equilibrio o generación de mecanismos controlados, será necesaria para paso de un estado a otro de equilibrio:

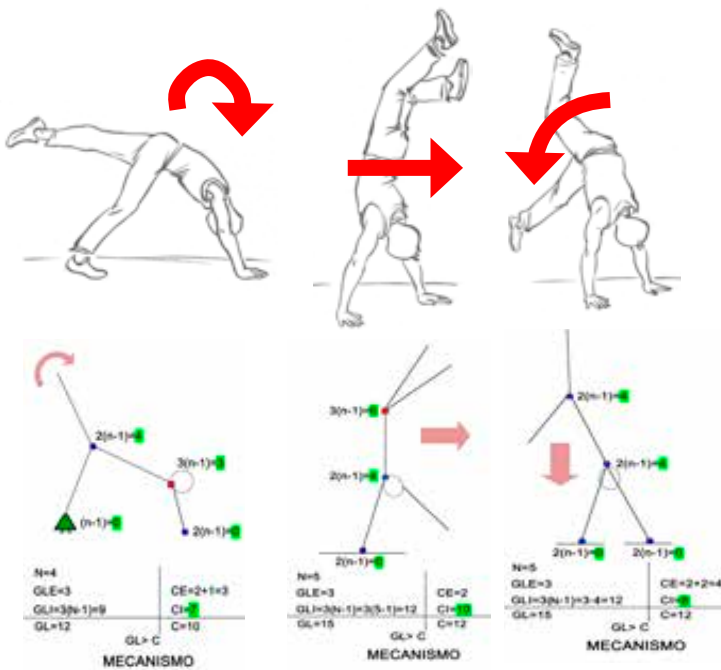


Imagen 207. Mecanismos de equilibrio (I)

Imagen 208. Mecanismos de equilibrio (II)

Imagen 209. Mecanismos de equilibrio (III)

Ahora bien, por compleja que resulte una estructura, toda ella se reducirá a un conjunto de elementos cuya estabilidad vendrá generada por la naturaleza de los nudos existentes. Por ello, el planteamiento expuesto es aplicable a cualquier estructura cuya estabilidad debamos plantear.

A modo de ejemplo, analizaremos a continuación el equilibrio de la estructura compleja de la fotografía inferior:

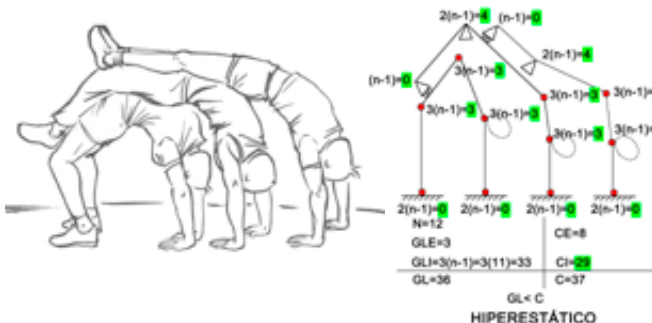


Imagen 210. Equilibrio de estructura compleja

Imagen 211. Equilibrio de estructura compleja

Extrapolemos lo anterior a una estructura real.

6.2. PROBLEMA GENÉRICO DE ESTABILIDAD ESTRUCTURAL

Para el estudio integral de la estabilidad de cualquier esquema estructural lo ideal es hacer una evolución de la patología, es decir:

- Fase 0: Analizar su equilibrio previo a la patología.
- Fase 1: Estudiar el nuevo equilibrio de la estructura dañada.
- Fase 2: Proponer y justificar mediante un breve cálculo, cuantas soluciones se estimen pertinentes. Siempre se deberá optar por la solución que entrañe menor peligro para los intervinientes.

Aplicaremos por tanto los anteriores pasos a un potencial derrumbe de una viga Pratt de cualquier uso constructivo (base de una cubierta, puente, marquesina, etc).

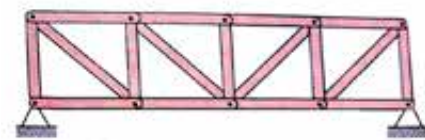


Imagen 212. Viga Pratt original

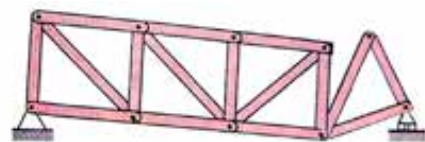


Imagen 213. Viga Pratt tras patología

Fase 0: Estabilidad Previa a la patología

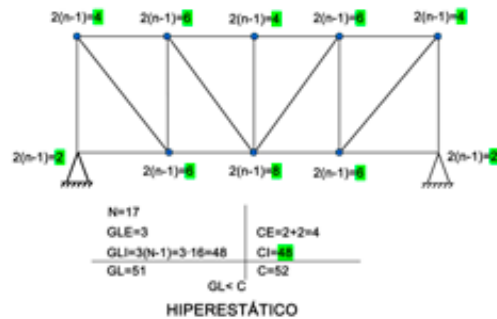


Imagen 214. Estabilidad previa a la patología

El esquema estructural de la estructura objeto de análisis, resulta una clara estructura con un alto grado de estabilidad estructural, configurándose como un conjunto hiperestático.

Fase 1: Equilibrio de la estructura dañada

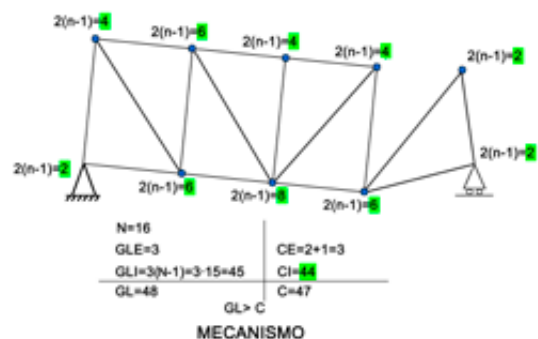


Imagen 215. Equilibrio de la estructura dañada

La situación estructural motivada por la patología, es un claro mecanismo, por lo que la viga no cumple la función para la que fue diseñada y construida.

Fase 2: Soluciones

En todo análisis estructural se propondrán cuantas soluciones se estimen convenientes. Las mejores soluciones siempre serán las más sencillas de ejecutar. Por ello, arranquemos de las más simples y las iremos complejizando paulatinamente.

En el ejemplo que nos ocupa, parece que la solución más sencilla es el apeo inferior mediante elementos verticales (puntales, pies derechos, etc).

En la medida de las posibilidades, diseñaremos apeos que supongan el mínimo riesgo posible para el conjunto de los intervinientes. Por ello, en la presente estructura se ubicará lo más próximo posible al nudo que no tenga movimientos, en nuestro caso, la articulación.

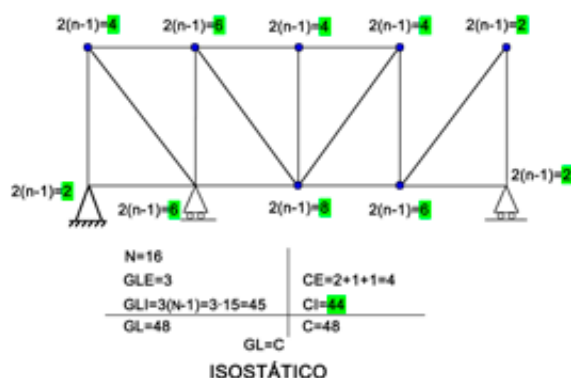


Imagen 216. Estructura de apeo con mínimo riesgo

El conjunto vuelve a recuperar un nivel de seguridad menor que el original (sistema isostático), pero suficiente para que se considere en equilibrio.

7. ELEMENTOS ESTRUCTURALES MÁS COMUNES DE LA EDIFICACIÓN

Si bien existen infinitas clasificaciones sobre las tipologías estructurales existentes, para un estudio lo más intuitivo posible de los elementos estructurales, los dividiremos en las dos siguientes categorías:

- Estructuras enterradas (o cimentaciones)
- Estructuras aéreas (o simplemente estructura)

7.1. ESTRUCTURAS ENTERRADAS

Son el conjunto de elementos constructivos de carácter estructural que, en contacto con el terreno, le transmite los esfuerzos generados por las acciones de la edificación (cargas) y los esfuerzos de contener y estabilizar sus esfuerzos horizontales (empujes del terreno).

Para tratar de comprender el comportamiento genérico de una edificación, deberemos en primer lugar de comprender las características generales de los terrenos de cimentación y las distintas tipologías existentes, identificar las causas de los

empujes laterales, factores que determinan sus características y los mecanismos de evaluación del terreno, para acto seguido seleccionar los sistemas de cimentación y de contención de tierras asociado a cada edificación.

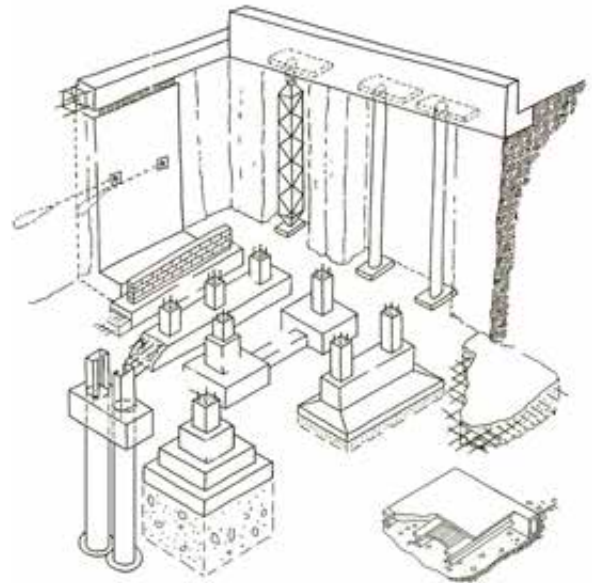


Imagen 217. Estructuras enterradas

7.1.1. TIPOS DE TERRENO

Terreno de cimentación: conjunto de estratos existentes en una porción de suelo, que sirve de apoyo y sustentación de una construcción.

Los tipos de terreno de cimentación son:

- Según su composición y resistencia: rocas, terrenos no cohesivos, terrenos cohesivos, deficientes.
- Grupos de terrenos: T1, T2 y T3

a) Tipos de terrenos según composición y resistencia

De acuerdo al CTE DB SE-C (tabla D.25), las presiones admisibles orientativas, según las propiedades de los suelos, se podrán distinguir como:

- **Rocas:** agregado natural de uno o más minerales, que para sufrir modificaciones sensibles en su estructura en presencia del agua, necesita periodos de tiempo superiores a la vida útil de un edificio. Se caracterizan por su estabilidad, no presentan en general problemas de asentamientos. Presentan una presión admisible (resistencia a compresión), extraordinariamente alta: 1-10 MPA (N/mm²), debiendo particularizar para cada tipología de roca.
- **Terrenos sin cohesión o granulares:** terrenos con proporción en peso del contenido de arenas y gravas, mayor del 65%. Son **átamente** permeables al agua, careciendo de cohesión entre sus granos sueltos. Presentan una alta presión admisible con valores 0,1- >0,6 MPA (N/mm²).
- **Terrenos cohesivos o arcillosos:** cuando la proporción en el peso del contenido de finos que tengan plasticidad (arcillas), es igual o superior al 35%. Están formados por arcillas y barros, que pueden contener **áridos**. Suelen ser impermeables y los asentamientos al someterlos a carga se pro-

ducen de manera lenta. Para una buena cimentación sobre arcillas, deberá evaluarse su origen y su contenido de agua. Su resistencia según normativa, oscilará entre 0,075-0,6 MPa (N/mm²). 1-4 Kg/cm².

- **Terrenos deficientes:** debido a que su presión admisible es muy baja, no son aptos para cimentar, por lo que han de ser objeto de un estudio oficial, pudiendo distinguir:
 - Fangos inorgánicos.
 - Suelos orgánicos.
 - Rellenos.

b) Grupos de terrenos según el CTE

El CTE DB SE-C, normativa de referencia para cimentaciones, más allá de establecer una exigencia de resistencia mínima para la sustentación de las edificaciones, clasifica los terrenos en unas clases genéricas con una serie de exigencias de homogeneidad o continuidad de los estratos resistentes, distinguiendo:

- **T-1 Terrenos favorables:** terrenos con poca variabilidad, y en los que la práctica habitual en la zona es de cimentación directa 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 3,0 m.
- **T-3 Terrenos desfavorables:** los que no pueden clasificarse en ninguno de los tipos anteriores. De forma especial se considerarán en este grupo los siguientes terrenos: suelos expansivos, colapsables, blandos o sueltos, terrenos karsticos, rellenos antrópicos superiores a 3m, zonas susceptibles de sufrir deslizamientos, terrenos con desnivel superior a 15°, suelos residuales, marismas, etc.

7.1.2. TALUDES (EMPUJES DE LOS TERRENOS DE CIMENTACIÓN)

El talud es un corte de transición entre dos cotas del terreno, que hayan de adoptar permanentemente las estructuras de tierra, bien sea de forma natural o como consecuencia de la intervención humana en una obra de ingeniería.

El ángulo de rozamiento o reposo es máximo ángulo o pendiente posible, en la que el terreno presenta reposo o estabilidad. Dicho parámetro, de especial importancia en suelos granulares, está íntimamente vinculado a la capacidad portante del material así como a la resistencia al deslizamiento: a mayor ángulo mayor resistencia.

- **Tipos de taludes:**



Imagen 218. Talud natural

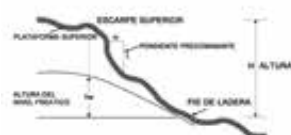


Imagen 219. Talud artificial



Según su origen podemos hablar de taludes naturales (laderas) o artificiales (cortes y terraplenes).

- **Talud natural:** ángulo que forma el plano de deslizamiento con la horizontal, el cual es diferente para cada tipo de suelo (según su ángulo de rozamiento), distinguiendo dos grandes grupos: terrenos naturales y rellenos.

Sin embargo, hay que tener en cuenta que en los casos reales, los suelos son combinaciones de ambos, además de poder verse ponderados los resultados por la acción de los agentes exteriores. Por ello deberemos especificar que los agentes externos (erosión, temperatura, etc) pueden modificar estos valores teóricos debiendo especificar:

- Rocas duras, blandas o fisuradas.
- Terrenos no cohesivos (gravas y arenas): su ángulo de rozamiento interno, será el que determine su mayor o menor pendiente independientemente de su altura. En los terrenos granulares, el talud natural para restablecer el equilibrio se forma con gran rapidez.
- Según la mayor o menor proporción de grava y arena, las pendientes oscilarán entre los 30-45°. Terrenos cohesivos (Limos y Arcillas): suelos que mantienen sus partículas unidas por fuerzas electrostáticas. En estos terrenos, la estabilidad del talud sí que depende de su altura y de la resistencia a compresión simple del terreno. En los terrenos cohesivos el talud no suele formarse con gran rapidez, pudiendo provocarse de forma violenta una gran acumulación de agua en su masa.

Tabla 20. Ángulos de rozamiento según el CTE DB SE C

Clase de suelo		Ángulo de rozamiento interno
Terreno natural	Grava	34° - 45°
	Arena	30° - 36°
	Limo	25° - 32°
	Arcilla	16° - 28°
Rellenos	Tierra vegetal	25°
	Terraplén	30°
	Pedraplén	40°

- **Talud artificial:** acciones ejecutadas con el fin de formar un plano de apoyo adecuado para hacer una obra (carretera, edificación, etc). Distinguimos:
 - Desmontes o vaciados: excavaciones de tierra realizada con el fin de rebajar la rasante del terreno, reduciendo así su cota y logrando formar un plano de apoyo adecuado para ejecutar una obra.
 - Terraplenes/rellenos: tierra con la que se rellena un para levantar su nivel y formar un plano de apoyo adecuado para hacer una obra.

Para evaluar el ángulo de rozamiento, no se podrán adoptar los valores de los terrenos naturales, ya que el material se removerá para ser colocado en el lugar del talud.

Según el CTE, se han de adoptar los siguientes valores medios:

- Tierra vegetal: 25°
- Terraplén: 30°
- Pedralbén: 40°

7.1.3. MÉTODOS DE EVALUACIÓN DEL TERRENO

Para una correcta caracterización del terreno donde se implantará una edificación, será primordial la realización del estudio geotécnico.

La evaluación del terreno se concreta en un informe técnico exigido por la legislación edificatoria, para una correcta identificación del terreno de cimentación, cuantificación de las presiones admisibles de los distintos estratos y evaluación de las potenciales cimentaciones compatibles.

Para realizar esta evaluación se ha de contar con:

- **Una información previa,** recopilación de todos los datos en relación con las peculiaridades y problemas del emplazamiento, inestabilidad, configuración constructiva, cimentaciones limítrofes, información sísmica, etc.
- **Técnicas de prospección:**
 - **Calicatas:** excavaciones (pozos, zanjas, rozas, etc.) realizadas bien con pala mecánica o manualmente hasta una profundidad inferior a 4 m (y por encima del nivel freático), que permiten una obser-

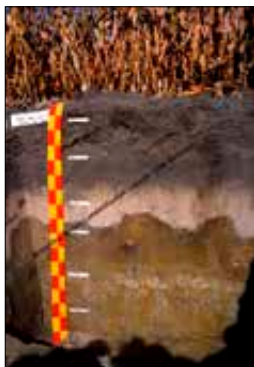


Imagen 220. Calicata



Imagen 221. Sondeo a penetración



Imagen 222.
Sondeo a rotación



Imagen 223. Barrena helicoidal

vación directa del terreno, la toma de muestras y realización de ensayos *in situ*.

- **Sondeos mecánicos:** perforaciones que permiten reconocer la naturaleza y localización de las diferentes unidades geotécnicas del terreno, así como extraer muestras del mismo. Existen 3 modalidades:
 - **Sondeo a rotación:** característico de suelos rocosos o en los que exista alternancia de capas con distinto grado de cementación. Se realiza extracción de testigo continuo bien mediante barrena helicoidal, bien mediante corona cortadora.
 - **Sondeo a percusión:** método especialmente indicado para reconocimiento de suelos granulares gruesos. Se realiza mediante la resistencia a la penetración de un elemento punzante y un vástago mediante presión o golpeo normalizado.
 - **Sondeo a presión, con punta abierta o hueca, y maciza o cerrada.** Se realiza en suelos blandos.
- **Sondeos mediante métodos destructivos,** como el trépano, martillo o tricono. Empleados en sondeos donde no interesa obtener las propiedades geotécnicas de determinadas capas duras o material grueso, bien porque se conozca suficientemente o por otras razones.
- **Pruebas continuas de penetración:** proporcionan una medida indirecta, continua o discontinua, de la resistencia o deformabilidad del terreno, a través de correlaciones empíricas. Podrán ser estáticas o dinámicas.
- **Geofísica:** en caso de edificaciones con grandes superficies, y con el fin de obtener información complementaria que ayude a distribuir los puntos de reconocimiento así como la profundidad a alcanzar en cada uno de ellos, se podrá utilizar técnicas de sísmica de refracción, resistividad eléctrica, georadares, etc.

7.1.4. CIMENTACIONES

Definición: conjunto de elementos estructurales que, en contacto con el terreno y apoyándose sobre él, tienen por objeto la transmisión del conjunto de las cargas de la edificación, de forma que no superen su presión admisible ni produzcan sobrecargas puntuales.

Al ser la unidad constructiva responsable del apoyo y anclaje al terreno de la edificación, cualquier fallo en la cimentación puede ocasionar problemas muy graves a su estabilidad.

Parámetros básicos: con objeto de comprender las características de los distintos modelos de cimentación, deberemos tener en cuenta en primer lugar los siguientes parámetros:

- **Geometría:** de acuerdo a la mayor o menor profundidad del estrato resistente, se definirá un modelo de cimentación y su forma, la cual delimitará las cargas a recibir, reacciones de la misma, así como cuantía de las tensiones a transmitir al terreno.
- **Material:** el material más utilizado en la de todo tipo de cimentaciones será el hormigón armado (*in situ* o prefabricado), debido a su capacidad formácea (adoptar cualquier tipo de geometría) y rigidez.
- **Rigidez:** de acuerdo a la EHE08, las cimentaciones de hormigón, de acuerdo al presente parámetro de análisis, se clasificarán como:
 - Rígidas:
 - Elementos masivos de cimentación (ej: Zapatas que trabajen a compresión pura).
 - Pozos de cimentación
 - Flexibles:
 - Zapatas de elevado vuelo: trabajan a flexión.
 - Losas de cimentación.

Tipologías (Según CTE DB SE C):

- a) Cimentación directa
- b) Cimentación profunda
- c) Elementos de contención

a) Cimentación directa, superficial o somera

Definición: según el CTE DB-SE C, Una cimentación directa es aquella que reparte las cargas de la estructura en un plano de apoyo horizontal. Destinándose para transmitir al terreno las cargas de uno o varios pilares de la estructura, de muros de carga o de contención de tierras de sótanos, de los forjados o de toda la estructura.

Características generales:

- **Terrenos:** se emplearán en terrenos cuya capa más superficial tiene la resistencia necesaria para recibir grandes cargas, o bien en terrenos menos consistentes, si las tensiones transmitidas, son pequeñas.
- **Profundidades:** se localizarán a poca distancia bajo la superficie, por lo que también son llamadas cimentaciones superficiales o someras.

• Tipologías:

Elementos constructivos más usuales a los que se sirven de cimentación:

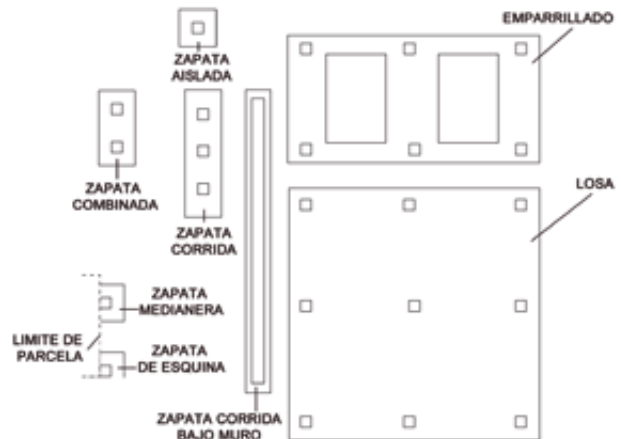


Imagen 224. Elementos constructivos más habituales

I. Zapatas aisladas

Definición: sistema constructivo característico para la cimentación de cargas puntuales (pilares), suponiendo una ampliación de la base de apoyo de la estructura de la edificación que permita una reducción de las tensiones a transmitir al terreno. Las profundidades del estrato resistente no suelen superar 1m de profundidad. Su uso está especialmente recomendado en:

- Terrenos firmes y compactos
- Cimentación con presiones media-alta
- Asientos pequeños o moderados.

Geometría: como regla general, para una mejor transmisión de las cargas y tensiones al terreno, las zapatas aisladas tendrán la siguiente geometría:

- **Zapatas interiores:** serán de planta cuadrada, tanto por su facilidad constructiva como por la sencillez del modo estructural de trabajo.
- **Zapatas de medianería:** serán de planta rectangular, preferentemente con una mayor dimensión paralela a la medianería y las de esquina de planta cuadrada.
- **Apoyo de la zapata:** cuando sea posible, se construirá la zapata de manera que el pilar apoye en su centro (zapata centrada), sin embargo, en algunos casos, esto no es posible, debiéndose construir zapatas excéntricas (o en esquina), en la que el pilar apoyará en un extremo. Ej: Pilares junto al borde de un solar.

Rigidez (según EHE08):

- **Zapatas estructuralmente rígidas:** aquellas cuyo vuelo v (semivuelo), en la dirección principal de mayor vuelo, será menor o igual que dos veces el canto h ($v \leq 2h$). Dicho modelo de zapatas trabajan exclusivamente a compresión, por lo que en teoría podrían llegar a ejecutarse en hormigón "en masa", sin armados de acero.
- **Zapatas estructuralmente flexibles:** aquellas cuyo vuelo v (semivuelo), en la dirección principal de mayor

vuelo, será mayor que dos veces el canto h ($v > 2h$). Dichas zapatas trabajan a flexión, por lo que en el caso del hormigón, deberán armarse, ya que dicho material no soporta las tracciones.

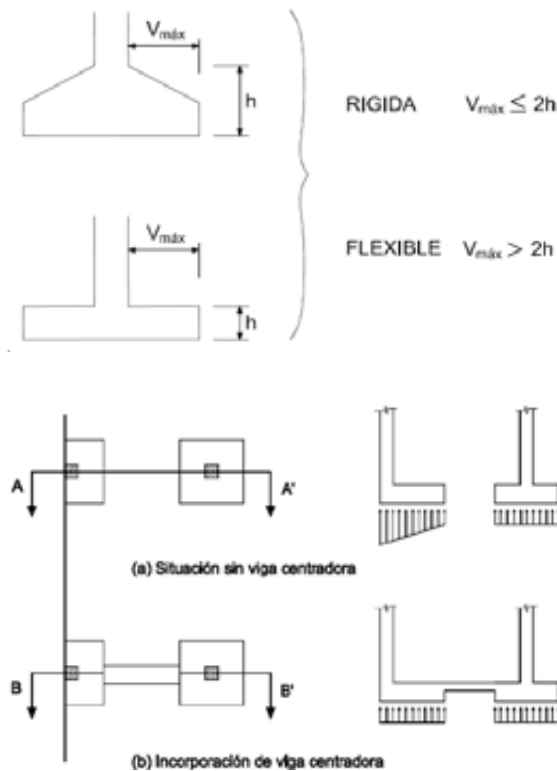


Imagen 225. Zapatas estructurales rígidas y flexibles

Con el fin de evitar deformaciones, se definen dos elementos estructurales que auxilian a la cimentación para lograr una mayor rigidez, mediante la anulación o reducción de desplazamientos laterales y giros:

- **Viga de atado/soleras:** elementos lineales de arriostramiento de cimentaciones superficiales o cimentaciones profundas, que suponen una limitación del desplazamiento lateral (tracciones), siendo especialmente apreciados en zonas de afección sísmica.
- **Vigas centradoras:** solución constructiva utilizada con el fin de absorber los giros provocados por los momento de vuelco de las zapatas aisladas fuertemente excéntricas (las de medianería y esquina). Dichas zapatas, a través de su enlace con zapatas interiores mediante la solución indicada, centrarán tanto los esfuerzos aplicados al terreno, así como las reacciones del suelo bajo las zapatas. Son vigas de canto importante (60-100 cm) y suelen ser efectivas hasta luces de 6-8 m.

II. Zapatas combinadas y corridas

Definición: sistemas de cimentación que recoge las cargas de varios pilares en una única zapata, recibiendo varias denominaciones:

- **Zapata combinada:** cimentación que recoge las cargas de dos o más pilares próximos.
- **Zapata corrida:** cimentación que recoge las cargas de

tres pilares o más alineados:

- **Vigas de cimentación:** zapatas corridas de 40 -60 cm de profundidad.
- **Zanjas:** Zapatas corridas de hasta 3 m de profundidad.

Dichas modalidades de cimentación son muy recomendada para aquellos casos en los que:

- Las cargas por pilar sean muy elevadas.
- La capacidad portante del terreno sea pequeña o moderada.
- Existan varios pilares muy próximos entre sí, o el dimensionado de los cimientos pueda lugar zapatas aisladas muy cercanas, incluso solapadas.

Geometría:

- **Forma genérica:** la forma habitual en planta de las zapatas combinadas será la rectangular, aunque ocasionalmente podrá resultar conveniente emplear zapatas combinadas de formas irregulares, particularmente de planta trapezoidal.
- **Cimentaciones de muros corridos:** si el muro a cimentar esta ejecutado a base de fábrica de ladrillo, se suele construir sobre la zapata un murete o elevación conocido como “verdugada”, de mayor anchura que el muro a cimentar, sirviéndole de nivelación. La mayor anchura de la base generará una mejor repartición de las tensiones.

Rigidez:

- **Relación canto/vuelo:** de manera análoga a las zapatas aisladas, en función de la relación canto-vuelo, la zapata será rígida o flexible.
- **Asientos diferenciales:** tanto zapatas combinadas como corridas, son un sistema recomendable para evitar movimientos o asientos diferenciales excesivos entre varios pilares, ya sea por una variación importante de sus cargas o por posibles heterogeneidades del terreno de cimentación. Suponen por tanto una rigidización del conjunto de la cimentación.

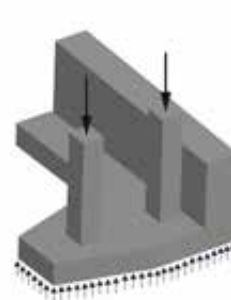


Imagen 226. Zapata combinada

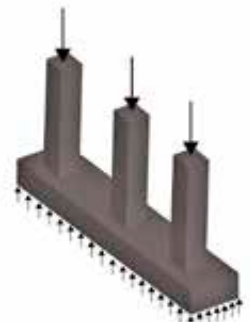


Imagen 227. Zapata corrida

III. Pozos de cimentación

Definición: solución constructiva utilizada tradicionalmente como cimentación “intermedia” y de bajo coste, para cimentaciones con estratos resistentes a 4-6m

Geometría:

Distinguiremos varias morfologías en dicho modelo la cimen-

tación, según su evolución tecnológica sufrida por el presente modelo de cimentación, a lo largo del tiempo.

- Tipología tradicional: consistente en la ejecución de un pozo de unos 3 m de profundidad, relleno generalmente con piedra natural; para acto seguido unirse en su parte superior mediante arcos de ladrillo que servían de arriostramiento.
- Sistemas actuales (según CTE DB SE C):
 - Con hormigón pobre: a base de relleno de la excavación desde la cota de apoyo con hormigón pobre, situando la zapata encima de éste de forma que se transmitan las cargas a la profundidad deseada.
 - Con plinto: ejecutado mediante descenso de la cota de la cota de zapata hasta alcanzar el nivel de terreno competente de apoyo, elevando a continuación un plinto de gran rigidez con el fin de evitar problemas de pandeo.

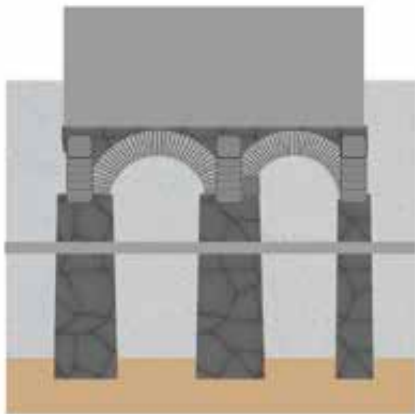


Imagen 228. Tipología tradicional

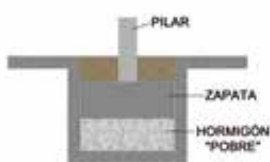


Imagen 229. Con hormigón pobre

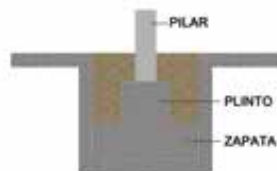


Imagen 230. Con plinto

Rigidez:

- EHE: según instrucción de hormigón estructural, Los pozos de cimentación ejecutados con dicho material son sierra cimentaciones rígidas, por lo que al trabajar exclusivamente a compresión, en teoría se podrían ejecutar sin necesidad de armado.
- Arriostramiento: en el caso de que no se justifique la colaboración lateral del terreno y existan momentos o esfuerzos horizontales apreciables se deben introducir vigas centradoras o de atado.

IV. Emparrillados

Definición: solución constructiva característica de terrenos con baja capacidad de carga y elevada deformabilidad, o bien muestre heterogeneidades que hagan prever asentamientos totales elevados.

Geometría: mediante los emparrillados, todos los pilares de la estructura quedarán recogidos en una única cimentación a base de zapatas corridas, formando una malla habitualmente ortogonal que reparte de forma más homogénea los esfuerzos.

Rigidez: al suponer tener el conjunto de cimentación de la edificación, una base mucho mayor que la lograda con los sistemas de cimentación anteriormente analizados, se consigue una mayor rigidización y limitación de los asentamientos diferenciales.

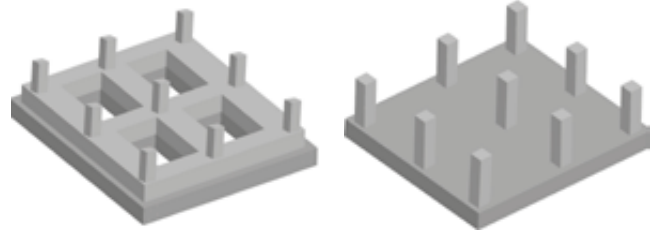


Imagen 231. Emparrillado

Imagen 232. Losa

V. Losas

Definición: modelo de cimentación superficial, con muy buen comportamiento en:

- Terrenos poco homogéneos o poca capacidad portante, que con otro tipo de cimentación podrían sufrir asentamientos diferenciales.
- En aquellos casos en los que el área cubierta por posibles cimentaciones aisladas o emparrillados, cubre un porcentaje elevado de la superficie en planta del edificio.
- En edificaciones en las que el nivel de cimentación, se sitúe por debajo del nivel freático.

Geometría: la losa cubrirá todo el área de cimentación disponible con un espesor de hormigón despreciable frente a sus dimensiones superficiales. Recogerá por tanto las cargas propiciadas por el conjunto de los elementos estructurales del edificio, propiciando la mínima presión o carga unitaria posible sobre el terreno.

Rigidez:

- EHE: según Instrucción de hormigón estructural, las cimentaciones por losas son en todo caso, cimentaciones flexibles.
- Arriostramiento: en ciertas ocasiones, puede tratarse como viga de atado de las cimentaciones puntuales.

b) Cimentaciones profundas

Se basan en un modelo de cimentación cuyo extremo inferior, en el terreno, está a una profundidad superior a ocho veces su diámetro o ancho. Su uso es recomendable en aquellos casos en los que las cimentaciones superficiales no sean técnicamente viables.

Tipologías cimentaciones profundas:

- Pilote aislado: aquel que está a una distancia lo suficientemente alejada de otros pilotes como para que no tenga interacción geotécnica con ellos;

- Grupo de pilotes: aquellos que por su proximidad interaccionan entre sí o están unidos mediante elementos estructurales lo suficientemente rígidos, como para que trabajen conjuntamente;
- Zonas pilotadas: aquellas en las que los pilotes están dispuestos con el fin de reducir asentamientos o mejorar la seguridad frente a hundimiento de las cimentaciones. Suelen ser pilotes de escasa capacidad portante individual y estar regularmente espaciados o situados en puntos estratégicos;
- Micropilotes: pilotes de pequeñas dimensiones, que sirven como solución a cimentaciones profundas en ampliaciones de edificios ya existentes (en los que no es posible introducir maquinaria de grandes dimensiones).

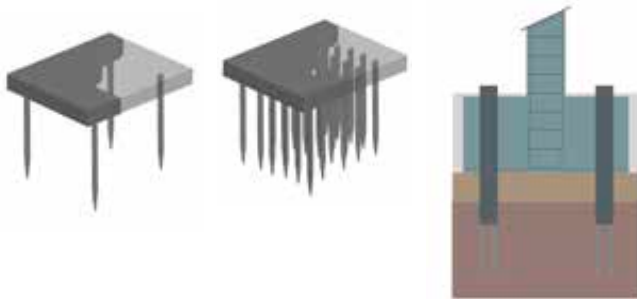


Imagen 233. Pilote aislado

Imagen 234. Grupo de pilotes/Zonas pilotadas

Imagen 235. Micropilotes

• Pilote

Definición: elemento constructivo utilizado para cimentación de construcciones, que permite trasladar las cargas hasta un estrato resistente del suelo a profundidad elevada, haciendo inviable, técnica o económicamente, una cimentación directa o superficial (zapatas, losas, emparillados, etc).

Geometría: presenta forma prismática con longitud mucho mayor que la dimensión transversal media, presentando una profundidad superior a 8 veces su diámetro o ancho. Se asemeja por tanto a una columna colocada en vertical en el interior del terreno sobre la que se apoya el elemento que le trasmite las cargas (pilar encepado, losa...), motivo por el cual trabaja a compresión.

Rigidez:

Al objeto de evitar deformaciones en los pilotes, existen dos sistemas básicos de rigidización:

- Encepado: elemento constructivo robusto y fuertemente armado, que tiene como función enlazar los grupos de pilotes, con los pilares o muros estructurales que le transmiten la carga. Dicha unión se comporta de forma idéntica a las uniones rígidas y se ejecuta mediante el descabezado de los pilotes.
- Arriostramiento: rigidización de pilotes aislados, pilotes por parejas (en la dirección transversal) o encepados a distintas alturas mediante vigas centradoras.

Según el CTE DB SE C, No se pueden colocar pilotes sin arriostrar, salvo en el caso de pilotes hormigonados *in situ* con diámetro superior a 1m; y una vez justificada su estabilidad y excentricidad de las cargas.

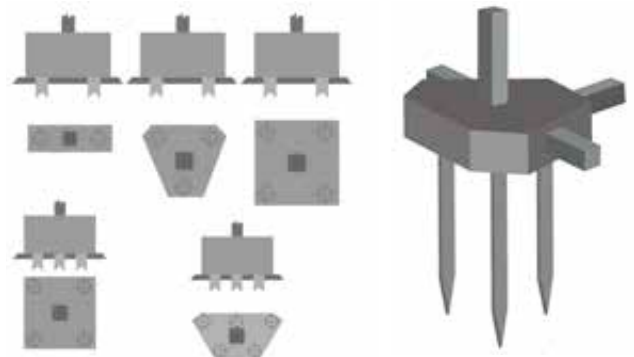


Imagen 236. Pilotes geometría



Imagen 237. Descabezado de los pilotes

Tipologías de Pilotes:

- Según su forma de trabajo: por fuste, por punta.
- Según procedimiento constructivo: prefabricados, hormigonados *in situ*.

Según su forma de trabajo:

- **Pilotes por fuste/flotantes:** en aquellos terrenos en los que al no existir un nivel claramente resistente en el que apoyarse, éste transmitirá su carga al terreno fundamentalmente por rozamiento del fuste. Se suelen denominar pilotes "flotantes".
- **Pilotes por punta/en columna:** en aquellos terrenos en los que al existir, un estrato claramente más resistente a cierta profundidad, las cargas del pilotaje se transmitirán fundamentalmente por punta.

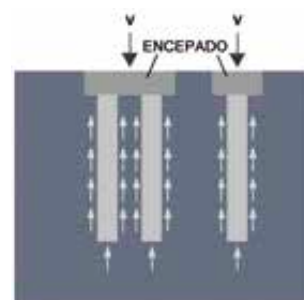


Imagen 238. Pilotes por fuste

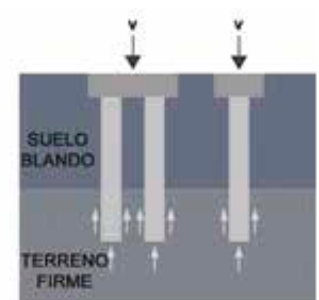


Imagen 239. Pilotes por punta

Según su procedimiento constructivo:

- **Pilotes prefabricados o hincados:** el pilote se introduce en el terreno mediante vibración o hincado (percusión con golpes de maza), sin excavaciones previas que fa-

ciliten su alojamiento. Pueden estar constituidos por un único tramo, o por la unión de varios tramos, mediante las correspondientes juntas.

- **Pilotes perforados, hormigonados o *in situ*:** pilote ejecutado tras excavación del terreno.

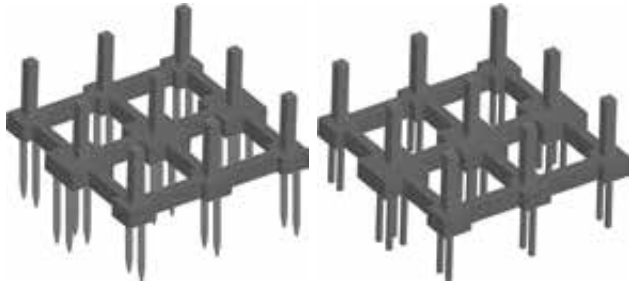


Imagen 240. Pilotes prefabricados

Imagen 241. Pilotes *in situ*

c) Elementos de contención

Conjunto de elementos constructivos destinados a establecer una diferencia de niveles en el terreno, disponiendo pendientes de inclinación mucho mayor a las que permitiría su talud natural (propiciado por su ángulo de rozamiento interno).

En función de su esbeltez, profundidad del anclaje y método de ejecución, distinguiremos dos tipologías básicas de elementos de contención: muros y pantallas de contención.

I. Muros de contención

Definición: elementos de contención destinados a establecer y mantener una diferencia de niveles en el terreno con una pendiente de transición superior a lo que permitiría la resistencia del mismo; transmitiendo a su base y resistiendo con deformaciones admisibles los correspondientes empujes laterales.

Geometría: si bien son elementos esbeltos, esta es considerablemente menor que la de las pantallas, trabajando en función de su forma a compresión pura y/o a flexión.

- Muros a compresión: por gravedad.
- Muros a flexión: en L (estándar, en ménsula, con zarpa, etc).
- Muros a flexocompresión: con placas, con contafuertes, por bataches, etc.



Imagen 242. Tipos de muros según el CTE DB SE C

Elementos: debido a la singularidad de los esfuerzos recibidos por los muro, respecto del resto de elementos estructurales de la estructura aérea, cada uno de sus elementos tiene una función específica destinada a estabilizar las acciones del terreno:

- **Trasdós:** superficie en contacto con el terreno contenido.
- **Intradós:** superficie visible y opuesta al trasdós.
- **Puntera:** parte de la base del muro que queda bajo el intradós y no introducida bajo el terreno. Evita giros del muro hacia el intradós, por empujes del terreno.
- **Tacón:** parte del cimiento que se introduce en el suelo, para ofrecer una mayor sujeción respecto los esfuerzos horizontales del terreno.
- **Talón:** parte del cimiento opuesta a la puntera, que queda por debajo del trasdós y bajo el terreno contenido. El peso de las tierras ejercidas sobre el talón, contrarrestará el potencial giro del muro.



Imagen 243. Esquema de muro

- **Alzado o cuerpo:** parte del muro que se levanta a partir de los cimientos de este, y que tiene una altura y un grosor determinados en función de la carga a soportar. Recibe el conjunto de los esfuerzos horizontales del terreno, por lo que trabaja a flexión.

Rigidez:

- **Construcción:** para garantizar su estabilidad durante la ejecución, se suele fabricar desde su parte inferior a su parte superior, y frecuentemente tras vaciado o descarga de su trasdós.
- **Anclaje:** el anclaje en su base, se realiza mediante cimentación directa y para compensar los empujes horizontales se colocan tacones, en su base.
- **Sujeción:** no suele tener elementos de sujeción intermedios, por lo que el peso de las tierras sobre su talón y la oposición de la puntera al giro, ayudan a su estabilización.

Materiales: en función de los esfuerzos a soportar (compresiones, flexiones o composición de ambas), se fabricarán a base de hormigón en masa o armado, mampostería, fábrica, etc.

II. Pantallas de contención

Definición: elementos de contención de tierras que se emplean para:

- Realizar excavaciones verticales en aquellos casos en los que el terreno, los edificios u otras estructuras cimentadas en las inmediaciones de la excavación, no serían estables sin sujeción.
- Eliminar posibles filtraciones de agua: Si bien no se consideran absolutamente estancas, debiendo tener una impermeabilización suplementaria al propio hormigón (especialmente si construcción bajo nivel freático).
- Asegurar la estabilidad del terreno, frente a fenómenos de sifonamiento.

Geometría: su espesor es despreciable frente a su altura y su longitud (mucha mayor esbeltez que en el caso de los muros de contención), motivo por el cual funciona básicamente a flexión.

Rigidez:

- Construcción: para garantizar su estabilidad durante su ejecución, se fabrica por bataches discontinuos, ejecutados desde la superficie del terreno y previamente al vaciado de éste.
- Anclaje: debido a las elevadas flexiones soportadas, las pantallas requerirán del empotramiento en el terreno por debajo del nivel de excavación (aproximadamente 1/3 de su altura).
- Sujeción: independientemente del anclaje en su base, será conveniente disponer elementos de sujeción cuando la profundidad de la excavación sea superior a los 3 o 4 m (en caso de más de un sótano).
 - Al exterior: es común estabilizar mediante unas placas que comprimen la pantalla por empuje de barras y cables fijados en un bulbo interior, que trabajan a tracción.
 - En sótanos interiores: se suelen apuntalar (comprimir) con los forjados de los distintos niveles.

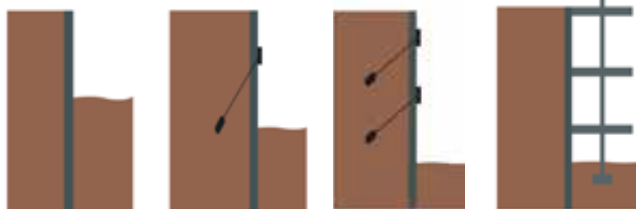


Imagen 244. En voladizo Imagen 245. Un anclaje Imagen 246. Varios anclajes Imagen 247. Apuntalada

Sistemas básicos de anclaje de pantallas *in situ*

Tipologías:

- Pantallas Ejecutadas *in situ*:
 - Pantallas continuas de hormigón (muros pantalla).
 - Pantallas de pilotes.
- Pantallas a base de elementos prefabricados.
 - De paneles de hormigón armado o pretensado, colocados en una zanja previamente excavada.



Imagen 248. Pantallas de pilotes

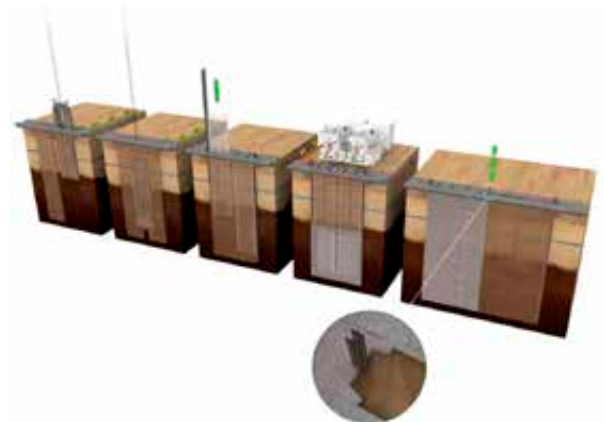


Imagen 249. Muros pantalla

Materiales: dado que los esfuerzos soportados son fundamentalmente flexiones, se suelen fabricar a base de hormigón armado, tanto pretensado como postensado.

Para una mejor comprensión del concepto, se describe gráficamente el proceso genérico de construcción de una muro pantalla *in situ* (pantallas continuas de hormigón:



Imagen 250. Ejecución de murete guía



Imagen 251. Vaciado con cucharas bivalvas

Imagen 252. Colocación de armadura



Imagen 253. Hormigonado por bataches



Imagen 258. Construcción de estructura portante del edificio



Imagen 254. Vaciado parcial tierras



Imagen 255 Anclaje / Acodado



Imagen 256. Vaciado total de tierra



Imagen 257. Ejecución cimentación edificio

7.2. ESTRUCTURAS AÉREAS

7.2.1. TIPOLOGÍAS DE SISTEMAS ESTRUCTURALES

Si bien existen infinitas clasificaciones sobre las tipologías estructurales existentes, en el presente capítulo analizaremos la casuística más frecuente en cualquier intervención de los servicios de emergencia. Distinguiremos:

- Sistemas adintelados: muros y forjados.
- Sistemas entramados: pilares, forjados y pórticos.
- Sistemas triangulados: vigas, cerchas y pórticos triangulados.
- Sistemas abovedados: arcos y bóvedas.



Imagen 259. Estructuras adinteladas



Imagen 260. Estructuras entramadas



Imagen 261. Estructuras trianguladas



Imagen 262. Estructuras abovedadas

a) Sistemas adintelados (muros y forjados)

Definición: sistema estructural formado por forjados que transmiten las solicitaciones verticales de la edificación a los muros, que actúan como elemento resistente. Si bien esta tipología se localiza en la gran mayoría de construcciones antiguas, en la actualidad solo se utiliza en edificaciones de escasa altura y superficie (chalés, pequeños locales, cobertizos, etc.).

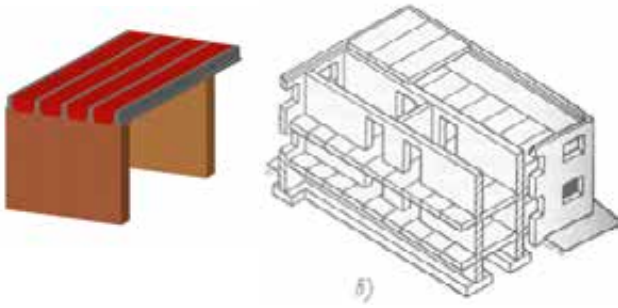


Imagen 263. Sistema constructivo de estructura adintelada

Características:

- Esquema estructural: generalmente son estructuras de tipo isostático, donde cada vano trabaja de forma independiente.
- Elementos resistentes:
 - Verticales: muros de carga, localizados en fachada delantera y posterior, e interiormente, paralelos a éstos.
 - Horizontales:
 - Simples: viguetas y vigas.
 - Compuestos: forjados y losas:
- Materiales:
 - Muros de carga: elementos de fábrica a base de ladrillo cerámico o bloque de hormigón.
 - Forjados: viguetas de madera, acero u hormigón armado y entrevigado de revoltón de ladrillo, bovedillas cerámicas o de hormigón.

b) Sistemas entramados

Definición: se denominan estructuras entramadas a las formadas por elementos básicos resistentes de pequeña sección en relación con su superficie en planta, separados entre sí una cierta distancia y capaces de soportar grandes cargas. Están constituidos tanto por los siguientes elementos:

- Piezas lineales **verticales**: pilares, soportes o pies derechos. Trabajan a compresión. Frente a las estructuras a base de muros y techos, Las cargas se distribuirán entre los pilares, dejando libres los muros, que únicamente tienen función de cerramiento o distribución.
- Piezas lineales **horizontales**: vigas, jácenas o carreras. Trabajan a flexión.
- Piezas **inclinadas** de arriostramiento.

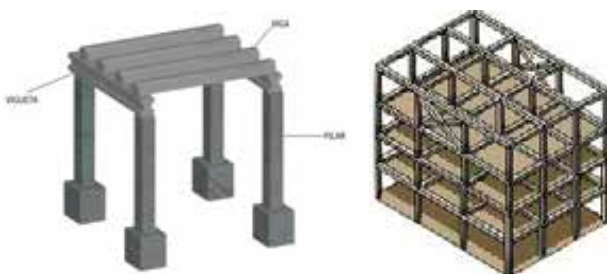


Imagen 264. Sistema constructivo de estructura entramada

Características:

- Esquema estructural: estructuras generalmente hiperestáticas, donde cada vano trabaja conjuntamente con el contiguo. Propicia por tanto una mayor seguridad frente al colapso, ya que hay una redistribución clara de esfuerzos.
- Elementos resistentes:
 - Verticales: pilares.
 - Horizontales: vigas y forjados.
 - Pórticos o marcos: unión vigas-pilares generalmente de carácter rígido, que dota al conjunto de mayor resistencia y rigidez (capacidad para transmitir las flexiones y limitar los desplazamientos horizontales simultáneamente), evitando por tanto el colapso. Distinguiremos:
 - Entramado de varios pisos: obtenido por combinación de varios marcos rectangulares, en un mismo plano y a diferentes alturas.
 - Entramados espaciales: generado por combinación de marcos en dos planos perpendiculares.

Materiales:

- Viviendas: hormigón armado y pretensado.
- Naves industriales: hormigón prefabricado o acero.

c) Sistemas triangulados (vigas, cerchas y pórticos triangulados)



Imagen 265. Triangulación básica



Imagen 266. Pórtico triangulado



Imagen 267. Estructura triangular

Definición: estructuras de carácter reticular a base de barra rectas interconectadas en nudos, dando lugar a triángulos planos (celosías planas) o prismas tridimensionales (celosías espaciales/estructuras estereas). Debido a su gran esbeltez, se utiliza para la cubrición de espacios diáfanos (sin compartimentaciones ni columnas intermedias, por lo que es muy común su localización en edificaciones industriales o recintos de pública concurrencia (Ej: pabellones deportivos).

Características:

- Esquema estructural: independientemente de si el conjunto estructural en el que se incluya, es isostático o hiperestático, el interés de este tipo de estructuras radica en que siempre que las cargas estén aplicadas en los nudos de unión de las barras, éstas trabajan a compresión y tracción, presentando flexiones despreciables.
- Elementos resistentes: en función de su posición y trabajo, las barras que componen una estructura triangular, se denominan como continua:

- Cordones: barras en posición horizontal
 - Cordón superior o par: conjunto de elementos que forman la cabeza superior. Trabajan usualmente a compresión.
 - Cordón inferior o tirante: conjunto de elementos que forman la cabeza inferior de la cer-

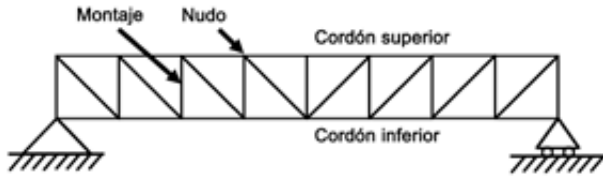


Imagen 268. Partes sistema triangulado

Materiales:

- Madera: material históricamente muy utilizado para la generación de sistemas estructurales de cubierta a base de distintas modalidades de cuchillos: a la molinera, par y picadero, par e hilera, etc.
- Metálicos: gran resistencia, propicia estructuras muy esbeltas y de rápido montaje. Presenta el inconveniente de la protección al fuego.
- Hormigón armado: buena resistencia pero limitada esbeltez. Buena resistencia al fuego.

d) Sistemas abovedados (arcos y bóvedas)

Definición: estructura compuesta por un conjunto de dovelas, con función de recoger las cargas verticales situadas sobre él más su propio peso, y transmitir el conjunto ligeramente corregido a la sección o dovela inferior hasta su arranque, a fin de liberar bajo sí vanos, cavidades o pasos.

Presentan carácter bidimensional (arcos) o tridimensional (bóvedas), pero en ambos casos las luces son bastante limitadas frente a varios de los sistemas anteriores, por lo que en la actualidad sólo se ejecutan en edificaciones singulares.

Características:

- Esquema estructural: estructuras de marcado carácter isostático, por lo que en caso de aparecer esfuerzos no previstos, colapsan y se desploman. Los arcos y bóvedas tradicionales recogerán las cargas verticales, conduciéndolas mediante esfuerzos de compresión pura de sus elementos (dovelas), hasta los apoyos (línea de imposta), donde resultarán reacciones más o menos inclinadas (componente vertical + horizontal). Los esfuerzos discurrirán a través de una línea teórica denominada "línea de tensiones", de acuerdo a la cual:
 - En caso de que la línea de tensiones salga del tercio central de la dovela, aparecerán tracciones entre las dovelas (se abrirán grietas entre las dovelas).
 - En caso de que la línea de tensiones salga fuera de la dovela del arco, la dovela afectada se caerá, con el resultado del desplome del conjunto del arco.
- Elementos resistentes: tanto arcos como bóvedas son estructuras de marcado carácter vertical, donde Su geometría propicia la magnitud de sus esfuerzos (análogamente a los funiculares, a mayor flecha, menores ten-

siones horizontales y menores esfuerzos; las tensiones verticales son constantes).

Los puntos más débiles de arcos y bóvedas son las impostas (la base del arco), dado que es el punto donde se concentran las mayores tracciones (esfuerzos horizontales), del arco. Para contrarrestar estos esfuerzos, existen varios sistemas (tirantes, contrafuertes, arbotantes, conjuntos de arcos, etc).

- Materiales: para la fabricación de arcos y bóvedas, Se puede generar un arco a base de cualquier material de fábrica con buena resistencia a compresión, si bien tradicionalmente se fabricaban a base de piedra natural (edificaciones representativas) y en menor medida en ladrillo (resto de edificaciones).

7.2.2. ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS DE CARÁCTER ESTRUCTURAL

Frente a las estructuras enterradas, que en contacto con el terreno, le transmite las acciones de la edificación, a la par que estabiliza sus esfuerzos horizontales. La estructura aérea la compondrán el conjunto de elementos portantes, generalmente por encima de la rasante del edificio, que recibe las acciones permanentes, variables y accidentales de la edificación, asegurando:

- Resistencia: mayor o menor capacidad de una estructura para oponerse a la rotura.
- Estabilidad: define la capacidad de esta, para mantener su condición original de equilibrio.

En función de la disposición de los distintos elementos portantes, lo podremos clasificar dentro de alguna de las siguientes categorías:

- a) Verticales.
- b) Horizontales.
- c) Inclinados.
- d) Elementos de enlace.

a) Elementos estructurales verticales

Elementos que reciben y transmiten fundamentalmente las cargas verticales de la edificación, a la par que complementariamente sirven de arriostramiento.

De acuerdo a las tipologías constructivas ya tratadas en el apartado inmediatamente anterior, distinguiremos los siguientes elementos verticales:

- Sistemas adintelados → Muros de carga.
- Sistemas entramados → Pilares.
- Sistemas triangulares → Pórticos triangulados.
- Sistemas abovedados → Arcos.

I. Muros de carga



Imagen 269. Muro de carga ciego

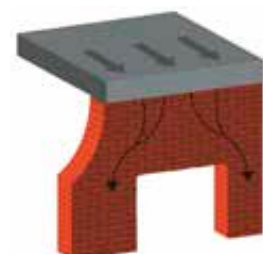


Imagen 270. Muro de carga con vano

Elementos estructurales verticales que presentan como función principal resistente la recogida de los esfuerzos transferidos por los elementos inclinados (cubiertas) y horizontales (forjados) de la edificación, para acto seguido transmitirlos a los cimientos. Trabajan principalmente a compresión y se apoyan directamente sobre los cimientos.

Los muros de carga, se suelen localizar, al menos en las fachadas principales y traseras de los sistemas estructurales adintelados, cumpliendo como función secundaria el cerramiento exterior o división interior.

Geometría: definidos por una sección recta y alargada, así como una gran longitud y altura, frente a su espesor despreciable, en todo muro se distinguen tres partes de especial interés estructural:

- **Coronación:** parte superior, elemento de repartición de cargas.
- **Paramento o haz:** cuerpo del muro, estructuralmente soporta los menores esfuerzos. En caso de que en el cuerpo de un muro se abre un vano que disminuya su sección, se pondrán elementos a los lados que distribuyan las cargas.
 - Intradós: superficie externa del alzado.
 - Trasdós/Extradós: superficie interna del alzado, está en contacto con el terreno contenido.
- **Base o zócalo:** parte esencial, soporta los mayores esfuerzos y es la más resistente.

A la dimensión libre entre dos muros de carga paralelos, se le denomina “crujía”.

Rigidez: ante la aparición de esfuerzos horizontales y excentricidades, los muros de carga, se verán arriostrados mediante muros perpendiculares a éstos y denominados “muros de atado”. Los cuales, al tener una función básica de arriostramiento y no portante, presentarán una menor sección.

Tipologías:

- Según su procedimiento constructivo: conformados, prefabricados y de fábrica.
- Según el material: hormigón armado, fábrica y “entramados” de madera.

Los tipos de muros que se utilizan con más frecuencia como elemento estructural crítico en la mayoría de las construcciones:

- 1.1. Muros conformados:** a base de materiales amorfos susceptibles de endurecer en obra tras la ejecución del elemento constructivo. (Ej: muros de tapial y hormigón).
- 1.2. Muros de fábrica:** elemento constructivo fabricado mediante la adición de pequeños elementos prefabricados, que para garantizar su estabilidad y resistencia se disponen según un orden (aparejo), de tal forma que su plano de apoyo se mantenga perpendicular al esfuerzo y queden trabados entre sí, desplazando las juntas verticales (ej.: sillar, sillarejo, ladrillo cerámico, bloque de hormigón, etc). Constituyen la categoría más importante de las tres indicadas.
- 1.3. Muros entramados:** aquellos en los que, a diferencia de los conformados y de fábrica, diferen-

cian elementos con función estructural y elementos con función de relleno.



Imagen 271. Muro conformado



Imagen 272. Muro de fábrica



Imagen 273. Muro entramado

I.1. Muros conformados

Dado que las características de los muros de tapial ya han sido suficientemente tratados en la parte inicial del presente manual, nos centraremos a continuación en el estudio de la tipología de muros conformados mas extendidos en las edificaciones actuales, el hormigón armado.

Definición: elemento de hormigón armado en toda su superficie, debiendo reforzarse con carácter extraordinario en los huecos de puertas y ventanas.

Geometría:

En función de su espesor, suelen distinguirse dos tipologías de muro claramente diferenciadas:

- $e \leq 15$ cm: muros de pequeño espesor, generalmente con resaltes a modo de placas con nervios verticales de refuerzo.
- $e \geq 15$ cm: muros de espesor constante, en los que la armadura va por las dos caras con recubrimientos.

Rigidez: al margen de las características propiciadas por la tipología de anclaje, La mayor o menor estabilidad del muro, vendrá propiciado por los armados y por potenciales refuerzos como nervios o contrafuertes. En el caso concreto de la rigidez de muros de contención de tierras, será fundamental la potencial trabazón con muros perpendiculares (al de contención), para asegurar un mayor grado de seguridad.

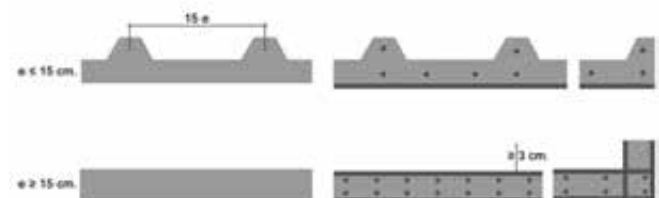


Imagen 274. Muros conformados

I.2. Muros de fábrica

Definición: elemento formado a base de la adición de pequeños elementos prefabricados, que Para garantizar su estabilidad y resistencia se disponen según un orden (aparejo),

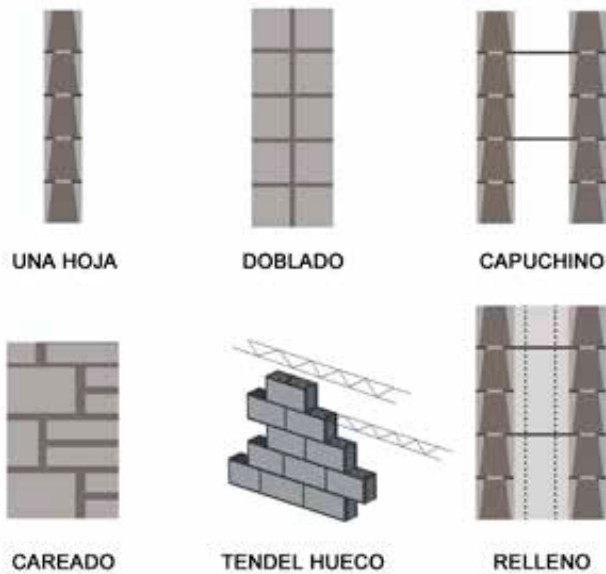


Imagen 275. Muros de fábrica

de tal forma que su plano de apoyo se mantenga perpendicular al esfuerzo y queden trabados entre sí desplazando las juntas verticales.

Geometría: en función de su espesor y su trabazón, e independientemente de los materiales de los que esté fabricado, según el CTE DB SE F, se distinguen las siguientes tipologías de muros de fábrica:

- **Muro de una hoja:** muro sin cámara ni sutura continua.
- **Muro doblado:** muro compuesto por dos hojas paralelas, enlazadas entre sí mediante conectores o armaduras de tendel capaces de transmitir el esfuerzo cortante que se genere entre ambas hojas, de modo que trabajen solidariamente.
- **Muro capuchino:** muro compuesto por dos hojas paralelas, eficazmente enlazadas por llaves o armaduras de tendel. Sin capacidad para transmitir esfuerzo cortante, con una o ambas hojas soportando cargas verticales. Es similar al muro doblado pero ni las hojas pueden ser menores de 9 cm, ni la cámara de aire superior a 11 cm. Dicha cámara de aire es ya de por sí aislante si bien se puede llenar de fibra de vidrio, lana de roca, poliuretano u otro material aislante.
- **Muro careado:** muro con piezas de cara vista trabadas con piezas de trasdós, de modo que trabajen solidariamente.
- **Muro de tendel hueco:** muro en el que las piezas se asientan en los bordes exteriores de sus tablas, con tendeles huecos de dos bandas de mortero ordinario.
- **Muro relleno:** muro compuesto por dos hojas paralelas, separadas al menos 50 mm, enlazadas con llaves o armaduras de tendel, con la cámara rellena de hormigón, de modo que trabajen solidariamente.
- **Muro de revestimiento:** muro que reviste exteriormente sin traba a otro muro, o a un entramado y no contribuye a su resistencia.
- **Muro sin carga:** muro no resistente cuya eliminación no perjudica la integridad del resto del edificio.

Rigidez: Para evitar deformaciones de los muros de fábrica, las piezas deberán tener una correcta trabazón mediante la disposición de hiladas y aparejos, e incluso refuerzos auxiliares mediante armaduras, según las tipologías analizadas en el epígrafe anterior.

I.3. Muros entramados de madera / mixtos

Definición: técnica muy frecuente y extendida en la arquitectura popular, mediante la cual se consiguen elementos constructivos mixtos a base de elementos resistentes de madera (armazón o esqueleto), reforzado mediante un relleno a base de paños de fábrica o conformados (cascotes, yesones o ladrillos tomados con mortero de cal –con fines de aislamiento y distribución–).

Geometría: las secciones de madera, presentarán secciones claramente menores que las de pilares aislados, así como de muros de idénticos materiales. Sin embargo, al reforzarse los elementos resistentes mediante muros y paños ciegos (unidos mediante tomiza y clavos), no sufren una disminución de su solidez.

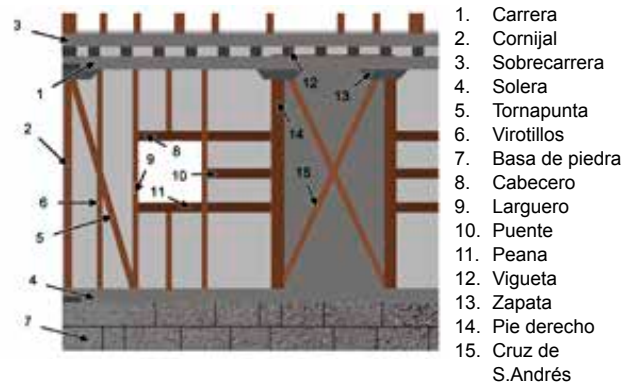


Imagen 276. Muros mixtos/entramado de madera

Si bien el muro entramado es una estructura vertical en su conjunto, en función de la disposición de sus elementos en su interior distinguiremos las siguientes piezas.

• Piezas verticales

Pie derecho:

- **Definición:** elemento estructural fabricado a base de madera dispuesta verticalmente, el cual constituye el elemento vertical básico de las estructuras entramadas de madera.
- **Resistencia:** trabaja a compresión.
- **Arranque:** en la medida de lo posible tratará de evitarse la humedad del suelo, colocándose entre ambos un elemento de piedra (baza) o de madera (dado). Si el elemento de arranque es de escasa dimensión o no existe, hay serio riesgo pudrición e incluso de ataque de hongos e insectos xilófagos.
- **Coronación:** entre pie derecho y carrera horizontal (vigas), se colocarán bien zapatas a modo de capitel, bien sopandas (de mayor longitud que las anteriores, a fin de recoger mejor las cargas de las carreras y aminorar su vano).
- **Variantes/tipologías:**
 - **Cornijal:** pie derecho colocado en una esquina de la estructura entramada.



Imagen 277. Pie derecho con basa y zapata



Imagen 278. Tomiza

- **Larguero:** pie derecho que sirve de jamba de un hueco. Recibe las cargas del cabecero.
- **Virotillo:** pie derecho de menor longitud que un piso. Recibe y transmite cargas a otros elementos estructurales (verticales, horizontales o inclinados).
- **Muchacho:** pieza de pequeña sección que transmite cargas de cuarteles (relleno no estructural) o piezas no estructurales. Trabaja a compresión y suelen ser de menor sección que un enano. Es común ubicarlos entre alfeizar y solera inferior.

• Piezas horizontales

- **Carrera:** elemento estructural horizontal de madera, que tiene como misión absorber los esfuerzos del forjado y transmitirlos a los pies derechos. Trabaja a flexión. La longitud máxima de dichos elementos será de 5 m.
- **Sobrecarrera:** madero de piso que sirve para reforzar a las carreras especialmente sobrecargadas (ej: fachada). A efectos prácticos, supone la ampliación del canto de la carrera.
- **Cabecero/Dintel:** madero horizontal dispuesto entre dos pies derechos a fin de liberar el espacio inferior para abrir una puerta o una ventana. Equivale al dintel.
- **Puente:** madero colocado horizontalmente entre dos pies derechos o entre un pie derecho y la pared. Se diferencia del cabecero en que no libera un vano bajo él.

• Piezas inclinadas

- **Tornapuntas:** elemento estructural inclinado de madera, que recibe los esfuerzos de un elemento vertical y lo transmite a otro horizontal. Trabaja a compresión.
- **Jabalcón:** elemento estructural inclinado de madera, que recibe los esfuerzos de un elemento horizontal o inclinado y lo transmite a otro vertical. Trabaja a compresión.
- **Cruz de San Andrés:** pieza de madera compuesta por dos maderos que tienen la función de arriostrar

el conjunto. Visualmente constituyen un aspa con dos ángulos agudos y dos obtusos. Suelen tener menor sección que tornapuntas y pie derechos lo que unido a su elevada longitud, propician que trabajen bien a tracción.

- **Riostra:** pieza de madera destinada a triangular los espacios rectangulares mediante esfuerzos de tracción.

Rigidez:

- **Esbeltez:** los muros entramados, presentan idéntica limitación a la determinada para los pilares: elemento estructural de bajo espesor frente a su altura y longitud, que funciona fundamentalmente a compresión, debiendo limitar la su altura en función de la esbeltez (en función del canto o espesor del elemento constructivo), para evitar peligrosas deformaciones por pandeo no previstas.
- **Arriostramiento:** además de todas las ventajas descritas hasta el momento, la presencia de elementos de arriostramiento (tornapuntas, jabalcones, riostras, cruces de San Andrés, etc), generan un grado extra de seguridad ante potenciales deformaciones.

Así pues, a igualdad de sección, son evidentes las ventajas propiciadas por una mayor rigidez, que las conseguidas mediante estructuras de fábrica estándar:

- Mayores alturas de elementos verticales,
- Mayores luces libres en espacios interiores, y
- Mayores dimensiones de los huecos de fachadas, que las conseguidas mediante estructuras de fábrica.

Por todo ello, se generalizaron rápidamente en edificaciones de más de una altura.

II. Pilares o soportes

Definición: elementos verticales cuya función consiste en recoger las cargas horizontales del edificio propiciadas fundamentalmente por las vigas (en forjados unidireccionales) o directamente del propio forjado (en forjados bidireccionales) y transmitir las a las cimentaciones.

En función del material del que estén fabricados, reciben varias denominaciones:



Imagen 279. Tipos de columna

Geometría:

Aunque no necesariamente tengan que estar compuestos por todas ellas, en todo pilar teóricamente podemos distinguir tres partes claramente diferenciadas: la basa o apoyo, el fuste y la cabeza o capitel.

Capitel: parte superior de un pilar, que Recibe los esfuerzos de los elementos horizontales.

Fuste: cuerpo del pilar.

Basa o apoyo: elemento constructivo a través del cual los soportes transmiten los esfuerzos al cimiento de manera que éste pueda resistirlos.

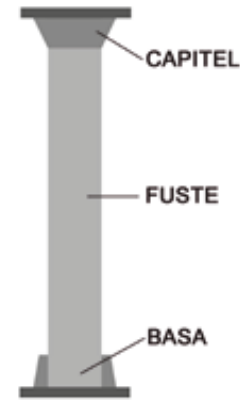


Imagen 280. Geometría de la columna

Al ser piezas lineales que trabajan principalmente a compresión, su longitud máxima vendrá determinada por su esbeltez o posibilidad de pandeo.

Rigidez: Distinguiremos Los dos casos más frecuentes: acero y hormigón armado

- **Soportes de acero**

Dado que el material que constituye el cimiento (normalmente hormigón) es menos resistente que el acero del soporte, será común el uso de placas y elementos de reparto.



Imagen 281. Distribución de esfuerzos con placa v sin placa

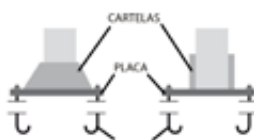


Imagen 282. Elementos de la placa

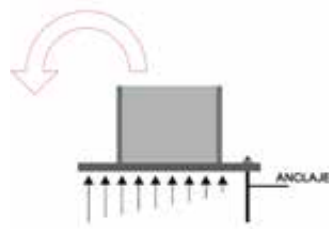


Imagen 283. Transmisión momentos flectores

Para poder absorber todos los esfuerzos a los que está sometida, la basa de un soporte de acero, estará constituida por una placa de base, cartelas de rigidez y pernos de anclaje:

- Compresión axial, vertical hacia abajo: transmitidos por la placa de base rigidizada por cartelas si son necesarias, y actuando los pernos como armadura del hormigón.
- Tracción axial, vertical hacia arriba (menos frecuente): Los esfuerzos verticales hacia arriba, de tracción, son transmitidos por los pernos de anclaje.
- Momento flector: transmitido por la combinación de la compresión bajo un borde de la placa de asiento y la tracción en los pernos de anclaje del extremo opuesto.
- Otros: esfuerzo cortante u horizontal (viento, sismo, etc.)
- Momento torsor (muy raro).

- **Pilares de hormigón armado**

En el caso de tratar con pilares de hormigón armado, si sobre ellos se ejercieran únicamente, compresiones según el eje de la pieza, el hormigón, al ser un material pétreo, soportaría esas compresiones sin necesidad de armadura.

Sin embargo, la rigidez de los nudos hace casi imposible que no existan momentos que produzcan flexiones (y por tanto tracciones), que el hormigón en masa es incapaz de soportar.

Por otra parte, las jaulas de acero dificultan potenciales aplastamientos.

Tampoco sabemos cuándo un pilar, puede perder su equilibrio por sobrecargas o por acciones externas (vientos, etc), generando pandeo (= flexión compuesta), con la consiguiente necesidad de disponer armadura.

Por todo lo anterior, Los pilares de hormigón armado siempre presentarán armaduras longitudinales (absorben pandeos), auxiliadas por estribos, zunchos, etc.

III. Pórticos o marcos

Definición: Unión vigas-pilares generalmente de carácter rígido, que dota al conjunto de mayor resistencia y rigidez (capacidad para limitar los desplazamientos horizontales), evitando por tanto el colapso.



Imagen 284. Pórtico

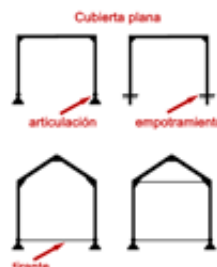


Imagen 285. Marcos I

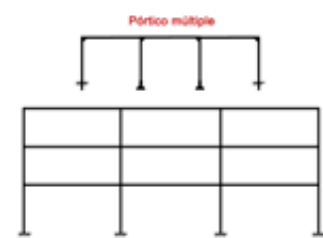


Imagen 286. Marcos II

Geometría: conceptualmente se trata de una estructura triangulada que prescinde de su cordón inferior. Sin embargo, a diferencia de éstas, las cargas no suelen ser aplicadas en sus nudos por lo que principalmente trabajan a flexión, a la par que absorben los esfuerzos horizontales.

Rigidez: la unión pilares vigas mediante uniones articuladas o mejor aún, empotradas, incrementarán notablemente la resistencia a las deformaciones del conjunto, dando lugar a estructuras de grandes luces, con pequeños cantos, espe-



Imagen 287. Unión rígida

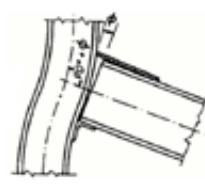


Imagen 288. Unión semirrígida

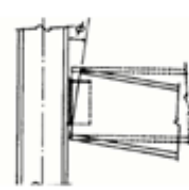


Imagen 289. Unión flexible

- Intradós: superficie definida por el paramento interior del arco. Su punto más alto recibe el nombre de vértice, y la línea de vértices, espinazo.
- Trasdós: superficie definida por el paramento superior del arco.
- Mocheta o telar: plano normal al frente del arco, que limita el estribo.

Geometría: los arcos son estructuras verticales basadas en la yuxtaposición de dovelas que persiguen la transmisión preferente de esfuerzos de compresión, resultando por ello fundamental, el preciso acoplamiento de las piezas.



Imagen 292. Arcos

Para lograr que el arco funcione únicamente a compresión, su generatriz debe adaptarse todo lo posible al antifunicular (forma inversa al funicular o figura de reparto de las verdaderas cargas de la estructura) de las cargas, lo cual es difícil de conseguir por la no uniformidad de las cargas recibidas.

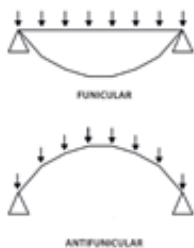


Imagen 293. Funicular y Antifunicular



Imagen 294. Arco



Imagen 295. Arco como antifunicular

El conjunto de las cargas verticales recogidas por el arco y concentradas en su base, se transmitirá a los estribos o soportes mediante esfuerzos inclinados (resultante vectorial de esfuerzos verticales + horizontales), cuya peligrosa componente horizontal, será de mayor o menor magnitud según la inclinación de la línea de presiones y por tanto del arco.

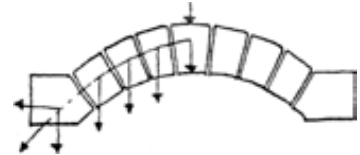


Imagen 296. Cargas del arco

A igualdad de cargas verticales a soportar, generará mayores esfuerzos internos y reacciones en su base, un arco rebajado que uno estilizado.

Dado que los esfuerzos discurrirán a través de la “línea de presiones”, de acuerdo a esta:

- En el caso de que la línea de tensiones salga del tercio central de la dovela, aparecerán tracciones entre las dovelas (se abrirán grietas entre las dovelas).
- En el caso de que la línea de tensiones salga fuera de la dovela del arco, la dovela afectada se caerá, con el resultado del desplome del conjunto del arco.

Rigidez:

Tal y como se ha expuesto en el epígrafe anterior, al objeto de asegurar la estabilidad estructural del conjunto de arcos y bóvedas, se hará especial hincapié, en la línea de presiones lleve el trazado adecuado, lo que conllevará una especial atención o control de los esfuerzos horizontales en la base del arco, que es donde presentan mayor magnitud.

Existen varios sistemas constructivos para la estabilización de dichos esfuerzos horizontales:

- Tirantes: elemento horizontal de pequeño espesor que trabaja únicamente a tracción. Se puede ubicar a distintas alturas del arco, pero el lugar donde presentará mayor efectividad, será entre sus arranques.
- Contrafuertes: sistema estructural consistente en la colocación de una importante cantidad de material macizo, cuyo peso corrija hacia una mayor verticalidad la resultante total de las acciones en la base del arco. Las fuerzas horizontales, por tanto, no se eliminan ni disminuyen, sino que se tratan de “redirigir”. Por ello, la práctica era la acumulación de gran cantidad de materia junto a los muros en los que se apoyaban los arcos, que trabajase a compresión. Propiciando edificaciones de no excesiva altura, con ventanas pequeñas al exterior y con interiores oscuros. Ej: iglesias románicas.
- Arbotantes: evolución tecnológica del sistema de contrafuertes que propicia una mayor absorción de esfuerzos horizontales con sistemas constructivos más esbeltos que los contrafuertes y separados de los muros en los que se apoyan los arcos y bóvedas. Las edificaciones resultantes son de mucha mayor altura y grandes ventanas que dotan de iluminación natural al interior de las edificaciones. Ej: iglesias góticas.
- Sistemas de arcos: sistema estructural consistente en un conjunto de arcos situados en crujeas paralelas, de manera que los esfuerzos horizontales se van compensando con los arcos situados en sus laterales inmediatos.

Tipologías:

- Según su función estructural: aligerantes y estructurales.
- Según su geometría: un centro, dos centros, tres o más centros

Tipos de arcos en función de su función estructural:

Los arcos pueden ser:

- Aligerantes, forman parte del propio muro y tienen por objeto aligerarlo (arcos ciegos) o poder abrir huecos en él.
- Estructurales, con una función constructiva de soporte y transmisión de cargas. Consideramos en este caso tres tipos de arcos:
 - Arcos que cubren la luz entre pilastras o columnas. Son la alternativa al dintel en estructuras porticadas.
 - Arcos de refuerzo de bóvedas y cúpulas.
 - Arcos de contrarresto, caso típico de los arbotantes, que permiten sujetar empujes laterales producidos por bóvedas u otros arcos sin necesidad de recurrir a pesados muros.

Tipos de arcos en función de su geometría:

- Arcos de un solo centro:



De medio punto Rebajado Peraltado De herradura

Imagen 297. Arcos de un solo centro

- Arcos de dos centros:



Apuntado En cortina Rampante Túmido

Imagen 298. Arcos de dos centros

- Arcos de tres y cuatro centros:



Carpanel Tudor En gola



Conopial Mixtilíneo Lobulado

Imagen 299. Arcos de tres y cuatro centros

b) Elementos estructurales horizontales

Elementos constructivos de eje o directriz lineal horizontal, que reciben y transmiten las cargas verticales de la edificación a los elementos portantes de carácter vertical.

Distinguiremos dos grandes grupos de elementos horizontales:

- Simples: viguetas y vigas.
- Compuestos: forjados y losas

I. Elementos simples: viguetas y vigas

Elementos estructurales lineales que, sustentados en pilares o muros, conforman un entramado horizontal que trabaja principalmente a flexión.

I.1. Viguetas

Definición: elemento estructural horizontal simple, de entidad menor. Constituye el elemento resistente fundamental en forjados estándar, recoge las cargas de cada piso y las transmite a las vigas.

Geometría y dimensiones:

- Esfuerzos: debido a su geometría horizontal, trabaja a flexión.
- Apoyos: se apoyan en los muros o vigas manteniendo una distancia entre apoyos no superiores a 6 m, para que sea una escuadría económica.

El ejemplo más claro son las VPO (Viviendas de Protección Oficial), las cuales suelen tener un fondo de 12m, con una única línea intermedia de pilares entre la fachada y el fondo de la vivienda.

- Separaciones: dado que se complementan con los elementos de entrevigado (bovedillas cerámicas, revoltos, etc) para la ejecución de los forjados, se localizarán normalmente a distancias comprendidas entre 0,60 m y 0,90 m (tamaño de bovedillas prefabricadas) aunque la separación puede ser mayor, hasta 1,20 m, dependiendo de las cargas que deban resistir y del posible espesor del forjado.

• Tipos de viguetas según su morfología:

Al objeto de desarrollar de la manera más adecuada el presente epígrafe al objeto del manual, en el presente epígrafe nos centraremos en el desarrollo de viguetas de hormigón armado, distinguiendo las siguientes modalidades:

- **Viguetas in situ** (acero de armar): nervios resistentes contruidos íntegramente en obra, a base de barras de acero corrugado B400/500 (S/SD), para una vez colocadas, hormigonarlas con "hormigón en masa". Lógicamente, necesitan un encofrado continuo, conformándose cada nervio como una pequeña viga.
- **Semiviguetas:** elemento longitudinal de hormigón pretensado, parcialmente prefabricado en instalación fija exterior a la obra y diseñado para soportar cargas producidas en los forjados de pisos o de cubiertas. Las semiviguetas son elementos "semirresistentes", dado que no se fabrican completamente, sino que presentan la particularidad de que los armados de negativos siempre aparecen descubiertos, debiendo hormigonarse *in situ*.

Por tanto, hasta que no se haya hormigonado el conjunto del forjado, la semivigüeta no adquirirá la totalidad de su resistencia.

- **Vigüeta** (o vigüeta autoportante): elemento longitudinal a base de hormigón pretensado, fabricado como en el caso de las semivigüetas en instalación exterior a la obra. A diferencia de las semivigüetas, las vigüetas son elementos “resistentes” ya que al fabricarse íntegramente, están dotadas desde el primer momento de su capacidad portante total.

Así mismo, los forjados de vigüetas se definen como autoportantes, ya que aquellos en que se coloca, no necesitarán de sopandas intermedias para su sustentación durante la fase de ejecución.

Como todos los elementos prefabricados, sus armados se fabrican a base de alambres de acero grafilados (alambres no lisos: con grafilas (dibujo) que favorezca su adherencia al hormigón) de las clases Y1570/1670/1770/1860.

- **Losa alveolar pretensada:** elemento estructural plano de hormigón pretensado, prefabricado en instalación fija exterior a la obra, aligerado de peso mediante alveolos longitudinales, y diseñado para soportar las cargas producidas en los forjados.

Supone la evolución del concepto de la vigüeta, pudiéndose asemejar a un grupo de vigüetas paralelas unidas solidariamente, por lo que con cantos similares a los de las vigüetas pretensadas, podrá cubrir luces mucho mayores.

Como todos los elementos prefabricados, se fabricará a base de alambres a base de acero Y1570/1670/1770/1860. Sus juntas laterales están especialmente diseñadas para que, una vez rellenas de hormigón, puedan transmitir esfuerzos de cortantes a las losas adyacentes.



Imagen 300. Vigüetas in situ



Imagen 301. Semivigüetas armadas



Imagen 302. Semivigüetas pretensadas



Imagen 303. Vigüetas



Imagen 304. Losa alveolar

Rigidez:

En función del apoyo de las vigüetas y sus potenciales deformaciones, distinguiremos las siguientes tipologías de vigüetas:

- **Vigüeta estandar:** elemento estructural horizontal de menor sección que las carreras, cuya función es la absorción de los esfuerzos propios del suelo del piso y

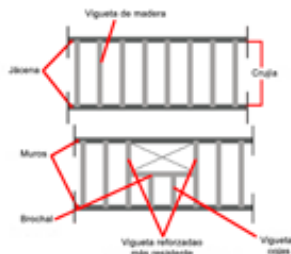


Imagen 305. Vigüetas sobre muros de carga

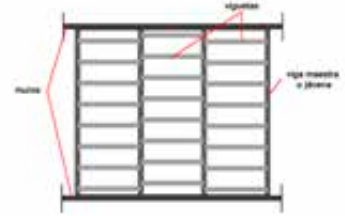


Imagen 306. Vigüetas sobre vigas

transmitirlos a las vigas. Según el material y su esbeltez, se suelen atirantar con zoquetes para asegurar una correcta estabilidad del elemento constructivo.

- **Vigüeta coja:** vigüeta que apoya en un brochal.
- **Brochal:** pieza encastrada entre muro y vigüeta o entre dos vigüetas, a fin de liberar una porción de forjado y posibilitar la apertura de un hueco (escalera, etc).
- **Zoquete:** elemento auxiliar para arriostamiento de las vigüetas de forjados de madera, colocadas a medios o tercios.

1.2. Vigas

Materiales: son las vigas, elemento estructural horizontal de entidad mayor, cuya función es recibir las cargas de los pisos a través de la vigüetas y transmitir las a los distintos elementos verticales.

En función del material utilizado en su fabricación, recibirán distintas denominaciones:

	Piedra	Madera	Acero	Hormigón	Fab. Ladrillo
Denominación	Dintel	Carrera	Jácena	Viga/ Jácena	-

Geometría y dimensiones:

- **Esfuerzos:** su forma de trabajo es igual a la de las vigüetas pero con cargas mayores y por tanto, con dimensiones máyores.
- **Apoyos:** transmitirán cargas a pilares y muros
- **Secciones:** la sección idónea de las vigas, es aquella con la mayor dimensión vertical posible, con objeto de que tenga el mayor momento de inercia posible con respecto al eje horizontal (resistencia a deformarse en sentido vertical) y por tanto, la mayor resistencia a flexión y cortante. Mientras en madera, dicha inercia se logra con secciones rectangulares, en estructuras metálicas suele utilizarse los perfiles en forma de I ó doble T.

Tipos de vigas según su forma respecto el forjado:

- **Vigas con cuelgue:** con canto superior al del forjado, sobresaliendo por su parte inferior. Trabajan mejor ya que, a igual sección que las vigas planas, tienen mucha mayor inercia en el eje vertical, que las vigas planas.
- **Vigas planas o rata:** quedan embebidas en el canto del forjado. Facilitan la distribución interior del edificio y abaratan las terminaciones (guarnecidos de techo, etc.),

aunque, a partir de cierta distancia (para espesores normales de forjado está en los 6 m aprox.) entre apoyos, pueden dar lugar a flechas no admisibles.



Imagen 307. Viga plana



Imagen 308. Viga de cuelgue

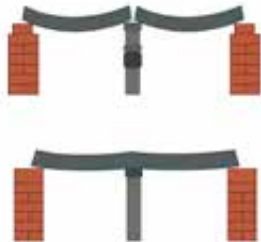


Imagen 309. Vigas de vanos aislados y vigas continuas

Rigidez:

La mayor o menor capacidad de deformación de las vigas, vendrá definida por su esbeltez, o lo que es lo mismo, por los nudos de atado en sus extremos, distinguiéndose las siguientes tipologías:

- Vigas apoyadas. no suele darse en el hormigón, en que los nudos son, por naturaleza, rígidos o empotrados.
- Vigas empotradas: vigas con anclajes rígidos en sus extremos (empotradas). Son la tipología más común en estructuras de hormigón armado.
- Vigas en voladizo. en el caso de viga en voladizo, tan importante como la disposición de las armaduras, es el necesario anclaje de las mismas para equilibrar el momento de vuelco. El voladizo puede producirse como ménsula o, lo que es más corriente, como continuidad de una viga de varios tramos.
- Vigas continuas: vigas apoyadas continuas apoyadas en varios tramos a lo largo de su longitud. Presentan como ventaja respecto a las vigas que van cubriendo tramos individuales, una menor canto y un consiguiente ahorro económico.

Así mismo, el comportamiento del material influirá en la rigidez de la pieza, siendo hormigón y madera, los dos casos más frecuentes, resaltando las particularidades de cada uno de ellos respecto lo visto en los epígrafes anteriores:

• Vigas de madera:

Las vigas de madera reciben el nombre específico de carreras, apoyándose sobre ellas las viguetas directamente. Además, frecuentemente se dispone encima las sobrecarreras que aprisionan las viguetas sirviendo además de elemento de arriostramiento.

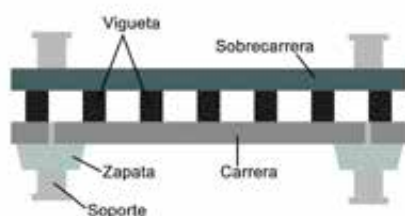


Imagen 310. Vigas de madera

• Vigas de hormigón:

Cuando el material utilizado es hormigón, la flexión de la viga origina tracciones obligando en dicho punto al uso de barras longitudinales de acero. Dichas barras habrán de situarse en las zonas de flexiones máximas, localizándose en los vanos (momentos flectores positivos), y en los nudos (momentos flectores negativos). Por ello, en dichas ubicaciones se concentra la mayor cantidad de acero.

Por otra parte, una pieza sometida a flexión lo está también a esfuerzo cortante, por lo que además de las barras longitudinales de tracción y compresión, necesitaremos dos tipos de armadura transversal: los cercos y la armadura necesaria para absorber el cortante.

• Vigas de acero:

En relación con los perfiles estudiados con anterioridad en este manual, localizaremos básicamente en vigas y viguetas los siguientes modelos de perfiles:

- Perfiles simples:
 - En forma de I: IPN e IPE
 - En forma de H: HEB, HEA y HEM.
- Perfiles compuestos: UPN en cajón o doble UPN abierto.
- Otros perfiles: Perfiles en Z (correas de cubiertas).

• Vigas trianguladas

Estructura triangulada de carácter horizontal, con características generales análogas a lo recogido en los epígrafes anteriores para vigas y con las siguientes particularidades.

Geometría: Si bien hay innumerables modelos de vigas trianguladas con propiedades específicas, analizaremos la geometría de varios modelos básicos, para comprender el comportamiento mecánico de sus elementos ante una potencial intervención.

- **Vigas Pratt/Howe:** vigas trianguladas formadas por idénticos elementos colocados de forma diferenciada:

- **Tipo Pratt:** se obtienen adosando triángulos rectángulos, en número par, de manera que las diagonales simétricas se corten en la parte inferior de la viga. Sus montantes trabajan a compresión, mientras que sus diagonales lo hacen a tracción.

- **Tipo Howe:** semejante a la anterior pero las diagonales simétricas se cortan por la parte superior de la viga. Su geometría inversa respecto la viga anterior, propicia que sus diagonales trabajen a compresión, siendo susceptibles de sufrir pandeo. Por ello, no son una buena solución.

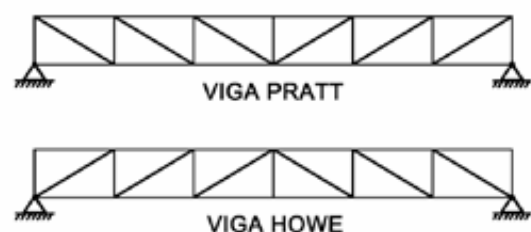


Imagen 311. Viga Pratt y viga Howe

- **Viga Warren:** viga formada a base de triángulos isósceles o equiláteros, de manera que todas las diagonales tengan la misma longitud. Típicamente en una celosía de este tipo y con cargas verticales aplicadas en sus nudos superiores, las diagonales presentan alternativamente compresión y tracción. Esto, que es desfavorable desde el punto de vista resistente, presenta en cambio una ventaja constructiva: si las cargas son variables sobre la parte superior de la celosía (como por ejemplo en una pasarela), por lo que la celosía presenta resistencia similar para diversas configuraciones de carga.

II. Elementos compuestos

II.1. Forjados

Definición: se denomina forjado a un elemento estructural, generalmente horizontal y en ocasiones inclinado, que trabajando fundamentalmente a flexión, es capaz de transmitir las cargas que soporta (estructurales o de uso), así como su propio peso, a los demás elementos de la estructura (vigas, pilares, muros...); creando un espacio horizontal practicable.

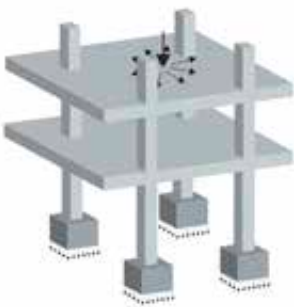


Imagen 312. Transmisión cargas



Imagen 313. Deformadas

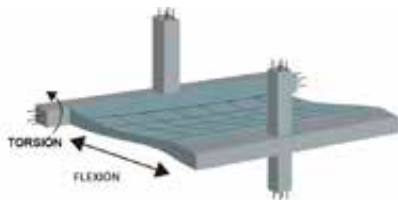


Imagen 314. Flexión

Funciones: Los forjados cumplen una doble función estructural:

- Portantes:
 - Recibir las cargas correspondientes a su uso y transmitir las a las vigas y/o pilares y, a través de éstos, a la cimentación y al terreno.
 - No sufrir deformaciones ni vibraciones excesivas
 - Cuando se asocian monóticamente a las vigas, incrementar la capacidad resistente a flexión y torsión de éstas.
- Arriostramiento:
 - Solidarizar horizontalmente los entramados a nivel de cada planta, asegurando la estabilidad del conjunto de la edificación.
 - Contribuir a la reducción de la longitud de pandeo de los pilares aportando rigidez horizontal.

• Clasificación:

- Según su sistema de ejecución: *in situ*, semiprefabricados y prefabricados.
- Según el tipo de armadura: armados y pretensados.
- Según su geometría: unidireccionales y bidireccionales.
- Según el material empleado: madera, metal y hormigón armado.

II.1.1. Según su sistema de ejecución

- **Forjados *in situ*:** forjados en los que los elementos resistentes (nervios), son construidos en la propia obra.



Imagen 315. In situ

- **Forjados semiprefabricados:** los elementos resistentes se constituyen a base de viguetas resistentes o semiviguetas semirresistentes (ambas prefabricadas), piezas de entrevigado y hormigón colocado *in situ*, con sus correspondientes armaduras.



Imagen 316. Semiprefabricado

- **Forjados prefabricados:** los paños del forjado (elementos resistentes+ entrevigado) vienen prefabricados en talleres especializados y transportados a pie de obra, donde se realizan tareas mínimas de montaje en obra.



Imagen 317. Prefabricado

II.1.2. Según el tipo de armadura

- **Forjados armados:** la armadura es pasiva, es decir, no actúa hasta que el forjado está hormigonado y entra en carga una vez desapeado. Todos los forjados o losas *in situ* son forjados armados.
- **Forjados pretensados:** la armadura es activa, es decir, actúa antes del hormigonado *in situ* y del desapeo del forjado. Son pretensados los forjados unidireccionales de viguetas pretensadas o placas alveolares.
- **Forjados postesados:** son forjados en los que la armadura activa entra en carga después del hormigonado *in situ* y antes del desapeo.

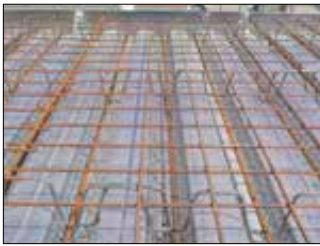


Imagen 318. Forjados armados



Imagen 319. Forjados pretensados



Imagen 320. Forjados postesados

II.1.3. Según su geometría

De acuerdo a la geometría o disposición de los distintos elementos resistentes de un forjado, se determinará el sistema de transmisión de cargas, distinguiéndose las siguientes tipologías básicas:

- a) **Forjados unidireccionales:** los que debido a su organización resistente, sólo son capaces de transmitir cargas a los apoyos según una única dirección. También se consideran como tal, los que no siéndolo por su organización interna, encuentran apoyo válido para la transmisión de cargas según una única dirección.



Imagen 321. Apoyo en vigas

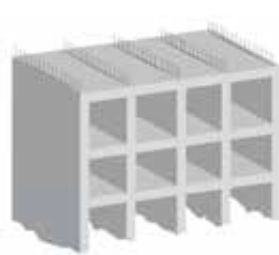


Imagen 322. Apoyo en muros

Apoyo: se apoyan o unen a la estructura portante a través de los bordes, jácenas/vigas, (y éstas, a los soportes) o a muros de carga, los cuales van dispuestos en una sola dirección.

Elementos:

- Elementos resistentes: de acuerdo al material con que se constituye el elemento resistente, el forjado adopta el nombre de este material. Encontraremos por tanto forjados unidireccionales de madera, metálicos o de hormigón.
- Elementos de entrevigado: los elementos entre viguetas o *revoltones* tienen la función de aligerar el peso del forjado; Se construyen principalmente en bovedillas cerámicas, hormigón aligerado o *poroexpand* y no tienen ninguna función resistente.
- Capa de compresión: tiene la misión de transmitir las cargas a las viguetas.

- b) **Forjados bidireccionales:** Forjado que trabaja o transmite los esfuerzos en dos direcciones, generalmente ortogonales.

Apoyos: transmiten las cargas a:

- Vigas en dos direcciones: placas.
- Directamente a los pilares: losas o forjados reticulares.



Imagen 323. Forjados de placas sobre vigas.

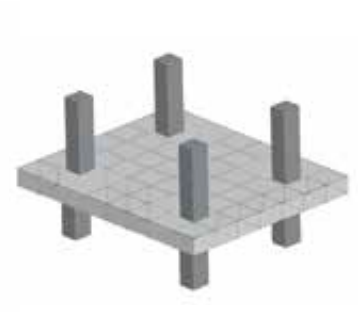


Imagen 324. Forjados reticulares.

Tipologías: a) Losa maciza, b) Forjado reticular

II.1.4. Según el material:

- a) **Madera:**

Elementos

- Elementos resistentes: forjado resuelto con viguetas de madera, con luz y cantos necesarios, colocadas paralelas y uniformemente espaciadas, según el entrevigado que se vaya a realizar.
- Elementos de entrevigado (en su caso): a base de revoltones (mezcla de yeso y cascotes), sin ninguna función portante. Para su ejecución se disponían sobre dos rosas de ladrillo o directamente reforzados con tomizas o clavos para mejorar la adherencia a la vigueta resistente.



Imagen 325. Elementos resistentes



Imagen 326. Revoltón

- Capa de compresión: con objeto de repartir las cargas entre los elementos resistentes, a la par que arristrar el conjunto, se disponían tableros simples y dobles por su parte superior.



Imagen 327. Tablero madera

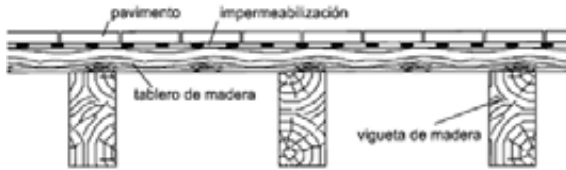


Imagen 328. Estructura tablero de madera

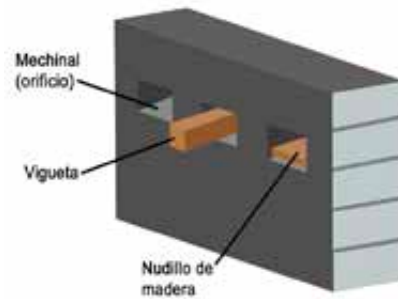


Imagen 331. Apoyo de forjado en mechinales

Adherencia: Ante la necesidad de lograr una adecuada adherencia entre revoltones (si existiesen) y madera, se disponía en el forjado tomizas (cuerdas de esparto), que trabasen ambos materiales, logrando que trabajasen en conjunto.



Imagen 332. Tomiza

Geometría:

- Luces: las luces a cubrir por forjados de madera presentan luces limitadas a unos 4 m. Para cubrir espacios mayores, la solución más común será dividir transversalmente las crujías mediante vigas de madera, donde apoyen las viguetas.
- Huecos: para la apertura de huecos en el forjado, se recurrirán a brochales y viguetas cojas.

Rigidez:

Zoquetes / Enzoquetado: Elemento auxiliar para arriostamiento de las viguetas de forjado, colocadas a medios o tercios.



Imagen 329. Zoquetes / Enzoquetado

Apoyo: Con objeto de evitar la disminución de la rigidez del muro en el apoyo de las viguetas mediante cajeados continuos, se recomienda que el apoyo de éstas no se realice nunca directamente sobre el muro, sino que lo haga sobre las carreras o durmientes colocados sobre éste e impermeabilizadas.

Si no existe la viga carrera o durmiente, cada vigueta se aloja en un mechal u orificio dejado en el muro, apoyada sobre nudillos de madera. Este procedimiento, además de ser más efectivo estructuralmente, es más económico.

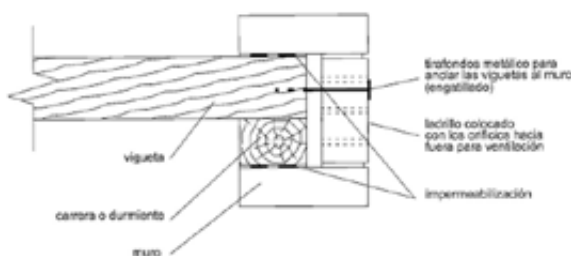


Imagen 330. Apoyo de forjado en durmiente

b) Metal

Elementos

- Elementos resistentes: Resueltos a base de perfiles normalizados de acero. Generalmente en forma de I, o doble T, dado que presentan una mayor inercia en el eje vertical.
- Elementos de entrevigado: Es común la presencia de elementos cerámicos como elementos de entrevigado, distinguiendo dos tipologías básicas:

- Con tablero apoyado en los elementos resistentes: el tablero se realiza con rasilla apoyado en el ala inferior del perfil, dándole forma de arco para absorber mejor los esfuerzos.

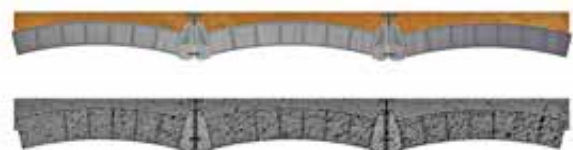


Imagen 333. Viguetas metálicas y entrevigado sobre rasilla

- Con tablero embebido en los elementos resistentes: Este último caso es el más común y actualmente se utilizan bovedillas de cerámica.

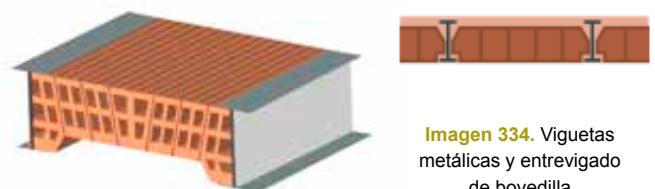


Imagen 334. Viguetas metálicas y entrevigado de bovedilla

La capa de compresión es capa de reparto de cargas a base acero en barras o mallazo.

Geometría:

- **Luces:** las luces propiciadas por los elementos resistentes de acero, serán un 50% superiores a las cubiertas por forjados de madera (hasta 6 m).
- **Huecos:** la apertura de huecos en forjado mediante brochales y viguetas cojas, será mucho más sencillas de ejecutar que en los forjados de madera y hormigón armado, debido a la amplia variedad de uniones disponibles en estructuras de acero.

Rigidez:

Nudos: la capacidad del acero para crear uniones rígidas, posibilitará una mayor rigidez y por tanto menores deformaciones y estabilidad.

c) Hormigón armado

Forjado de hormigón y acero ampliamente utilizado en las construcciones actuales, cuya estructura genérica es idéntica a las tipologías ya estudiadas, existiendo variantes específicas.

c.1. Forjados unidireccionales

Los **forjados unidireccionales de hormigón armado** están compuestos de los siguientes **elementos**:

• Elementos resistentes:

Dado que Los forjados son elementos horizontales que reciben cargas verticales, trabajarán a flexión (compresión + tracción), por lo que toda parte resistente de dichos elementos constructivos deberán llevar en mayor o menor medida acero que soporte los esfuerzos de tracción; y además complemente al hormigón para soportar las compresiones y el cortante, logrando elementos resistentes de menos canto.

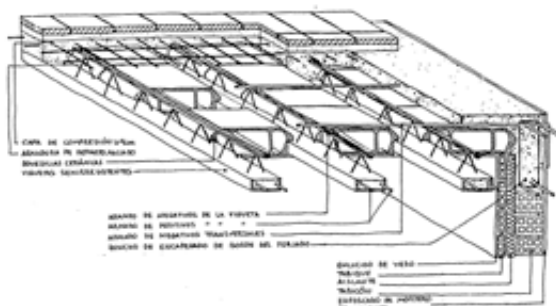


Imagen 335. Forjados unidireccionales

Tal y como se analizan en la representación grafica de los momentos páginas atrás, los esfuerzos de tracción y por tanto la ubicación de los armados, según el criterio de representación indicado en el presente manual, se corresponderán con los situados por la parte inferior del gráfico y los negativos (compresiones) en la parte superior.

Dicha resultante de momentos, tiene su reflejo a la hora de disponer los dos distintos tipos de armados:

- **Armados de positivos:** al hacer frente a los momentos flectores positivos, el acero dispuesto para absorber dichas flexiones, se deberá colocar en la parte inferior del nervio.

- **Armados de negativos:** absorben los flectores negativos, por lo que se disponen en la parte superior del nervio.

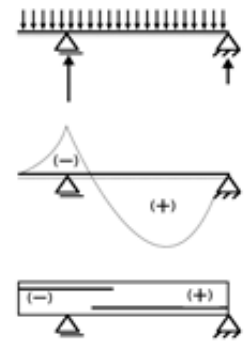


Imagen 336. Armados

Por ello, en todo nervio resistente de un forjado, a los armados de la cara superior se les denominará de negativos y a los de la cara inferior, de positivos.

c.2. Elementos de entrevigado (Bovedillas):

- Conjunto de piezas prefabricadas dispuestos entre las viguetas o nervios del forjado a fin de aligerarlo (quitar peso al forjado), además de buscar el ahorro económico a la hora de ejecutarlo, usando el material estrictamente necesario.

Los elementos de entrevigado pueden tener dimensiones entre 0,60 m y 0,90 m, dependiendo de los módulos entre los ejes de nervios o viguetas. La medida entre ejes más popularizada, son los 70cm.

Características:

- Si bien las bovedillas no son elementos estructurales, a efectos de evitar potenciales accidentes en obra, deberán soportar el peso de una persona (de 100 Kg) estando éstas apoyadas en sus bordes (resistencia a flexión de 1KN).
- Las muescas deben permitir que el fondo penda de la cara inferior de las viguetas por lo menos en 5 mm, dejando entre vigueta y bloque unas cuñas de 5 mm de abertura para evitar fisuras en el tendido del yeso.

Si bien el entrevigado puede estar compuesto de cualquier elemento o material que cumpla dichas prescripciones, la estandarización de la actividad constructiva ha propiciado la popularización de las bovedillas prefabricadas cerámicas, de hormigón y poliestireno expandido.

Dado que una vez ejecutado el elemento constructivo no tiene ninguna función portante, una vez ejecutado el forjado, se pueden retirar o demoler. Es muy común, que con el paso de los años se produzca el desprendimiento de bovedillas cerámicas por pérdida de adherencia con el hormigón, no suponiendo dicha acción ninguna muestra de patología en sí misma.



Imagen 337. Cerámicas



Imagen 338. Porexpan



Imagen 339. Hormigón



Imagen 340. Especiales

La capa de compresión, también denominada losa superior de hormigón, es el elemento formado por el hormigón vertido en obra y las armaduras correspondientes, destinado a repartir (sobre los nervios resistentes), las distintas cargas aplicadas sobre el forjado.

Las armaduras se colocarán mediante mallas electrosoldadas mediante barras o alambres en posiciones ortogonales, con resistencias idénticas a las de barras de acero corrugado.



Imagen 341. Armaduras electrosoldadas

Geometría:

- **Luces:** debido a la altísima estandarización de los elementos constructivos que constituyen los forjados unidireccionales de hormigón, las luces de las viguetas están estandarizadas en el entorno de los 6 m.
- **Huecos:** la apertura de huecos en forjado se ejecutarán de distinta manera, según las dimensiones de éstos:

- Huecos pequeñas dimensiones (tamaño inferior al existente entre dos nervios o viguetas). Previamente al hormigonado, se preverán pasatubos que eviten que entre el hormigón en dicha localización, posibilitando luego la colocación de la instalación o elemento previsto.
- Huecos de grandes dimensiones (tamaño superior al existente entre dos nervios o viguetas). De manera análoga a otros forjados, se utilizarán brochales y viguetas cojas, presentando el problema de su unión en obra, para lo cual será común descubrir el acero de las viguetas para lograr la consolidación del conjunto constructivo, una vez se haya vuelto a hormigonar.

Rigidez:

Nudos: la enorme rigidez propiciada por los forjados del hormigón armado, propicia la capacidad del acero para crear uniones rígidas e indeformables.

c.3. Forjados bidireccionales

Los forjados bidireccionales son aquellos en los esfuerzos se reparten en dos direcciones perpendiculares del plano horizontal.

- **Losa maciza:** elementos horizontales macizos a base de hormigón armado de sección variable, careciendo de elementos de entrevigado que lo aligeren. Presentan gran cantidad de armado (superior e inferior) para soportar su gran peso, además de cubrir importantes luces.



- **Forjado reticular o losas aligeradas:** se llama así a las placas bidireccionales que apoyan sobre pilares pero que no son macizas, sino que son aligeradas de hormigón, y por lo tanto, de peso. Por ello, También se les conoce por placas aligeradas o nervadas.

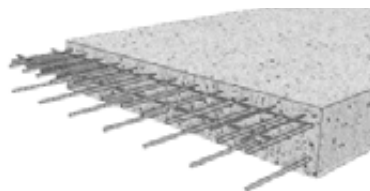


Imagen 342. Losa maciza



Imagen 343. Losa aligerada

Trabajan igual que las macizas, a flexión en las dos direcciones, soportando las cargas los nervios resistentes que forman la retícula del forjado.

Los **forjados bidireccionales de hormigón armado** están compuestos de los siguientes **elementos**:

- Elementos resistentes: ambos modelos presentará nervios hormigonados *in situ*.
- Elementos de entrevigado: las losas armadas. Al ser de canto constante, no presentarán elementos de entrevigado, mientras que los forjados reticulares si que los tendrán.

Existen varios métodos utilizados para aligerar la losa: bloques huecos de hormigón de arcilla expandida, cerámicos o poliestireno, dispuestos en el centro de la trama o red y que quedan embebidas en la losa. Para aligerarlos aún más, se pueden utilizar moldes recuperables, que una vez endurecido

el hormigón, se retiran, quedando éste hueco. Estas piezas se llaman casetones o techos artesonados y están fabricados generalmente en plástico.

Geometría:

- **Luces:** salva grandes luces sin pilares intermedios, siendo ésta una ventaja muy grande en centros comerciales y garajes.
- **Apoyos:** apoya directamente en los capiteles de los pilares, y dado su excesivo peso y para evitar “punzonamiento”, se deja alrededor del pilar una zona llamada ábaco en la que el forjado no está aligerado.

c.4. Forjados mixtos

Los forjados mixtos están compuestos de los siguientes elementos:

- **Definición:** se trata de aquella tipología de forjado, donde los elementos resistentes son al mismo tiempo de distintos materiales. El caso más visual es el de los forjados de chapa colaborante.
- **Composición:** el forjado mixto de chapa colaborante se encuentra formado por un perfil de chapa grecada de acero sobre el que vertimos el hormigón y un mallazo de reparto con el fin de evitar la fisuración por efectos de retracción y temperatura.
- **Interconexión:** el perfil colaborante es capaz de soportar el hormigón vertido, la armadura metálica y las cargas de ejecución. Una vez fraguado el hormigón, ambos materiales quedan interconectados de manera que los esfuerzos rasantes son absorbidos. En esta interconexión Las embuticiones del perfil desempeñan un papel fundamental.
- **Tipologías:** el forjado **colaborante** está clasificado como forjado unidireccional, donde los nervios del perfil están sometidos a flexión en la dirección de la luz de cálculo.



Imagen 344. Losa maciza

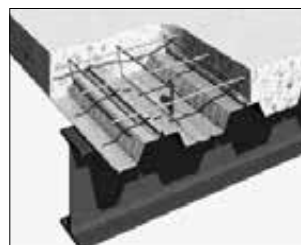


Imagen 346. Isométrico



Imagen 347. Conectores sobre viga

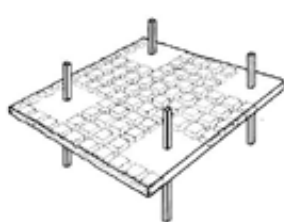


Imagen 345. Losa aligerada



Imagen 348. Bajo forjado

c) Elementos estructurales inclinados:

Dentro de las estructuras inclinadas, distinguiremos dos grandes grupos de elementos:

- Estructuras de cubierta.
- Elementos de enlace: escaleras y rampas.

I. Cubiertas

Definición: entendemos por “Estructura” o “Almacén” de cubierta, al conjunto de elementos constructivos de carácter inclinado, u horizontal, que limita superiormente la edificación presentando una doble función estructural:



Imagen 349. Mercado de Santa Caterina



Imagen 350. T4 aeropuerto Madrid-barajas



Imagen 351. Cubierta ajardinada

- Función resistente: toda cubierta deberá soportar las siguientes solicitaciones estructurales:
 - El peso de sus componentes.

- Las sobrecargas y acciones de fenómenos meteorológicos: uso, nieve, viento, térmicas (contracciones y dilataciones), etc.
- Las acciones sísmicas.
- Función Soporte: la cubierta actuará igualmente de sostén de:
 - El conjunto de los elementos de la cobertura (elemento de cerramiento exterior): Aislamiento, impermeabilizante, barrera de vapor, etc.
 - así como de diversas instalaciones:
 - Específicas: antenas y pararrayos.
 - No específicas: chimeneas, elementos de ventilación, accesos para conservación.
 - Instalaciones complejas: aire acondicionado, colectores solares, etc.

Geometría:

La naturaleza, geometría y dimensiones de los elementos sustentantes, dependerán de la mayor o menor inclinación de los planos de cubierta (cubiertas inclinadas / planas). la estructura necesaria para realizar los faldones constituye lo que llamamos entramado inclinado.

Tipos de entramados inclinados:

Según la naturaleza del edificio y luces a cubrir:

- Estructuras trianguladas > Cerchas: cuando existan grandes luces a salvar y las cubiertas sean complejas.



Imagen 352. Estructura triangulada

- Estructuras entra-madas > Forjados inclinados: en edificaciones con luces pequeñas y cubiertas técnicamente sencillas.

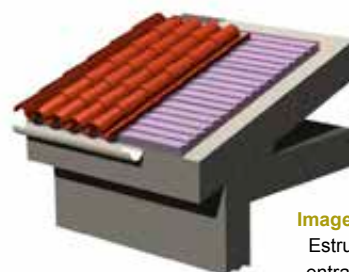


Imagen 353. Estructura entramada

I.1. Estructuras trianguladas - Cerchas

Entendemos por cerchas a las estructuras trianguladas utilizadas para la resolución de cubiertas con faldones, con el fin de sostener cubiertas ligeras de grandes luces.

Geometría: toda cercha se caracteriza por su composición a base de piezas lineales en un mismo plano, con una inclinación característica, conseguida a través de la inclinación de sus cordones superiores.

Rigidez: el encuentro de las barras en los nudos, deben cumplir una serie de condiciones:

- Las uniones deben ser lo menos rígidas posibles, pues el trabajo de las cerchas se basa en la articulación de sus nudos.
- Los elementos auxiliares deben ser lo más sencillos posible.
- Los esfuerzos deben equilibrarse, por lo que los ejes de las piezas que forman el nudo deben concurrir, a ser posible en un punto.

Elementos/Nomenclatura:

- Pares: piezas inclinadas exteriores que propician la inclinación de la cubierta y sirven de base a los faldones. Generalmente trabajan a compresión.
- Tirante: pieza que une los pares por su parte inferior, trabajando a tracción.
- Péndolas: barras interiores verticales que trabajan a tracción (a la péndola central se le llama pendolón o pie de rey).
- Tornapuntas: barras diagonales interiores que trabajan a compresión.
- Nudos: puntos de conexión de las distintas barras (empalmes, ensambles, etc).

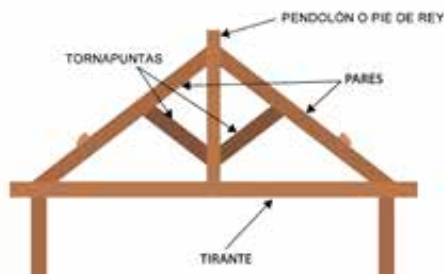


Imagen 354. Nomenclatura

Además, sobre los pares distinguiremos los siguientes elementos de cobertura:

- Correas: son el equivalente a las viguetas de los forjados. Se colocan perpendicularmente a los pares, y sirven de base para apoyo del tablero de cubierta.
- Cabios o parecillos: colocados sobre las correas y distanciados 40-60 cm, Trabajan a flexión. Se unen a las correas por simple clavado.

Tipos de cerchas:

Según los requerimientos geométricos de la cubierta (luz-canto-flecha), la estructura sustentante utilizada será de un material u otro, procediendo a continuación al estudio de los entramados de cubierta de los siguientes materiales: madera, acero y hormigón armado.

I.1.1. Cerchas de madera

Los sistemas estructurales tradicionales para sustento de las cubiertas son los siguientes:

- Estructuras simples o cuchillos: estructuras de cubierta de uso tradicional compuestas a base de sistemas de equilibrio sencillo y luces limitadas, distinguiendo las siguientes modalidades:
 - Cubiertas sin pares: a la molinera.
 - Cubiertas con pares:
 - Par e hilera.
 - Par y picadero.
 - Par y nudillo.
- Estructuras compuestas o cerchas propiamente dichas: si bien visualmente son muy similares a los cuchillos de las estructuras simples, constituyen una evolución de los éstos, presentando un mayor control de los esfuerzos y una mayor complejidad estructural. Presenta por el contrario, mayores luces libres entre los apoyos.

a) Estructuras simples

Dimensiones: como regla general, se utilizarán para salvar luces inferiores a 6 m.

Composición: se construyen a base de nervios de madera, colocados bien de manera paralela a la línea de máxima pendiente (denominándose "pares"), bien perpendicularmente a ésta (denominándose correas).

- **Cubierta sin pares:** Cubierta a la molinera (o de cobertizo): se trata de cubiertas de una o dos aguas, caracterizadas por la no presencia de pares, por lo que la luz a cubrir dependerá del canto de las correas.

Como elementos estructurales se dispondrán las correas en dirección perpendicular a la dirección de máxima pendiente, apoyando sus extremos en los muros de carga (lo más frecuente), vigas o armaduras dispuestas al efecto.

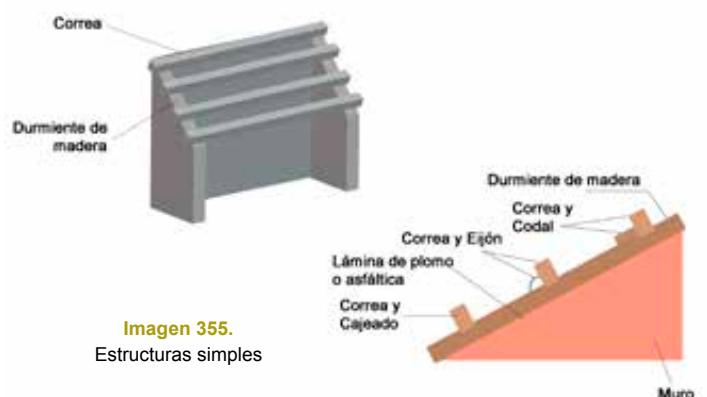


Imagen 355. Estructuras simples

- **Cubiertas con pares:** cubiertas generalmente a dos aguas, constituidas por dos faldones a base de pares, que apoyan a nivel inferior en un muro de carga, y superiormente en elementos horizontales bajo la cumbrera. Dependiendo de su complejidad y especialmente de su funcionamiento y esfuerzos, las clasificaremos como: par y picadero, par e hilera o par y nudillo.

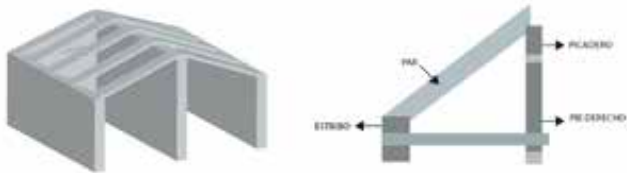


Imagen 356. Par e hilera

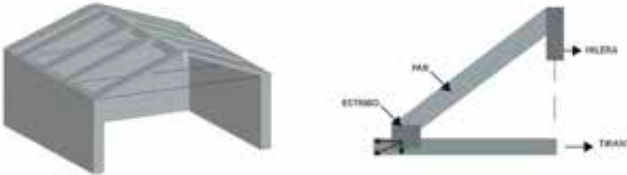


Imagen 357. Par y picadero



Imagen 358. Par y nudillo

- **Par y picadero:** tipología en la que los pares apoyan superiormente en un madero colocado sobre el muro, llamado carrera o picadero, encastrándose en él mediante un corte especial denominado “corte de picadero”; e inferiormente sobre la cabeza del muro de carga, donde se localiza una pieza denominada estribo destinada a evitar punzonamientos. Dicho corte de picadero, propicia que los pares sólo transmitan esfuerzos verticales, desapareciendo los esfuerzos horizontales.

El citado comportamiento de los pares, propicia:

- Una disminución del empuje horizontal: Desapareciendo la necesidad de estructuras atirantadas que absorban tracciones.
- Menor sección del muro de fachada.
- Una menor complejidad de la estructura.
- Los pares trabajan claramente a flexión, esfuerzo al que mejor trabaja la madera.

Este tipo de cubiertas sólo son aptas para luces pequeñas o coberturas de poco peso.

- **Par e hilera:** tipología estructural de entramado de cubierta en la que los pares apoyan superiormente sobre una pieza de madera denominada hilera e inferiormente sobre los estribos de las cabezas de los muros. El apoyo de los pares a la hilera se produce por apoyo directo (cortados oblicuamente –a inglete– y clavados), acometiendo en su parte inferior a un estribo al que se embarbillan.

Estructuralmente, el sistema de par e hilera se reconoce como un sistema de precario equilibrio, caracterizado por un comportamiento estructural con las siguientes singularidades:

- Las cargas deben ser simétricas.
- Los pares trabajan en primer lugar a compresión, tratando de sostener la hilera y se-

cundariamente a flexión tratando de sostener el peso de las tejas, por lo que se dice que trabajan a flexocompresión.

- En los apoyos de la hilera los pares prestan mutuo apoyo para conseguir la estabilidad.
- El estribo transmite al muro la componente vertical de la carga y trabajará a flexión (compresión del par + tracción del tirante).
- Se deberá colocar tirantes cada 5 o 6 pares que trabajen a tracción simple, a fin de absorber las reacciones horizontales obtenidas en los estribos.

Si bien las luces que cubren este tipo de cubiertas no pueden ser especialmente grandes (de 6 a 9 m) debido a las características ya expuestas, pueden llegar a ser el doble que las luces de las cubiertas par y picadero.

- **Par y nudillo:** estructura entramada de cubierta caracterizada por la disposición de nudillos, elementos horizontales situados a unos dos tercios de la altura total de la cubierta, que trabajando a tracción, rigidizan cada pareja de pares enfrentados. La estructura es más estable que cualquiera de las tipologías analizadas en los epígrafes anteriores y sus elementos presentan como regla general menores secciones.

Su comportamiento estructural vendrá caracterizado porque carece de tirantes a la altura de cada par, por lo que a fin de evitar el efecto descrito en el párrafo anterior, el nudillo se combina también de forma simultánea con el atirantado puntual de los estribos cada cierto número de pares.

b) Estructuras compuestas

Cuando las luces a salvar, entre apoyos, son de cierta magnitud, el cierre superior del edificio no puede resolverse con las cubiertas simples analizadas (cuchillos), deberemos recurrir a elementos estructurales más complejos (elementos compuestos) como son las cerchas propiamente dichas:

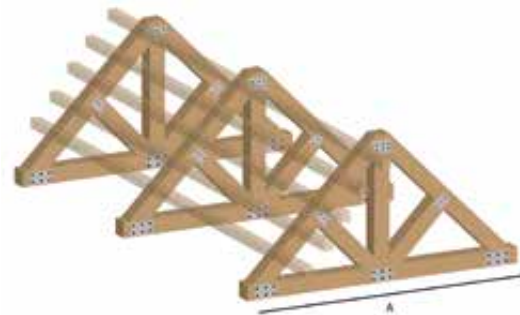


Imagen 359. Cerchas

Dimensiones: se usan para salvar “luces mayores” de los 4-5m, utilizando elementos resistentes de característica forma triangular, denominadas cerchas.

Tipologías: los tipos de cerchas han ido derivando, desde el más sencillo formado por tres piezas (dos pares y un tirante), hasta una amplia colección de cerchas tipo, que se adaptan a los casos generales de luces, cargas,

e incluso utilización. La evolución siguiente del presente sistema de estructuras, son las mallas espaciales, estructuras geodésicas, etc.

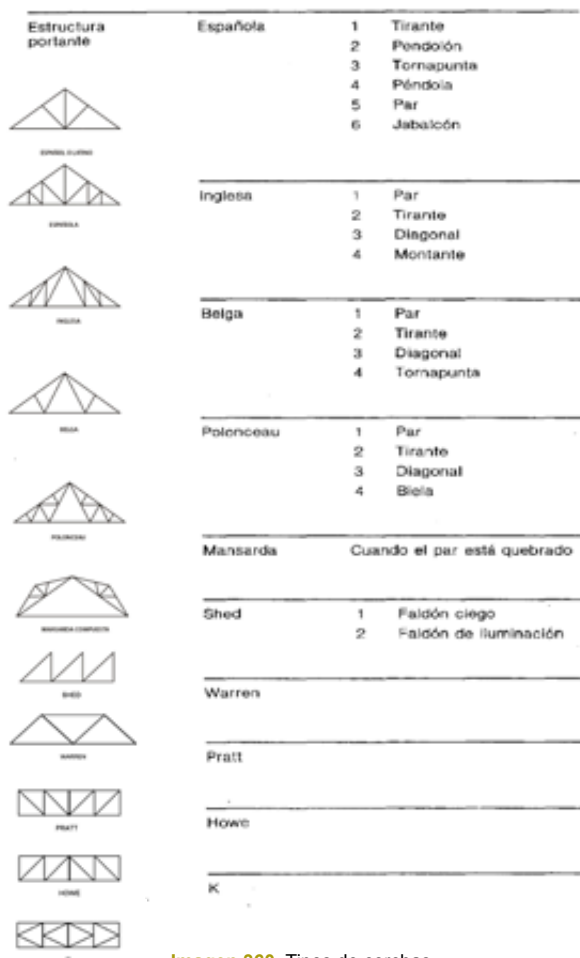


Imagen 360. Tipos de cerchas

Arriostamiento de cubiertas: las cerchas, como elementos triangulados, son indeformables ante las fuerzas que actúan en su plano. Sin embargo, si existen fuerzas fuera de su plano (empujes del viento, puentes-grúa, etc.) por los que es preciso el arriostamiento de las cerchas entre sí, para evitar su vuelco, absorbiendo las cargas horizontales en su plano normal y transmitiéndolas a los apoyos.

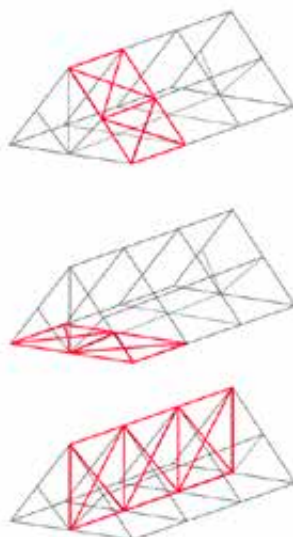


Imagen 361. Ubicación de arriostamientos

El sistema de arriostamiento más común son las cruces de San Andrés, porque ante cargas horizontales, son capaces de hacer frente alternativamente a compresiones y tracciones.

El entramado de cubierta a base de madera, utilizada con mayor frecuencia en nuestro entorno es la **cercha española**, constituida por dos pares (flexión), un tirante

(tracción), un pendolón (tracción), y dos tornapuntas que trabajan a compresión paralela a las fibras y que se encargan de aliviar el trabajo de flexión de los pares.

Sobre los pares y perpendicularmente a ellos se instalan las correas, apoyadas sobre ejones para evitar su deslizamiento, y sobre ellas se coloca la tabla ripia que se encarga de recibir el material de cubrición.

Los aleros se constituyen mediante canchillos formados normalmente por piezas individuales ensambladas al estribo o por las cabezas de los tirantes.

Sistemas de arriostamiento específicos:

- El movimiento en el plano de la cercha (movimiento perpendicular a la hilera), se sustentará mediante la utilización de tornapuntas que la arriostran al pendolón.
- El movimiento en la dirección perpendicular al plano de la cercha, los cuchillos se arriostarán por la propia hilera o la disposición de la sotahilera (madero similar a la tornapunta, colocado en la misma dirección de la hilera, y ensamblado en el extremo inferior del pendolón, evitando su vuelco ante la acción de una fuerza exterior cualquiera, generalmente el viento).

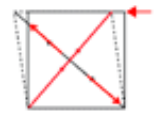
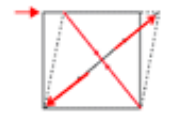
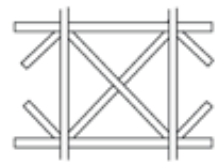


Imagen 362.

Funcionamiento de arriostamientos

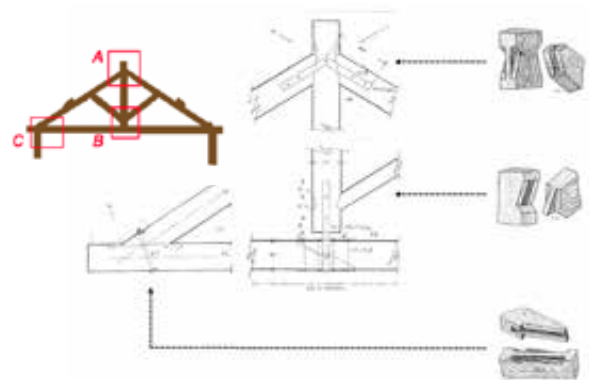


Imagen 363. Despiece cuchillo español

b.1. Estructuras compuestas de metal

Se trata de estructuras muy utilizadas en la actualidad debido a su asociación a sistemas prefabricados, en los que la rapidez en la fabricación y montaje es un requerimiento fundamental en la estructura.

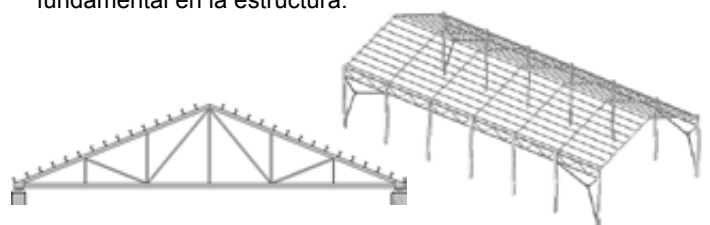


Imagen 364. Cerchas

Imagen 365. Pórticos

Tipologías más comunes:

- Cerchas: análogos a los de madera, con faldones planos sobre base de cuchillos metálicos cuyas uniones son atornilladas o soldadas.
- Otras variantes:
 - Entramados ligeros o cubiertas aligeradas: cubiertas con baja masa ($<100 \text{ kg/m}^2$), fabricada a base de perfiles metálicos (aluminio o acero), suponiendo un gran ahorro en los tiempos de montaje y costes de mantenimiento. Debido a la capacidad resistente limitada de la perfilaría empleada, suelen presentar como acabado paneles tipo “sandwich”, es decir, paneles prefabricados machihembrados de sección mínima que incorporan el aislamiento y el impermeabilizante. Dichas cubiertas no son transitables y la disposición de cualquier carga (ej.: instalaciones), ha de ser previamente estudiada.



Imagen 366. Estructuras metálicas aligeradas



Imagen 367. Panel sandwich



Imagen 368. Vista interior del conjunto

- Estructuras espaciales: mallas espaciales de acero, en las que al contrario de lo que ocurre en los entramados planos, las tensiones se reparten por distintas barras y en distintas direcciones constituyendo un sistema de alto grado de hiperestaticidad, lo que permite cubrir grandes espacios con una mínima cantidad de material.
- Se pueden llegar a generar cualquier superficie imaginada, siendo un caso particular las estructuras geodésicas, las cuales son autoportantes.



Imagen 369. Estructuras espaciales

- Láminas curvadas autoportantes: el perfil curvado es capaz de soportar las cargas y transmitir las a los apoyos sin necesidad de estructura intermedia. Mediante este sistema se alcanzan luces máximas de 13-14 m de longitud con tan solo el elemento de cubierta.



Imagen 370. Cubierta curva

b.2. Estructuras compuestas de hormigón armado

Como ya hemos analizado en capítulos anteriores, debido a las prestaciones del hormigón armado, así como su facilidad de fabricación, es uno de los materiales más utilizados también en la ejecución de estructuras de cubiertas. Si bien pueden fabricarse cerchas de dicho material a base de uniones rígidas, con geometrías análogas a los modelos vistos para otros materiales, no son ni mucho menos la tipología de estructura de cubierta más utilizada.

1.2. Estructuras entramadas

Tal y como hemos visto al inicio del presente tema, al margen de las estructuras trianguladas (cerchas y cuchillos), para cubiertas técnicamente sencillas y con luces controladas, existen tipologías alternativas de estructuras de cubierta a base de forjados y otros elementos evolucionados de estos.

Tipologías: en función de la mayor o menor inclinación de las cubiertas en las que se ubican distinguiremos las siguientes tipologías básicas:

- Cubiertas inclinadas: hormigón, cerámica, metal.
- Cubiertas planas: hormigón, cerámica, metal

I.2.1. Estructuras entramadas de cubiertas inclinadas:

• Hormigón

- **Forjados inclinados:** tiene los mismos principios constructivos que un forjado inclinado, por lo que las clasificaremos en unidireccionales y bidireccionales.
 - Unidireccionales: los distintos faldones se construirán a base de forjados con viguetas, bovedillas, capa de compresión, etc,... apoyado sobre jácenas que transmiten las cargas a pilares o muros.
 - Bidireccionales: faldones a base de losas macizas o aligeradas mediante casetones y apoyadas bien a muros, bien a pilares.



Imagen 371. Forjado unidireccional



Imagen 372. Forjado bidireccional

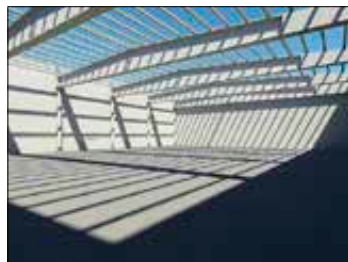


Imagen 373. Vigas delta

- **Láminas:** dado que el hormigón tiene la propiedad de poder generar cualquier forma imaginada, ha sido el material tradicionalmente elegido para la ejecución de láminas y casquetes, estructuras con secciones despreciables frente a las luces entre sus apoyos.



Imagen 374. Láminas

• Fábrica:

Dentro del presente apartado distinguiremos dos posibilidades en función de las luces a cubrir:

- Cubiertas de fábrica autoportantes: bóvedas
- Cubiertas no autoportantes: sobre tabiques palomeros

a) Cubiertas autoportantes o bóvedas

Definición: elemento estructural de compuesto de una o varias superficies con forma eminentemente curva, que sirve para cubrir el espacio comprendido entre dos muros o una serie de pilares alineados. Se trata de dotar de una dimensión más a los arcos, por lo que en esencia coincidirán sus características estructurales.

Geometría: como hemos visto en la definición, una bóveda en sentido estricto es un elemento superficial/laminar, cuya forma se logra bien mediante el traslado de un arco generatriz, a lo largo de una directriz lineal (bóveda), o bien mediante giro de la generatriz a lo largo de un eje vertical (cúpula).



Imagen 375. Estructura abovedada

En función de las generatrices necesarias para lograr una bóveda, hablaremos de:

- Bóvedas sencillas: una sola generatriz: bóveda de cañón, cañón apuntado, bóvedas, etc.
- Bóvedas complejas: varias generatrices: bóveda de arista, rincón de claustro, nervada, lunetos, etc.

Rigidez: al igual que los arcos, el mayor problema estructural son las deformaciones horizontales en los arranques, por lo que habrá de ser reforzada en dichos puntos mediante tirantes, contrafuertes, arbotantes, conjuntos de bóvedas, etc.

En el caso concreto de las cúpulas, debido a su carácter circular, los arriostramientos se suelen disponer en un tambor en su base.

b) Cubiertas no autoportantes sobre tabiques palomeros

Con el fin de abaratar costes y plazos en la ejecución de las cubiertas en edificaciones de tamaño mediano-pequeño, se dispondrán sistemas de soporte a base de ladrillo cerámico, caracterizadas como continúa:

- **Estructura:** sobre el último forjado, se dispondrán tabiques palomeros (o conejeros), con la pendiente deseada para el conjunto de la cubierta y arriostrados con otros tabiques perpendiculares.
- **Soporte de cobertura:** sobre dichos tabiques se colocarán rasillones machihembrados que servirán de base al material de terminación de la cubierta, generalmente teja sobre mortero.

Con dicha solución se logra una solución estructural ligera, a la par que facilita su ventilación.

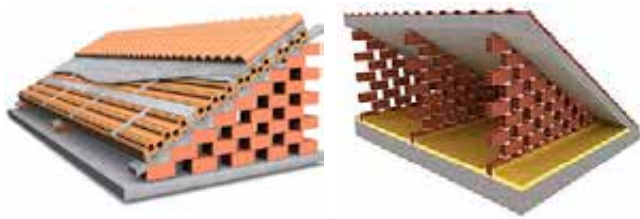


Imagen 376. Soporte de cobertura

Imagen 377. Tabiques palomeros



Imagen 378. Colocación de aislamiento térmico

1.2.2. Estructuras entramadas de cubiertas planas

En función del material que sirve de soporte para la cobertura, distinguiremos las siguientes tipologías:

- **Hormigón:**

Cubiertas caracterizadas porque tanto el elemento de soporte (Ej: Forjado) como el elemento de formación de pendientes (capa inclinada), se fabrican a base de hormigón.



Imagen 379. Cubierta plana de hormigón

Debido a sus funciones, el soporte ira armado y la formación de pendientes, en función de la cubierta, podrá no irlo.

- **Fábrica:**

Cubiertas planas, cuya estructura de cobertura es similar a la cubierta inclinada sobre tabiques palomeros, con la diferencia en la altura y pendiente de los tabiques de ladrillo.



Imagen 380. Cubierta plana fábrica

La variante más extendida del presente modelo de cubierta, será la cubierta a la catalana; cubierta fría característica de climas cálidos y húmedos, cuya estructura genera una cámara de aire que propicia corrientes para atenuar las altas temperaturas de su parte superior.

- **Metálicas** → Cubierta Deck o industrial.

Las cubiertas planas metálicas reciben el nombre comercial de “Cubiertas Deck”, la cual se caracteriza por ser una cubierta liviana que no supera los 10 kg/m² y es construida de manera análoga a los forjados metálicos.

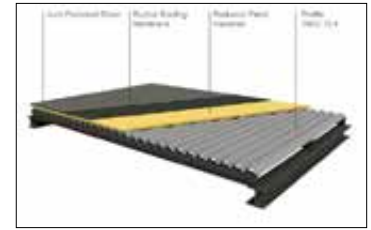


Imagen 381. Cubierta Deck

Su uso es muy frecuente en plantas industriales, por lo que debido a su baja masa, frecuentemente se debe complementar con aislamiento termo-acústico, además de una membrana impermeabilizante como acabado final.

Esta cubierta permite la colocación de maquinaria en su superficie y está preparada para soportar el tránsito para su mantenimiento.

d) Elementos de enlace

Si bien toda edificación debe disponer de un conjunto de elementos de comunicación vertical entre los distintos niveles, que propicien un adecuado nivel de comodidad y seguridad en el uso ordinario del edificio, véase: ascensores, montacargas, escaleras mecánicas, etc.; de igual manera deberá presentar un número suficiente de sistemas de comunicación vertical, que prescindiendo de aporte de energía, aseguren su correcto funcionamiento en caso de emergencia. Dicha premisa tan sólo es posible a través de la correcta disposición de un nº suficiente de escaleras y rampas.

Marco normativo:

Debido a su interés en las edificaciones, las escaleras y rampas son objeto de especial atención en el código técnico:

- CTE DB SUA1: Seguridad frente al riesgo de caídas.
- CTE DB SI3: Evacuación en caso de incendio

I. Escaleras



Imagen 382. Escalera tramos rectos



Imagen 383. Escalera tramos curvos



Imagen 384. Escalera de minúsvulos

Definición: las escaleras son elementos fijos de una construcción que sirven para dar acceso o comunicación a las distintas plantas de un edificio. Están formadas por una sucesión de escalones, o peldaños, que sirven de base para salvar los desniveles, subdividiendo la distancia entre plantas.

Elementos básicos de una escalera:

- Elementos estructurales: aquellos que colaboran en la función portante de la escalera.
 - Zanca: viga longitudinal inclinada de hormigón o acero que recogen el conjunto de cargas de la escalera, en el caso de que no exista tablero, recibe el apoyo directo del peldaño.
 - Tablero/rampa/forjado: losa maciza formada por estructura de hormigón y/o acero, sobre la que comúnmente se coloca el peldaño propiamente dicho.
 - Otros elementos sustentantes actualmente en desuso, son: Arcos, bóvedas o losas.
- Elementos de revestimiento:
 - Peldaño: formado por una o dos piezas, de mármol, cerámica o madera.
 - Zanquín o zócalo: pieza colocada en el lateral del peldaño en su encuentro con el paramento vertical.
- Elementos de protección:
 - Barandillas: elemento que tiene por objeto estabilizar y servir de elemento de seguridad de los usuarios de las escaleras a fin de evitar deslizamientos y caídas laterales. Se dispondrán a partir de anchos de 1,20, siendo igualmente pasamanos para anchos mayores de 4 m.



Imagen 385. Zanca



Imagen 386. Rampa



Imagen 387. Escalones



Imagen 388. Zancuín

- Contrahuella o tabica (C): como regla general, sus medidas oscilarán entre 13 y 18,5 cm.
- Relación geométrica: para que una escalera sea cómoda y no quede desproporcionada, deberá guardar la siguiente proporción geométrica entre huellas y contrahuellas: $54 \text{ cm} \leq 2C + H \leq 70 \text{ cm}$.
- La medida de la huella no incluirá la proyección vertical de la huella del peldaño superior.
- Lugar de medida: en el centro de la escalera.
- Escaleras de evacuación:
 - Bocel: no se permite en escaleras de evacuación ascendente.
 - Tabicas: deben existir en toda escalera de evacuación ascendente.

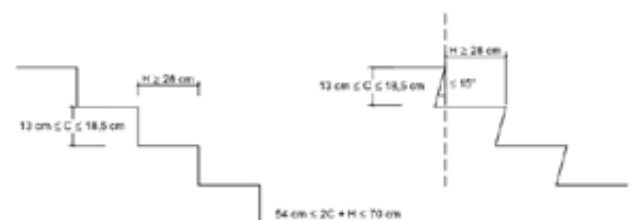


Imagen 389. Configuración escaleras tramos rectos

Escaleras de Tramos Curvos:

Con carácter general, se le exigirán todas las prescripciones relativas a escaleras de tramos rectos, pero además con carácter específico, tendrán las siguientes exigencias:

- La medida de las huellas, se realizará a 50 cm del borde interior de la escalera.
- La dimensión mínima útil de un escalón en un tramo curvo es de 17cm, no considerándose para dimensiones menores, como ancho útil.
- La dimensión máxima del escalón es de 44cm en su tramo exterior.

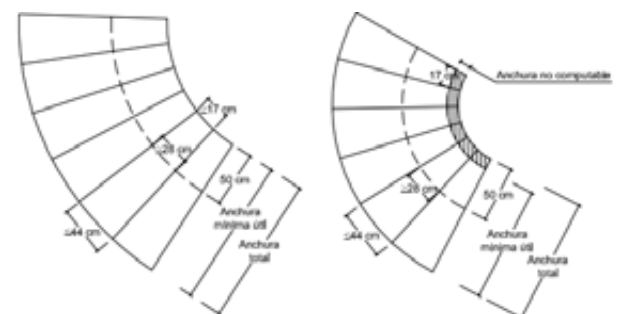


Imagen 390. Configuración escaleras tramos curvos

Geometría:

De acuerdo al CTE DB SUA, se establece las siguientes prescripciones para las escaleras de uso público:

1.1. Escalones

- Escaleras de tramos rectos:
 - Dimensiones escalones:
 - Huella o pisa (H): Medirán 28 cm como mínimo.

1.2. Tramos

- Nº de escalones mínimo: todo tramo de una escalera, tendrá un mínimo de 3 escalones.
- La máxima altura que puede salvar un tramo es 2,25 m en zonas de uso público, así como siempre que no se disponga ascensor como alternativa a la escalera, y 3,20 m en los demás casos.

I.3. Mesetas

- Las mesetas dispuestas entre tramos de una escalera con la misma dirección tendrán al menos la anchura de la escalera y una longitud medida en su eje de 1 m, como mínimo.
- Cuando exista un cambio de dirección entre dos tramos, la anchura de la escalera no se reducirá a lo largo de la meseta.

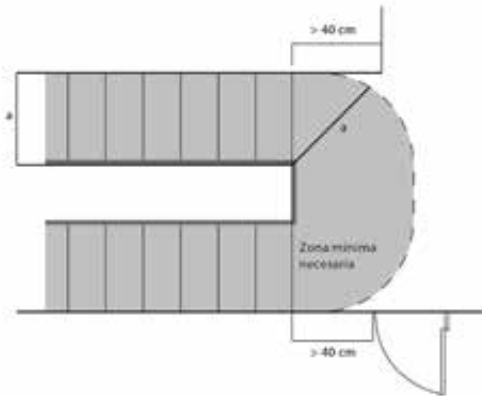


Imagen 391. Cambio de dirección entre dos tramos

I.4. Pasamanos

- Las escaleras que salven una altura mayor que 55 cm dispondrán de pasamanos al menos en un lado. Cuando su anchura libre exceda de 1,20 m, así como cuando no se disponga ascensor como alternativa a la escalera, dispondrán de pasamanos en ambos lados.
- Se dispondrán pasamanos intermedios cuando la anchura del tramo sea mayor que 4 m. La separación entre pasamanos intermedios será de 4 m como máximo, excepto en escalinatas de carácter monumental en las que al menos se dispondrá uno.
- El pasamanos estará a una altura comprendida entre 90 y 110 cm.

Tipos de escaleras:

Si bien según el SUA1 en función de su uso las escaleras pueden ser de uso exclusivo o de uso general, en el presente manual, se mostrarán únicamente las segundas, ya que éstas serán las que estarán a disposición de todo ocupante que pretenda evacuar una edificación, a la par que serán los medios de acceso de los equipos de intervención.

Complementariamente, el propio código técnico ahonda en las especificaciones en la protección frente al fuego en el DB SI3, caracterizando las escaleras como continua:

- Escaleras abiertas: escalera sin ningún tipo de protección contra incendios.
- Escaleras compartimentadas: escalera que comunica dos sectores y sus paredes y puertas tienen la resistencia al fuego que se exige para separar dichos sectores. Características:
 - **Sectorización:** mantienen la sectorización entre plantas.

- **Ventilación:** no tienen que contar con ventilación.
- **Recorrido en planta de salida del edificio:** distancia inferior a 15 m desde el desembarco de la escalera hasta alcanzar el espacio exterior.
- Escaleras protegidas: escalera dotada de las siguientes medidas de seguridad en caso de incendio:
 - **Sectorización:** EI 120.
 - **Planta de salida del edificio:**
 - Escaleras de evacuación ascendente: pueden carecer de compartimentación.
 - Escaleras de evacuación descendente pueden carecer de compartimentación cuando sea un sector de riesgo mínimo.
 - **Accesos:** como regla general, el recinto de escalera tiene como máximo dos accesos en cada planta, los cuales se realizan a través de puertas EI2 60-C5 y desde espacios de circulación comunes y sin ocupación propia.
 - **Recorrido en planta de salida del edificio:** distancia inferior a 15m desde el desembarco de la escalera hasta alcanzar el espacio exterior, salvo en sectores de riesgo mínimo.
 - **Protección frente al humo:** mediante alguna de las siguientes variantes:
 - Ventilación natural
 - Ventilación mediante dos conductos independientes de entrada y de salida de aire
 - Sistema de presión diferencial conforme a EN 12101-6:2005.
- Escaleras especialmente protegidas: escalera que reúne las condiciones de escalera protegida y que además dispone de un vestíbulo de independencia diferente en cada uno de sus accesos desde cada planta.

La existencia de dicho vestíbulo de independencia no es necesaria en la planta de salida del edificio, cuando se trate de una escalera para evacuación ascendente.



Imagen 392. Escaleras protegidas



Imagen 393. Escaleras especialmente protegidas

- **Escaleras Abiertas al Exterior:** Escalera que dispone de huecos permanentemente abiertos al exterior que, en cada planta, acumulan una superficie de $5A \text{ m}^2$, como mínimo, siendo A la anchura del tramo de la escalera, en m. Cuando dichos huecos comuniquen con un patio, las dimensiones de la proyección horizontal de éste deben admitir el trazado de un círculo inscrito de $h/3 \text{ m}$ de diámetro, siendo h la altura del patio.

Las escaleras abiertas al exterior, puede considerarse como escalera especialmente protegida sin que para ello precise disponer de vestíbulos de independencia en sus accesos.

II. Rampas:

Definición: plano inclinado entre dos cotas de servicio de la edificación, que a diferencia de las escaleras, permite desplazarse entre ambas sin ninguna discontinuidad física.

Geometría: si bien el marco normativo y los elementos básicos de una rampa coinciden con los de una escalera (a excepción de los escalones), en el CTE se recogen las siguientes prescripciones geométricas específicas:

- Longitud: la rampa tendrá una longitud máxima como regla general de 15 m, salvo en itinerarios accesibles que será de 9 m.
- Pendiente: toda rampa tendrá una pendiente entre el 4 y el 12%, excepto en los siguientes casos:
 - Itinerarios accesibles: 3%, en caso de longitudes menores de 3 m, y 6% en caso de longitudes menores de 6 m.

- Itinerarios no accesibles, en parkings, previstos simultáneamente para circulación de personas, un máximo del 16%.
- Mesetas: las mesetas dispuestas entre los tramos de una rampa con la misma dirección, tendrán al menos la anchura de la rampa y una longitud de 1,5 m como mínima.
- Pasamanos: las rampas que salven una diferencia de altura de más de 550 mm y cuya pendiente sea mayor o igual que el 6% dispondrá de un pasamanos continuo en al menos un lado, con una altura comprendida entre 0,90 y 1,10 m.

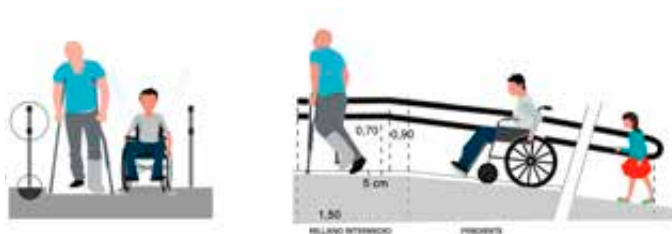


Imagen 394. Rampa

Protección contra incendios:

A diferencia de las escaleras o incluso de los pasillos, el CTE DB SI no establece ninguna modalidad de rampa específicamente protegida a efectos de evacuación.





8. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LA EDIFICACIÓN EN ESPAÑA. SISTEMAS CONSTRUCTIVOS Y TIPOLOGÍAS ESTRUCTURALES

Si bien según el CTE DB SE el periodo de vida útil media de una edificación es de 50 años (periodo de aptitud de servicio), el conjunto de escenarios de trabajo en los que los cuerpos de bomberos deberían intervenir, abarcará un abanico notable de tipologías edificatorias. Por ello resulta conveniente el caracterizar de forma general las edificaciones según el periodo en el que fueron construidas, para tratar de prever los sistemas estructurales y materiales que nos podremos encontrar.

Se establecen, pues, tres escalones en la clasificación de las edificaciones según la época en que se construyeron:

- Estructuras anteriores al siglo XX: desarrolladas conforme a un tiempo sin normativas, no responden a métodos de cálculo sino a procedimientos empíricos basados en la experiencia.
- Estructuras edificadas durante el siglo XX: conforme a normativas derogadas.
- Edificaciones conforme a la normativa vigente: los valores de cálculo establecidos se basan en consideraciones probabilísticas.

Conforme a la anterior clasificación, identificaremos los sistemas constructivos que materializarán las edificaciones en los periodos indicados:

8.1. ANTES DEL SIGLO XX

- **Sistemas estructurales:** Construcciones a base de gruesos muros de carga de fábrica, con pequeños huecos de ventilación e iluminación. En múltiples ocasiones, se aprovecharán como elementos estructurales los elementos de la naturaleza (Ej: grandes rocas).
- **Materiales:** en función de la mayor o menor disponibilidad canteras y la importancia de la obra, ya fuese de carácter religioso (catedrales o panteones) o de carácter civil (palacios nobles), se utilizarán principalmente los siguientes materiales:
 - **Piedra:** son comunes técnicas como el sillar, el sillarejo o el mampuesto en los cascos urbanos. Si bien dichos materiales sólo se empleaban en edi-

ficios de las zonas nobles, Son los que debido a su elevada durabilidad han llegado hasta nuestros días.

- **Tierra:** en estructuras formáceas como el adobe o fábricas de adobe. Debida a la elevada disponibilidad de dicho material y baja necesidad de mano de obra, el costo de ejecución era reducido, generalizándose su uso en edificaciones residenciales de pequeños núcleos urbanos y en las no residenciales en general.
- **Materiales mixtos:**
 - Construcciones sobre edificaciones preexistentes: en cascos históricos ya consolidados, es común la aparición de estructuras de adobe construidas sobre edificaciones a base de muros de carga de piedra, preexistentes.
 - Entramados de madera: Combinadas con las estructuras murarias, van ganando importancia con el paso del tiempo. Las estructuras de entramado de madera, las cuales permiten espacios más diáfanos y se convertirían en el recurso constructivo más común para edificaciones populares de más de 2 alturas.

8.2. DURANTE EL SIGLO XX

La gran evolución de los sistemas técnicos aplicados a la edificación a lo largo del citado siglo hará necesaria la subdivisión del siglo indicado en varios periodos para lograr una mejor comprensión de la evolución de las técnicas constructivas empleadas en la edificación:

1900-1939

Si bien se continúan usando los sistemas anteriormente descritos y se produce un paulatino desplazamiento de los mismos por nuevos materiales y técnicas constructivas. Frente a los sistemas murarios se consolidan los sistemas de entramados, inicialmente de madera y posteriormente de hormigón incluso metálicos, sistemas que propician mayores alturas y luces en las edificaciones, así como fachadas no resistentes que generan huecos de mayores dimensiones.

1940-1965 (Guerra Civil, postguerra y aislamiento)

El reflejo de la economía de la guerra (uso del acero para fines militares) y especialmente a la finalización de la misma, tuvo su fiel reflejo en la instauración de las “carti-



“Casa de Piedra”



Estructura de muros de carga



Estructura muros entramados

Imagen 395. Estructuras anteriores al siglo XX



1900-1939



1940-1965



1965-1990

Imagen 396. Estructuras edificadas durante el siglo XX

llas de racionamiento de materiales de construcción". La escasez de medios materiales y técnicos, propiciaron la total eliminación del acero como materia prima y de manera muy importante el hormigón. Retornándose fundamentalmente a los sistemas de entramados de madera y estructuras de fabrica hasta la década de los 60.

Fruto de la carestía de medios técnicos se generaron edificaciones con fisonomías hoy extrañas: la no disponibilidad de andamios propició la generalización de balcones y cornisas que posibilitaban el trabajo en altura de los obreros.

1965-1990 (apertura y primer boom de la construcción)

La paulatina apertura económica de nuestro país, generó el progresivo retorno de materiales como el acero y medios técnicos hasta entonces no disponibles. Ej: hormigoneras.

El punto de no retorno de la transformación edificatoria se produjo con el primer boom de la construcción en los años 70, dando lugar al establecimiento de los entramados de hormigón y acero como tipologías básicas en la construcción, el destierro de los entramados de madera y la tecnificación del sistema constructivo.

8.3. FINALES DEL SIGLO XX INICIOS DEL SIGLO XXI

1990-2010 (segundo boom de la construcción)

Debido a factores económicos (cambio peseta-euro) y sociales (búsqueda de vivienda por la generación del baby-boom de la década de los 70), la construcción cobra nueva intensidad, constituyéndose como el principal factor productivo y foco de inversión especulativo, dando lugar al 2º boom de la construcción.

Dicho fenómeno generó una gran cantidad de nuevas construcciones y una reducción de los plazos de ejecución, caracterizándose por las siguientes tendencias básicas:

- **Prefabricación:** los nuevos sistemas constructivos se alejan del trabajo manual a pie de obra y se orientan hacia tareas de montaje en obra, de componentes mayores y más integrados, fabricados en origen.
- **Modulación:** se coordinan al máximo las dimensiones, lo que significa que edificaciones y compo-

nentes se diseñan y fabrican en módulos estandarizados, lo que reduce al mínimo las operaciones de corte y ajuste a pie de obra.

- **Nuevas tipologías constructivas:** la construcción o rediseño de grandes complejos y estructuras como los centros comerciales, ciudades dormitorio, campus universitarios y ciudades enteras o sectores de las mismas.
- **Manzanas cerradas:** Las edificaciones se construirán como unidades cerradas con espacio libre de esparcimiento al interior del conjunto (piscina, parque, etc.). Dichas edificaciones presentan la problemática del acceso en caso de intervención de bomberos.



Imagen 397. Estructuras edificadas durante finales siglo XX - inicio siglo XXI: Nuevas tipologías y manzanas cerradas

2010-actualidad:

La finalización del 2º boom de la construcción con el estallido de “la burbuja inmobiliaria”, dará lugar a una reducción masiva de la oferta y de las nuevas promociones, no apreciando variación en las técnicas constructivas empleadas desde la década de los 90.

Sin embargo, sí es evidente una disminución del mantenimiento necesario en construcciones e instalaciones, así como la aparición de creciente número de patologías con dicho origen.

9. ELEMENTOS COMPLEMENTARIOS DE LA EDIFICACIÓN

9.1. CUBIERTAS

Definición: conjunto de elementos de carácter inclinado u horizontal, que situado en la parte exterior de la techumbre de la edificación, Tiene por objeto la protección de los agentes meteorológicos respecto un espacio interior creando unas condiciones de confort según el uso para el que haya sido previsto.

Función: proporcionará...

- Estanqueidad al agua de lluvia o la nieve; esto es, deberá ser estanca y tener un sistema de evacuación de aguas.
- Barrera contra la humedad, que impida el paso de vapor de agua.
- Aislamiento térmico: respecto al frío y al calor.
- Aislamiento acústico.
- Resistencia al fuego: Tiene que evitar la producción y propagación del fuego.

Otras funciones:

- Soporte de instalaciones: pararrayos, antenas, etc.

Elementos de cobertura (CTE DB HS):

- **Sistema de formación pendientes:** elemento de la cubierta cuya única función es la de dotar al conjunto del elemento constructivo de la pendiente requerida para evacuar el agua. En caso de que dicha inclinación no sea propiciada por la propia estructura de cubierta (Ej: Inclinación de la cercha), deberá construirse. Para la ejecución de los mismos, se suele utilizar hormigón aligerado para pendientes pequeñas y tableros de rasilla, madera, entramado metálico o similar sobre estructura portante de madera, metal o de cerámica, para pendientes fuertes.

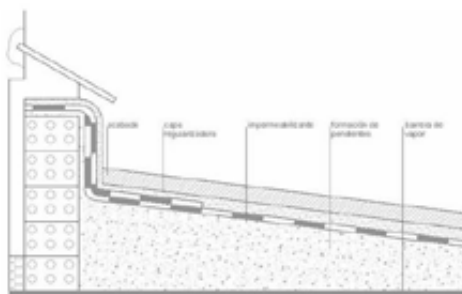


Imagen 398. Sistema de formación de pendientes

- **Aislante térmico:** se trata de la capa destinada a mantener confort térmico en la edificación. En el caso de que el aislante se coloque encima de la capa de impermeabilización y se exponga al agua, dicho aislante no podrá ser degradable con la humedad.

Modelos de aislamiento más comunes: lana de roca, lana de vidrio, poliestireno expandido (porexpan), espuma elastomérica (coquillas) poliuretano expandido, poliuretano estruído , etc.



Imagen 399. Tipos de aislamiento térmico

- **Capa de impermeabilización:** lámina de la cubierta destinada a evitar la entrada de agua al interior de la edificación, proveniente del exterior, independientemente de su origen.

Según el CTE DB HS, se distinguen los siguientes modelos de impermeabilizantes: materiales bituminosos, policloruro de vinilo (PVC), etilo propileno, poliolefinas, sistema de placa, etc.



Imagen 400. Tipos de capas de impermeabilización

- **Capa de protección:** según el uso de dicha cubierta, el material utilizado será:
 - Cubierta no transitada: grava, solado fijo o flotante, mortero, tejas, etc.

- Cubierta transitable para peatones: solado fijo, flotante.
- Cubierta transitable para vehículos: capa de rodadura.
- **Barrera de vapor (BV):** lámina de impermeabilización al vapor de agua, para tratar de evitar su condensación en el interior de los elementos constructivos. Caso de ser necesaria, ésta se colocará por la cara caliente del cerramiento y se controlará que durante su ejecución no se produzcan roturas o deterioros en la misma.



BV bajo aislante



BV vertical

BV incorporada a aislante

Imagen 401. Barrera de vapor (BV)

Es característico que los materiales aislantes sensibles a la humedad, traigan incorporada la barrera de vapor, debiendo únicamente realizar el sellado de sus juntas Durante las labores de construcción.

- **Cámara de aire ventilada:** la disposición de dicha cámara se realizará con la doble función de eliminar humedades, a la par que de servir de aislamiento térmico. Cuando se dispongan cámaras de aire en cubierta, deberá situarse en el lado exterior del aislante térmico y ventilarse mediante un conjunto de aperturas de tal forma que el cociente entre su área efectiva, S_s en cm^2 , y la superficie de la cubierta, A_c , en m^2 cumpla la siguiente condición: $30 > S_s / A_c > 3$.

Tipos de cubiertas:

- Según su inclinación: inclinadas o planas.
- Según disposición del aislante: tradicionales o invertidas.
- Según comportamiento higrométrico: Frías y calientes.

9.1.1. TIPOS DE CUBIERTAS SEGÚN SU INCLINACIÓN

El primer factor para escoger un tipo de cubierta u otro, será la climatología, incidiendo de forma determinante en la inclinación de sus faldones, es decir, cada una de las superficies planas o curvas que componen el conjunto de la cubierta.

Así, en climas soleados y poco lluviosos abundan las cubiertas planas u horizontales. Mientras que en zonas lluviosas y

áreas de montaña con grandes precipitaciones de nieve, las cubiertas suelen tener pendientes muy fuertes.

Atendiendo a la disposición y ejecución de los faldones, o lo que es lo mismo, su sistema de drenaje, podremos clasificar las cubiertas en inclinadas o planas:

a) Cubiertas inclinadas (también denominadas tejados)

Formadas por planos inclinados o faldones, cuyo funcionamiento hidráulico se caracteriza por expulsar rápidamente el agua hacia el exterior, como si de un paraguas se tratase; dejándola caer libremente por su borde (alero) o recogiéndola en canalones perimetrales (vistos u ocultos) que la canalizan a bajantes o la vierten al exterior por medio de gárgolas.



Imagen 402.

Cubiertas inclinadas de madera y cerámica



Definición: según el CTE DB HS1, se trata de cubiertas con faldones con pendientes de como mínimo de un 5%

Uso: debido a su fuerte inclinación, no están pensadas para estancias de personas, sino para evacuar agua y nieve.

Funcionamiento: los faldones conducen el agua hacia el alero bien directamente, bien a través de limahoyas, donde es recogido mediante canalones (vistos u ocultos).



Imagen 403. Cubiertas inclinadas de pizarra y otros acabados

Tipos de cubiertas según sus vertientes:

- **Cubiertas a una agua:** formada por un sólo faldón y sin cumbre, por lo que sólo exige colocación de canalón por un extremo.
- **Cubiertas a dos aguas:** cubierta formada por dos faldones, generalmente orientados en sentidos opuestos y dotado de una línea de cumbre. Existen variantes como son las cubiertas de mariposa (la cumbre se transforma en una limahoya) y quebrantada (Son cubiertas de vertientes quebradas, cuyo faldón inferior (faldón pino) tiene mucha más pendiente que el superior (faldón llano)), por presentar el par trazado lineal quebrado.
- **Cubiertas a cuatro aguas o múltiple:** formada por cuatro o más faldones, orientados en sentidos perpendiculares. Una variante típica es la cubierta de pabellón (forma piramidal).



Imagen 404. Tipos de cubiertas según sus vertientes

- **Cubiertas Poliédricas:** las que presentan más de cuatro vertientes. Son muy extrañas.
- **Cubierta en dientes de sierra:** denominadas también cubiertas SHED, Están constituidas por cerchas asimétricas con desigual inclinación de faldones. El de mayor longitud y menor pendiente es el que lleva el material

de cobertura y el de mayor pendiente (frecuentemente vertical), suele ir acristalado para iluminar la nave. el faldón acristalado debe estar orientado hacia el Norte para evitarlos rayos solares y conseguir una distribución más uniforme de la luz.

A lo largo de los años 60 se popularizaron en España los conocidos como Huesos de Miguel Fisac: variantes de las cubiertas de dientes de sierra, que, fabricados a base de hormigón armado con cantos de 1 m y espesores de 5cm, lograban cubrir luces de unos 20 m de longitud.

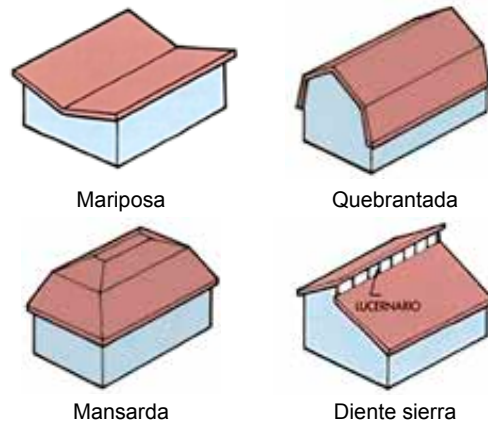


Imagen 405. Tipos de cubiertas en dientes de sierra

Pendientes específicas: Según el CTE DB HS1, cuando las cubiertas inclinadas no tengan capa de impermeabilización, deben tener una pendiente mínima hacia los elementos de evacuación de acuerdo al CTE DB HS1, según el tipo de tejado:

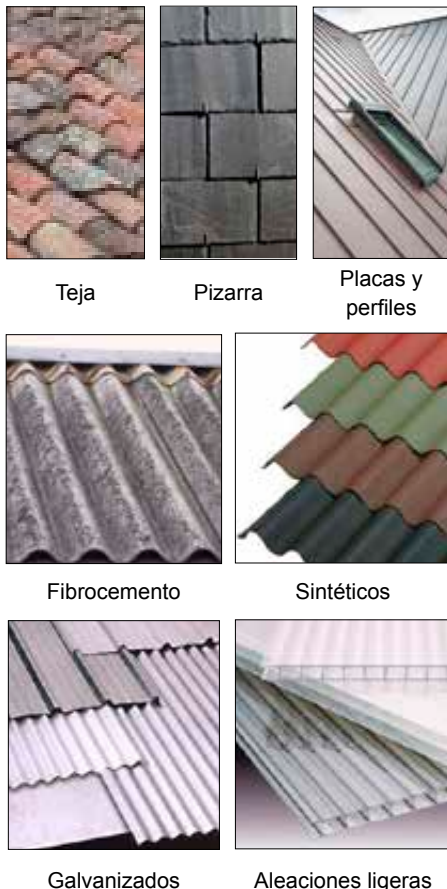


Imagen 406. Tipos de material para cubiertas

Tabla 21. Cubiertas inclinadas

Pendiente mínima en %

		Pendiente mínima en %	
Teja ⁽³⁾	Teja curva	32	
	Teja mixta y plana monocanal	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
		Perfiles de grecado medio	8
	Galvanizados	Perfiles nervados	10
		Perfiles de ondulado pequeño	15
		Perfiles de grecado o nervado grande	5
		Perfiles de grecado o nervado medio	8
		Perfiles de nervado pequeño	10
		Paneles	5
	Aleaciones ligeras	Perfiles de ondulado pequeño	15
		Perfiles de nervado medio	5

- (1) En caso de cubierta 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 estas, 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 montaje de cubiertas con tejas cerámicas").

Elementos de las cubiertas inclinadas:

- **Alero:** parte inferior del tejado que sobresale de la pared.
- **Caballate, cumbrera o gallur:** arista o coronación de un tejado.
- **Faldón:** vertiente triangular o trapezoidal de un tejado, limitado por el caballate y dos limatesas.
- **Hastial, piñón o gablete:** parte superior triangular de la fachada de un edificio en la que descansan las dos vertientes del tejado. muro piñón.
- **Limas:** con carácter genérico, se denomina a las aristas oblicuas que forman el encuentro de la parte lateral de dos faldones. Existen dos modalidades:
 - **Limahoya:** ángulo entrante del tejado. intersección de dos faldones que recoge el agua de lluvia que cae en éstos.
 - **Limatesa:** ángulo saliente del tejado. intersección de dos faldones que expulsa el agua de lluvia, dirigiéndola a una u otra pendiente. Vierte el agua hacia el exterior.
- **Lucernario:** elemento situado en la cubierta para iluminar y ventilar el interior. En cubiertas inclinadas tradicionales, pueden recibir los siguientes nombres: beata,

buharda o buhardilla; el lucero, lucernario, lumbreira o claraboya; y monterala .

- **Linterna:** lucernario elevado sobre la cubierta, que Permite la iluminación y ventilación del espacio inferior a través de su perímetro, por ser opaco en su parte superior.
- **Peto:** faldón menor de forma triangular, comprendido entre dos limas. O también, faldón menor de forma triangular, que en una armadura de dos vertientes, precisa de una tercera.

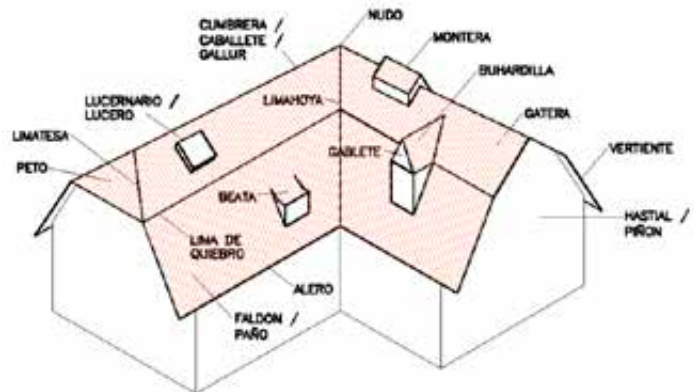


Imagen 407. Elementos de las cubiertas inclinadas

b) Cubiertas planas (también denominadas terrazas o azoteas)

Formadas por planos sensiblemente horizontales, se caracterizan por recoger el agua (como en un vaso o embudo) y conducirla a uno o varios sumideros por donde la evacuan de manera idéntica a las cubiertas inclinadas, mediante bajantes y gárgolas.

Definición: cubiertas sensiblemente horizontales, comúnmente compuestas por uno o varios faldones de pendiente generalmente inferior al 5%, si bien según el CTE DB HS1, reconoce pendientes muy superiores en ciertos casos.

Uso: a diferencia de las cubiertas inclinadas, las cubiertas planas permiten el desarrollo de actividades encima de ella, (permanencia y tránsito de las personas por su superficie, así como la colocación de vehículos, disposición de capas de terreno vegetal, etc.).

Pendientes específicas: según la tipología de cubierta y el elemento de protección, debe existir una pendiente hacia los elementos de evacuación de agua (sumideros), con los siguientes valores mínimos.

- **Transitable:** el revestimiento superior permite el tránsito de personas (solado fijo o flotante) o de vehículos (capa de rodadura).

- **No transitable:** el revestimiento no está pensado para el tránsito habitual, pudiendo tener una capa de protección pesada (grava) o lámina ligera (PVC, etc.).
- **Ajardinada:** la capa de protección funciona como una cubeta con tierra y agua con un peto contenedor perimetral como remate y para prolongar la estructura. Los espesores mínimos serán de 10 cm y si bien Las pendientes pueden oscilar entre el 1-5%, lo más común es que no superen el 3%.

Tabla 22. Cubiertas planas

Uso		Protección	Pendiente en %
Transitables	Peatones	Solado fijo	1-5 ⁽¹⁾
		Solado flotante	1-5
	Vehículos	Capa de rodadura	1-5 ⁽¹⁾
No transitables		Grava	1-5
		Lámina autoprottegida	1-15
Ajardinadas		Tierra vegetal	1-5

(1) Para rampas no se aplica la limitación de pendiente máxima.



Transitable



No transitable



Ajardinada



Inundada

Imagen 408. Cubiertas planas

Elementos de las cubiertas planas:

- **Antepecho (1):** parte maciza inferior que levanta desde el piso con objeto de proteger contra caídas. En su parte superior se corona con una pieza vierteaguas.
- **Lucernario (2):** idéntico a cubiertas inclinadas. En cubiertas planas suele ser un punto de generación de humedades.
- **Sumidero (3):** puntos a los que dirigen el agua uno o varios los cuarteles, por lo que se situará en la cota más baja de estos.
- **Cuartel o paño (4):** es el equivalente a los faldones de las cubiertas inclinadas.
- **Canaletas (5):** sumideros lineales para recogida de agua.
- **Junta de dilatación (6):** discontinuidad estructural a efectos de evitar deformaciones por acciones térmicas.
- **Albardilla (7):** piezas destinadas a la coronación de un muro que tienen por objetivo el que resbalen por su paramento las aguas pluviales y evitar que penetren en el mismo.
- **Chimeneas e instalaciones (8):** instalaciones pertenecientes al conjunto de la edificación y no propiamente a la cubierta, que bien deben atravesarla, bien deben apoyarse en ella.

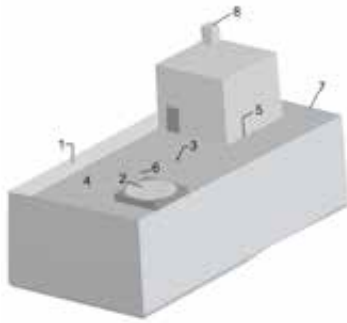


Imagen 409. Elementos de las cubiertas planas

9.1.3. TIPOS DE CUBIERTAS SEGÚN SU COMPORTAMIENTO HIGROMÉTRICO

a) Cubiertas frías

Aquellas que presentan una cámara de aire entre el aislamiento y el impermeabilizante.

Un claro ejemplo de las cubiertas frías son las “Cubiertas a la catalana”: de ejecución similar a las cubiertas inclinadas sobre tabiques palomeros, propiciando por tanto la generación de una cubierta plana ventilada, que atenúa las temperaturas en su parte superior.

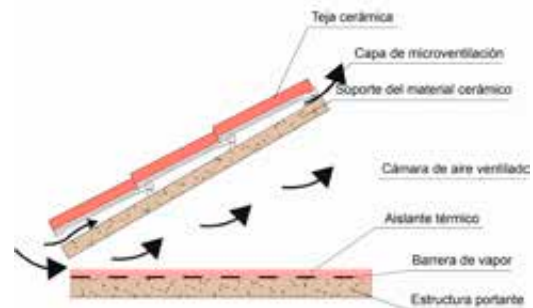


Imagen 411. Cubierta inclinada fría

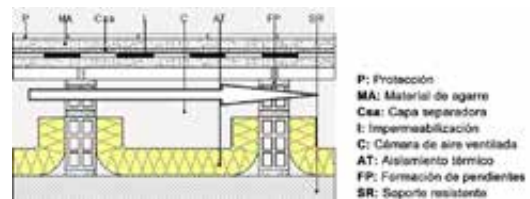


Imagen 412. Cubierta plana fría

9.1.2. TIPOS DE CUBIERTAS SEGÚN LA DISPOSICIÓN DEL AISLANTE

a) Tradicional

El impermeabilizante (independientemente de su naturaleza), se coloca encima del aislante.

b) Invertida

Dicha solución es propia tanto de cubiertas transitables como no transitables y se caracteriza en que la capa de aislamiento se dispone sobre la capa impermeabilizante a fin de protegerla. Finalmente, sobre ambas se colocará la capa de acabado/cubrición/protección (Ej: baldosa en transitables y gravilla en no transitables). Dado que en esta modalidad de cubierta el aislante llega a estar en contacto con el agua y la humedad, solo se podrán colocar en la presente tipología de cubierta, los aislamientos no degradables.



Imagen 410. Cubierta invertida a base de PVC (Impermeabilizante, en gris) y poliuretano extruido (aislante, en azul)

b) Cubiertas calientes

Aquellas en las que no figura ninguna cámara de aire entre el aislamiento y el impermeabilizante, permaneciendo ambos en contacto o no.

Un claro ejemplo de las cubiertas calientes, son las “Cubiertas a Deck”.

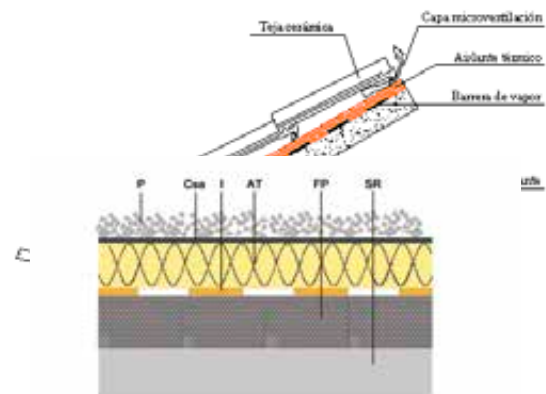


Imagen 414. Cubierta plana caliente

Elementos singulares: se denomina elementos singulares de las cubiertas a todos aquellos elementos de encuentro, resalte o penetración en las mismas, como barandillas, sumideros, juntas de dilatación, antenas y otros.

Todos estos elementos representan zonas críticas por donde

puede ingresar el agua lesionando la cubierta, Por ello deben ser tratados convenientemente y cuidando la perfecta estanqueidad.



Sumideros



Instalaciones



Chimeneas



Antenas

Imagen 415. Elementos singulares

Los elementos que perforan la cubierta como las antenas, atraviesan el impermeabilizante introducidos dentro de una vaina metálica.

• **Juntas y encuentros:**

- Juntas de dilatación: la lámina impermeabilizante, deberá respetar las juntas de dilatación estructurales de la edificación. Caso contrario, la lámina se fragmentará y será un punto de humedad.
- Encuentros de cubierta con paramentos verticales: En dichos encuentros, es conveniente efectuar un doblado del impermeabilizante y subirlo por el paramento vertical hasta una altura de 15 cm como mínimo para evitar la entrada de agua en el encuentro.

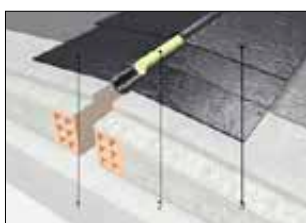


Imagen 416. Juntas de dilatación



Imagen 417. Encuentro cubierta con parámetro vertical

9.2. CERRAMIENTOS EXTERIORES

Definición: se denomina cerramiento, a todo aquel elemento paramento dispuesto en la envolvente exterior de la edificación, cuya principal consiste en proteger el interior de los agentes externos, por ejemplo: temperaturas de frío o calor, el agua en todos sus estados (sólido, líquido o gaseoso), del viento, y los ruidos.

Los cerramientos exteriores generan por tanto la “piel” exterior de la edificación y estarán integrados fundamentalmente por las fachadas (la cubierta será la 5ª fachada, pero debido

a sus especiales necesidades constructivas, se han desarrollado de manera independiente en el capítulo inmediatamente anterior, al resto de cerramientos).

Los parámetros básicos que condicionarán el diseño y características constructivas de cada cerramiento, serán su uso y orientación.



Imagen 418. Cerramientos exteriores

Características generales:

- Aislamiento térmico: la primera función de toda fachada será la de propiciar y generar un confort, de un espacio en el interior de toda edificación. Dependerá fundamentalmente de dos parámetros:
 - Transmisión térmica: capacidad para transmitir el calor.
 - Inercia térmica: Capacidad para mantener su calor (independientemente de la presencia de aislamiento térmico o no). A mayor densidad, más inercia.
- Condensación Superficial Interna: es la condensación que se produce en la pared interior de un cerramiento cuando la temperatura superficial es menor o igual a la temperatura de rocío del aire (tº de condensación), en contacto con la superficie.
- Estanqueidad: impermeabilización total al agua de lluvia o nieve.

Tipologías de cerramientos exteriores:

Distinguiremos dos tipologías básicas:

- Cerramientos pesados, aquellos cuyo peso medio, macizo y hueco > 100 Kg/m².
 - Cerramiento pesado de una hoja.
 - Cerramiento trasdosado con cámara y tabique.
 - Tabique pluvial.
- Cerramientos ligeros, suelen denominarse fachadas ligeras y están formadas por elementos de poco peso, < 100 Kg/m², además de pequeño espesor: 10-15 cm.
 - Muros cortina.
 - Fachada panel.

9.2.1. PESADOS

a) Cerramiento de una hoja

Definición: fachadas tradicionales muy comunes hasta el siglo XIX, caracterizadas por un alto espesor y fabricadas a base de piedra de mampostería o sillería, arcilla (muro de tapia), cerámica, o, muchas veces, una mezcla de los nombrados.



Cerramientos una hoja



Cerramientos trasdosados



Tabiques pluviales

Imagen 419. Cerramientos pesados

Características:

- Impermeabilidad: mínima. según la unión de las piezas de fábrica.
- Condensación superficial: elevada
- Aislamiento térmico: bajo. sin cámara de aire.

Cuesta mucho calentarlos en épocas invernales debido a que están compuestos de una sola hoja, que está de una cara al interior y de la otra al exterior. Debido a su gran “inercia térmica”, una vez calentados, mantienen por más tiempo la temperatura, y en verano, los espacios interiores logran permanecer más frescos respecto del exterior.

b) Cerramiento trasdosado

Definición: cerramiento con dos hojas, generalmente sin capacidad estructural y muy utilizada habitualmente en la construcción actual. Su composición se basa en el principio de superposición de varias capas de distintas características, que actúan de multibarrera ante los agentes meteorológicos externos y pérdida de las condiciones de confort de los espacios internos. Presenta como especificación mejora respecto los muros de una sola hoja, un mejora muy importante de su aislamiento térmico.

Elementos: en todo cerramiento de dos o más hojas, se distinguen los siguientes elementos: muro exterior, aislamiento y tabique interior.

- **Muro exterior:**
 - Material: comúnmente de tipo cerámico (fábrica), con espesor mínimo entre 12 y 14 cm.
 - Función estructural: puede o no tener función estructural, si bien generalmente no la tiene.
 - Impermeabilización: debe estar garantizada desde su cara exterior.
 - Acabados: fabrica vista, o con diversos revestimientos como revoco, mortero, estucado, aplacado de piedra, etc.
- **Aislamiento térmico:**
 - Definición: material dispuesto en cerramientos exteriores de la edificación, a fin de disponer una barrera de calor entre un espacio exterior y la calle.
 - Espesor medio: 7-10 cm. Distinguiendo, en su caso, una cámara de aire y el material aislante.
 - Ubicación: si bien el aislamiento térmico se puede situar en cualquier posición del cerramiento, comúnmente se sitúa en el interior del mismo (en su parte central), distinguiendo un material que evite la variación térmica (reduciendo el gradiente térmico entre el interior y el exterior).
 - Características aislantes: se entiende que un material tiene características aislantes si tiene una conductividad térmica inferior a $\lambda < 0,08 \text{ W/m}\cdot\text{°C}$. A modo de ejemplo:
 - Corcho: 0,04-0,30
 - Fibra de vidrio: 0,03-0,07
 - Poliuretano: 0,018-0,025
 - Condensaciones: de manera análoga a la cubierta, habrá que tratar de evitar la posibilidad de que se generen condensaciones en el interior del cerramiento, debiendo colocar un material que funcione como barrera de vapor y cuya naturaleza sea compatible con dicha eventualidad. Distinguiremos dos situaciones:
 - Aislamiento degradable: peligro de condensaciones en el interior del material aislante, debiendo existir una barrera de vapor por el lado caliente del aislamiento (en España, junto a la hoja interior). En caso de que el aislante entre en contacto con el agua, se arruinará, debiendo ser sustituido.

- Aislamientos no degradables: si el aislante térmico no es de naturaleza degradable, se puede aplicar sobre la cara interna del muro exterior o del tabique, de forma indistinta y sin riesgo a disminuir su capacidad aislante.
- Ventilación de cámaras de aire: en función de las condiciones climáticas del área donde se ubique la edificación, será frecuente encontrarnos las cámaras de ventilación estancas (en climas fríos y secos) o ventiladas (en climas cálidos y húmedos).

• **Tabique Interior:**

- Material: frecuentemente a base de material cerámico.
- Funciones:
 - Cerramiento interior de la cámara de aire.
 - Soporte: sirve de base al acabado interior (enlucido, alicatado, revoco, chapado de madera, etc.).
- Problemas: aparición de puentes térmicos en los sectores donde la cámara se interrumpe (Ej: encuentro de los forjados con la estructura, así como en huecos de puertas y ventanas). Esta interrupción de la cámara provoca la transmisión térmica exterior-interior, con el resultado del aumento del gasto energético, además de propiciar las condensaciones vistas en el punto anterior.

c) **Tabiques pluviales**

Definición: sistema constructivo que tiene como objetivo la impermeabilización y el aislamiento de las paredes medianeras laterales exteriores de los edificios, expuestas a los agentes meteorológicos por desaparición de una edificación colindante.

Características: dicha medianería, a base de tabique pesado de una sola hoja, suele carecer de una impermeabilización, exponiéndose seriamente a los agentes meteorológicos exteriores. Para ser correctamente protegido, se construye una segunda hoja en paralelo dejando una cámara de aire entre ambos, mediante la técnica conocida como tabique pluvial.

Elementos:

- Hoja de protección exterior: ladrillo cerámico, bloque, placas de fibrocemento, plancha prelacada fijadas al muro soporte directamente o a través de una estructura portante, etc.
- Cámara de aire: vacío o masa de aire dispuesta entre los dos hojas del muro, evitando que la humedad de los agentes meteorológicos penetre en la edificación, y logrando un lugar exterior a la edificación donde se provoquen las condensaciones. Dicha solución es muy frecuente en zonas costeras, donde debido a las elevadas temperaturas y la humedad ambiental, presentando por ello numerosos orificios de ventilación.
- Aislamiento: caso de disponerse, se colocará adherido a la cara externa del muro soporte, evitando los posibles puentes térmicos. Dicho material, frecuentemente es de tipo proyectado dado que caso contrario exigirá su anclaje a la fachada.

Un elemento fundamental a tener en cuenta en todos los cerramientos exteriores, son los encuentros de las fachadas con los forjados, dado que son frecuentes puntos de condensación por generación de “Puentes térmicos”. Por ello, existen dos modalidades básicas para ejecutar los encuentros de ambos elementos:

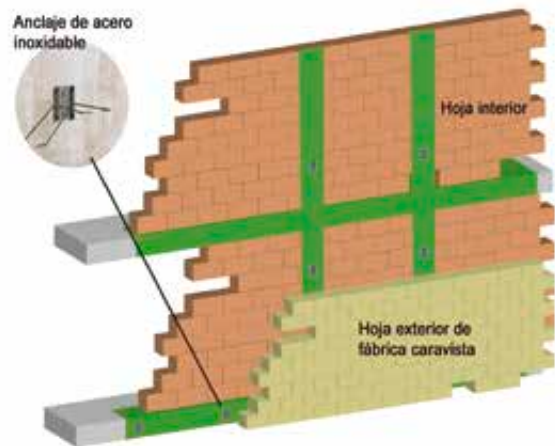


Imagen 420. Hoja exterior por delante de canto de forjado

- Caso de que la fachada pase por delante del canto de forjado, esta deberá disponer de anclajes a la estructura.
- Sin embargo, en caso de la fachada apoye en el canto de forjado, carecerá de dichos puntos de sujeción, debiendo asegurar el arranque de la fábrica con unos angulares.

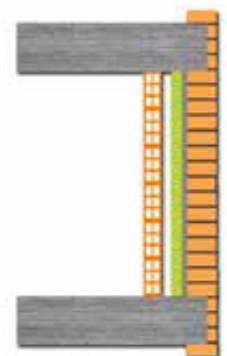


Imagen 421. Hoja exterior apoyada en canto de forjado

Así mismo, la configuración de la fachada en una u otra tipología, condicionará la intervención de bomberos ante un eventual derrumbe.

9.2.2. **LIGEROS**

Definición: retícula de elementos constructivos verticales y horizontales, conectados conjuntamente, y anclados a la estructura del edificio, la cual ha de ser complementada con paneles de baja densidad, dando lugar a una superficie continua que delimita completamente el espacio interior respecto del exterior del edificio.

Características:

- Anclaje: colgadas o apoyadas.
- Estabilidad estructural: nula.
- Aislamiento acústico: malo: Poca densidad, por lo que no se suelen utilizar en edificios residenciales.
- Aislamiento térmico: malo, generando un gasto elevado de calefacción y aire acondicionado.
- Iluminación: muy buena
- Montaje: gran velocidad de montaje, lo que les hace ideales para construcción de torres y espacios públicos.
- Peso: entre 50 y 75 kg/m²

Elementos:

- Estructurales:
 - Montantes: elementos de sujeción verticales, bien anclados a los cantos de los forjados, bien apoyados en estos.
 - Travesaños o perfiles secundarios: elementos horizontales anclados a los montantes, y que junto a estos conforman el armazón para montaje de los cerramientos.
- Cerramientos: elementos de confinamiento del espacio interior, pudiendo fabricarse de cualquier material y ser fijos o practicables.

Tipologías: En función de su continuidad de las fachadas respecto de los forjados, distinguiremos:

- Fachadas ligeras continuas: muro cortina.
- Fachadas ligeras discontinuas: fachadas panel.

a) Muro cortina

- Definición: fachada ligera cuya estructura auxiliar permanece suspendida de los forjados como si de una “cortina” se tratara.
- Características: se ancla al canto de los forjados, pasa por delante de éstos y presenta continuidad desde la parte superior a la inferior del edificio.
- Elementos: Combinación de elementos de aluminio, acristalamientos transparentes y zonas generalmente opacas, realizadas en elementos de relleno que pueden ser de distintos materiales, como maderas, paneles composite, vidrios, plásticos, etc.

b) Fachada panel

- Definición: fachada ligera cuya estructura auxiliar permanece apoyada en los distintos forjados.
- Características: dicho modelo de cerramiento ligero, se interrumpe en cada forjado, donde se apoya, delimitando paneles o zonas independientes. Un claro ejemplo de estas fachadas son las fachadas de chapa.
- Elementos: de idéntica naturaleza a los muros cortina, pero con dimensiones frecuentemente algo mayores.

9.2.3. OTRAS TIPOLOGÍAS DE CERRAMIENTOS EXTERIORES**a) Fachadas ventiladas o trasventiladas**

Similares a los muros cortina. También constan de montantes, travesaños, y cerramientos, pero a diferencia de las anteriores, los montantes se anclan a muros de fábrica, y las piezas de cerramiento son pesadas (normalmente placas de piedra o cerámica).

Al existir una hoja de cerramiento interior pesada (habitualmente de ladrillo), las placas no necesitan presentar una junta estanca, y en el montaje se separan entre sí unos pocos milímetros, permitiendo que el aislamiento térmico ventile por esas rendijas. Este tipo de fachadas se suele utilizar en edificios institucionales, debido a que ofrece una elevada calidad de acabado.

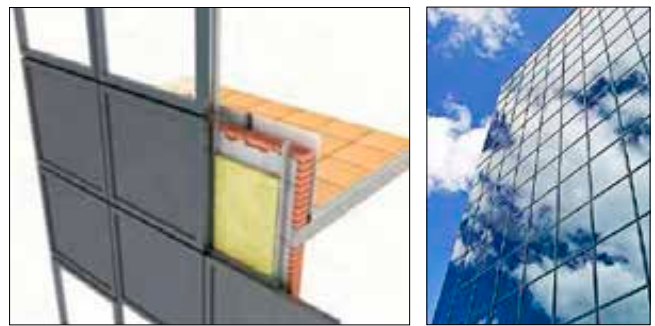


Imagen 423. Muro cortina ordinario

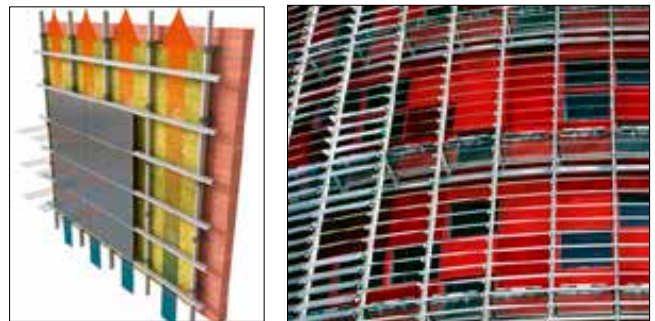


Imagen 424. Fachada ventilada



Muro cortina

Fachada panel

Imagen 422. Tipologías de cerramientos ligeros

b) Fachadas prefabricadas

Son fachadas compuestas por módulos de pared que vienen hechos de taller, ensamblándose unos a otros en obra. Dependiendo del nivel de prefabricación pueden incluso montarse paredes de fachada con las ventanas o la puerta ya instaladas. El material más utilizado en prefabricación es el hormigón, aunque también está extendido el uso de madera, y otros materiales de nueva generación.

Los sistemas de unión entre los distintos módulos ya vienen incorporadas en las propias piezas, de modo que suelen ser construcciones de *junta seca*.

- Ventajas: se monta en taller, por lo que se reducen las distintas labores en obra.
- Inconvenientes: necesidad de medios mecánicos y de mano de obra especializada: más costo.



Imagen 425. Fachada prefabricada

9.3. CERRAMIENTOS INTERIORES

Definición: Se definen como cerramientos interiores, divisiones, tabiquería, particiones o elementos de separación, a los elementos constructivos que apoyándose en los elementos estructurales (forjados, fachadas, etc.), Sirven para cerrar, separar o dividir un espacio interior, conformando en su conjunto la envolvente interior de una edificación.

Características generales:

- Geometría: tienen carácter eminentemente plano y con carácter general se disponen en posición vertical, destinándose a la separación de distintos espacios contiguos en dirección horizontal.
- Resistencia: los tabiques no tienen ninguna función estructural o portante, por lo que no recibe ninguna sollicitación estructural.
- Aislamiento acústico: sólo se exige en aquellos cerramientos que delimiten áreas de maquinaria o recintos de usos especiales.
- Aislamiento térmico: no es una característica fundamental en dicho tipo de elementos constructivos, si bien existen particiones dotadas de dichas propiedades.

Tipologías:

Según las técnicas constructivas, distinguiremos:

- Tabiquería húmeda.
- Tabiquería seca.

a) Tabiquería húmeda

- Definición: cerramientos interiores a base de piezas unidas mediante un conglomerante para cuya formación es esencial la presencia de agua (ej.: cemento). Es la tipología de tabique tradicionalmente más usada. Una imagen tradicional de dichos cerramientos interiores, son las grandes manchas de humedad en los paños durante el proceso constructivo.
- Ventajas:
 - Mano de obra: no ha de tener cualificación especializada.
 - Material: materia prima/materiales de construcción básicos.
 - Precio: barata.
- Inconvenientes:
 - Escombros: normalmente abundantes.
 - Tiempos de ejecución: lentos. Los exigidos por el fraguado de los materiales.
 - Acabados: si bien no son malos, suelen ser más toscos que en la tabiquería en seco.
- Sistemas y elementos: se construye con los mismos elementos y técnicas que las analizadas para fábricas de ladrillo cerámico.

b) Tabiquería seca

- Definición: fruto de la tecnificación e industrialización de materiales y técnicas constructivas, así como de la especialización de la mano de obra, surgieron los sistemas de tabiquería en seco. Los cuales Sustituyen con

elementos prefabricados la mayor cantidad de componentes húmedos que tradicionalmente conforman una obra, tales como el hormigón armado, morteros, yesos, las mamposterías y todo material que condicionado a un proceso de fraguado, condicionaba el avance de la obra.

- Ventajas:
 - Mano de obra: más cara que en la tabiquería “húmeda”.
 - Material: casi todo el material es prefabricado y modulado.
 - Escombro: disminución considerablemente del escombro en obras y gran parte de este reciclable.
 - Tiempos de ejecución: mucho menores que en la tabiquería ordinaria (húmeda), dado que el proceso constructivo no se ve frenado en ningún momento y no es necesario guardar ningún tiempo de fraguado.
 - Acabados: de gran perfección debido a la planeidad del soporte.
- Inconvenientes:
 - Mayor costo de ejecución, pero dicha diferencia económica se ve compensada por el ahorro mediante la disminución de los tiempos de construcción.
- Sistemas y elementos de tabiquería seca:
 - Trasdosados.
 - Autoportantes.



Trasdosados



Autoportantes

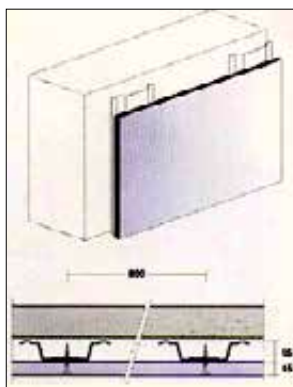
Imagen 426. Sistemas y elementos de tabiquería seca

9.3.1. TRASDOSADOS

Empleados como revestimiento interior de un cerramiento exterior de fachada o de un muro medianero. A su vez los trasdosados pueden ser:



Directos



Indirectos



Autoportantes

Imagen 427. Tipos de trasdosados

- Directos.
- Semidirectos sobre maestras.
- Autoportante sobre entramado.

9.3.2. TABIQUES DE CARTÓN YESO

Construido a base de un entramado metálico formado por canales o bases que se fijan al suelo, sobre los que se colocan los montantes verticales, que son los elementos que reciben las placas.

Nomenclatura de los tabiques de cartón yeso:

- N: normal.
- FOC: resistente al fuego. Alma de yeso de color rosa.
- WA: resistente al agua. Celulosas de color verde.
- FON: aislante acústico.
- TRILLAJE: alma celular.

9.4. REVESTIMIENTOS Y ACABADOS

Definiciones: se define revestimiento, como el conjunto de elementos superficiales dispuestos como acabado de un elemento constructivo, con objeto de otorgar continuidad, aportar protección térmica, acústica y frente a la acción de los agentes atmosféricos.

Los revestimientos, son los elementos constructivos utilizados para propiciar una imagen concreta o aspecto al exterior y si bien En principio pudiera sospecharse no suponen un problema de estabilidad en edificaciones, conviene recordar que un porcentaje muy elevado de las intervenciones de bomberos en dichos ámbitos, está asociados a desprendimientos de los mismos. Por ello, conviene tener un conocimiento básico de los mismos.

Características generales:

Protección: dicha característica supondrá su principal función, en especial frente a los agentes atmosféricos, ya que estos pueden dañar los distintos elementos constructivos mediante la acción de viento, el agua, las reacciones químicas (ambientes salinos, polución, etc.), o los cambios de temperatura.

Resistencia: ofrecen una importante seguridad ante eventuales desprendimientos. Para asegurar dicha acción será necesaria una correcta elección del revestimiento en función del soporte, a la par de un adecuado mantenimiento.

Ejecución: durante su puesta en obra, se deberá observar la compatibilidad con otros materiales, así como la adecuada disposición de las juntas de dilatación y retracción.

Aditivos: se suelen utilizar en materiales conformados, con objeto de potenciar alguna de las características de un material, en función de su ubicación y características.

Tipos:

En función de la naturaleza y potencial ubicación de los acabados, distinguiremos:

Tabla 23. Tipos de acabados

		CONTINUOS		DISCONTINUOS / ELEMENTOS	
		Exterior	Interior	Exterior	Interior
Verticales	Ubicación	Encalados	Guarnecidos	Chapados	Alicatados
		Revocos	Enlucidos		Textiles
		Enjabelgados	Estucos	← Param. flexibles →	
		Enfoscados			
		M. Monocapa			
		← Pinturas →			
Horizontales	Suelos	← Solados continuos →		← Pavimentos rígidos →	
				← Pavim. flexibles →	
		Aglomerados bituminosos	Soleras		
Horizontales	Techos	Revoc. / Enfosc.	FT continuos		FT placas

9.4.1. PARAMENTOS VERTICALES

a) Acabados continuos

- **Acabados a base de cal:**
 - **Encalado:** mezcla de cal y agua, con una consistencia líquida tan diluida, que es aplicada como pintura.
 - **Revoco:** cuando a la mezcla de cal y agua (encalado) se le añade arena, el material obtenido es más consistente, pasando a convertirse en un mortero, y el grosor de la capa aplicada es mayor (al menos 3 capas de mortero).
 - **Jabelga:** técnica mediante la cual, en lugar de arena se añade polvo de mármol o marmolina, pero la consistencia sigue siendo fluida como una pintura.
 - **Estuco:** jabelga en la que bien la cantidad de marmolina aumenta hasta adquirir consistencia de pasta, o bien se añade también arena.
- **Acabados a base de yeso:**
 - **Guarnecidos:** revestimiento de yeso negro (grisáceo y algo rugoso al tacto), que constituye la primera capa aplicada sobre los paramentos interiores de un edificio, antes de ser revestidos con otros tipos de acabado (normalmente el enlucido). Los espesores ordinarios, será, de 10-12 mm. Supone una clara mejora del aislamiento acústico, térmico, y resistencia al fuego.

- **Enlucidos:** revestimiento continuo de yeso blanco que constituye la capa de terminación aplicada sobre la superficie del guarnecido, en muros, tabiques y techos, previamente revestidos con yeso negro. El enlucido con yeso blanco suele tener un espesor de 1-3mm, y Por norma general se suele pintar.
- **Acabados a base de cemento:**
 - **Enfoscado:** acabado a base de mortero cemento o mortero bastardo (cemento y cal), aplicado bien como base para otro tipo de revestimientos, bien para la regularización de un soporte. Generalmente suele presentar un espesor de unos 2-3 mm.
- **Otros materiales:**
 - **Morteros monocapas:** morteros compuestos por un conglomerante hidráulico (preparado o sintético), agua, y un árido de granulometría muy cuidada, cuyo preparado llega a obra en polvo, a falta de añadirle agua. Al ser compuestos preparados en fábrica, permite el uso de resinas epoxi, así como componentes textiles que refuerzan y evitan el desprendimiento.

b) Acabados discontinuos

- **Alicatado:** revestimientos de paramentos con azulejos, normalmente en cocinas y cuartos de baño. Los azulejos se tratan de piezas cerámicas o ladrillo vidriado donde una de sus caras es esmaltada, impermeable y escurridiza, haciéndola inalterable al ácido, lejía y luz. Previenen las humedades y evitan la formación de colonias de gérmenes y hongos. No son inferiores a 3 mm de espesor, ni superiores a 15 mm. En ningún caso se deben colocar en suelos, dado que son resbaladizos y no soportan el desgaste de las pisadas.
- **Chapados:** chapado vertical discontinuo realizado con placas de piedra natural (pizarra, granito, etc.), de dimensiones fijadas según proyecto, independientemente de su sistema de fijación. Se suele colocar tanto al exterior como al interior. Distinguiremos:
 - Placa: pieza cortada para el acabado de un revestimiento mural, fijada a una estructura bien mecánicamente, bien mediante morteros o adhesivos. Las piezas de tamaño inferior a 61 cm y espesor hasta 12 mm, reciben la denominación de plaqueta.
 - Baldosa: idéntica definición que para las plaquetas, pero con espesores mayores a 12 mm, sin limitar las dimensiones máximas.
 - Tablero en bruto: producto semielaborado de superficie plana con aristas sin acabar, obtenido mediante aserrado o partición de un bloque en bruto.



9.4.2. PARAMENTOS HORIZONTALES

a) Acabados en suelos

- **Continuos**
- A base de **productos bituminosos**:
 - Aglomerado bituminoso: mezcla en caliente constituida por un ligante bituminoso y áridos minerales.
 - Asfalto fundido: mezcla en caliente constituida por asfalto natural, betún de baja penetración y áridos silíceos.
- A base de **cemento**:
 - Solera de hormigón armado: pavimento ejecutado *in situ* a base de capa de 10 cm de hormigón mínimo, que se apoya directamente en el suelo. Generalmente se usa como soporte del conjunto del pavimento.
 - Hormigón tratado superficialmente:
 - Tratamiento endurecedor: a base de resinas epoxi o poliuretano, que aplicado sobre la superficie de hormigón, sella sus poros y le confiere resistencia al desgaste, sin modificar la rugosidad del soporte.
 - Tratamiento impreso: Aplicado sobre la capa superficial del acabado, reduce su resbaladidad a la par que le propicia un mejor acabado estético.
- **Discontinuos**
 - **Pavimentos rígidos - Baldosas**: piezas rígidas de forma geométrica regular y espesor reducido (respecto a su largo y ancho), fabricadas a base de cualquier material disponible para revestimiento de suelos y escaleras, ya sea en espacios interiores o en exteriores:
 - Materiales pétreos: piedra natural, cerámica, cemento, terrazo, hormigón, asfalto, etc.

- Materiales orgánicos: tabla (tarima maciza sobre rastreles), tablilla, parquet flotante...
- Materiales metálicos: fundición, chapa de acero, etc.
- A las piezas de reducido ancho y largo, y de espesor similar a los anteriores, se les denominarán adoquines.
- **Pavimentos flexibles - Losetas o rollos**: a base de materiales textiles (moquetas) y plásticos. Entre sus ventajas destaca la de amortiguar el ruido de impacto. La principal característica que distingue la ejecución de estos pavimentos de las piezas rígidas es que cualquier pequeña irregularidad del soporte. Para evitarlo, antes de colocar el pavimento, se aplica sobre el soporte una pasta de alisado, formado por una mezcla de arena fina, cemento, un aglutinante orgánico y agua. Distinguiremos materiales como linóleo, vinilo, moqueta, PVC o goma.

b) Acabados en techos

- **Continuos**
 - **Tendido de mortero**: ejecutado por la parte interior del forjado, generalmente a base de mortero de yeso, aunque también es frecuente ejecutarlo a base de mortero de cemento o de cal.
- **Discontinuos**
 - **Falso techo, placas de yeso o cielo raso**: elementos situados a cierta distancia del forjado (generalmente de aluminio, acero, PVC o escayola), que soportadas por fijaciones metálicas o de caña y estopa, liberan un espacio comprendido entre ambos para el paso de instalaciones, denominado "plenum". En función del acabado, distinguiremos distintas modalidades: planchas y losetas (placas).



10. PATOLOGÍA EN LA EDIFICACIÓN

Es bien conocido que desde el comienzo de la vida de un edificio se ven aparecer fisuras en alguna parte de él, incluso antes de acabar la construcción, cuya importancia la mayoría de las veces es escasa y cuyo origen es variado, casi siempre relacionado con el fraguado de morteros, hormigones, yesos y la humectación de los mismos.



Imagen 428. Grietas y humedades

Tales señales, cuya incidencia fundamental es sobre el aspecto estético de lo construido, no son en principio preocupantes para el técnico si éste comprueba que la estructura ha sido correctamente concebida y ejecutada, es decir, si el estado de equilibrio de las piezas y elementos que componen el edificio así como sus enlaces mutuos y conexión con el terreno garantizan la seguridad del conjunto.

Sin embargo, hay otros síntomas que dan a entender, incluso al profano, que el problema que muestran con su presencia puede ser trascendente, bien por su forma, por su emplazamiento, por su amplitud o por la velocidad de aparición del fenómeno.

Tantas unas como otras son muestra evidente de un proceso que conduce al deterioro del edificio. En el caso de las primeras, aún cuando no tengan una importancia inicial, su falta de tratamiento puede conducir a situaciones que son la génesis de un envejecimiento prematuro. En cuanto a las citadas en segundo lugar, ya se ha indicado que constituyen el indicio de algún problema más o menos grave y que habrá de ser estudiado para evaluar su alcance real.

10.1. CAUSAS

Las causas generadoras de una potencial intervención en edificaciones de los cuerpos pueden ser de múltiples orígenes, pudiendo agruparlos en dos grandes grupos:

10.1.1. FACTORES INTERNOS (VINCULADOS AL DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA PROPIA EDIFICACIÓN)

- Fallos de proyecto.
- Fallos de ejecución.
- Materiales de mala calidad.
- Reformas en el edificio. Como construcciones posteriores a la existente, originan lesiones, a corto o largo plazo.
- Envejecimiento.
- Fallos inherentes al mal uso o mala conservación del edificio.

10.1.2. FACTORES EXTERNOS

Asociados a agentes ajenos y frecuentemente accidentales de la edificación. Se caracterizan porque en muchas ocasio-

nes dejan secuelas no visibles que pueden derivar en una situación de ruina total repentina. En función de su origen, distinguiremos factores antrópicos y naturales:

- **Antrópicos (generados por el hombre):**
 - Agotamiento estático del terreno.
 - Alteración volumétrica del terreno por la humedad o excavaciones subterráneas (Ej: Metro y galerías de servicio).
 - Alteración de las condiciones de contorno:
 - Demolición de edificios colindantes.
 - Excavaciones próximas a cimientos o descargas.
 - Sobrecargas diferenciales del terreno, etc.
 - Etc.
- **Naturales:**
 - Incendios estructurales.
 - Seísmos.
 - Explosiones.
 - Inundaciones y aguas subterráneas (socavones).
 - Etc.

10.2. TIPOS DE PATOLOGÍAS

10.2.1. PATOLOGÍAS POR CAUSAS CONSTRUCTIVAS

En el origen de las lesiones no debidas a causas accidentales, intervienen tres factores que siempre están presentes, bien actuando de forma aislada o en conjunto, y con los que hay que contar como punto de partida en todo proceso de evaluación de la patología de un edificio:

- El agua**, ya sea de lluvia, embebida en el terreno, en fugas de canalizaciones o en corrientes subterráneas.
- El terreno**, por su variable capacidad de respuesta a lo largo del tiempo y ante la influencia del agua.
- Las características de los elementos constructivos** que componen el edificio: geometría, rigidez, materiales empleados, etc.

La primera de las patologías se estudiará de manera independiente, mientras que la segunda y tercera aparecen siempre tan íntimamente unidas que se analizarán de manera conjunta.

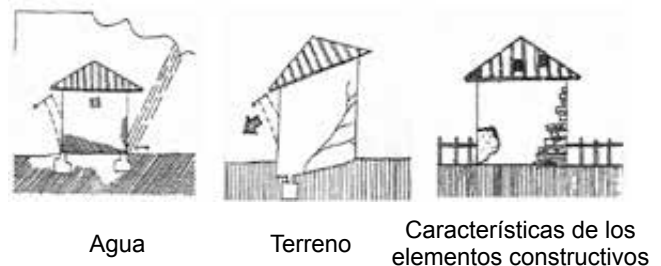


Imagen 429. Patologías por causas constructivas

a) Agua

Definición: dentro del conjunto de patologías que pueden afectar a un edificio, un apartado importante es el relacionado con las “humedades”, entendidas éstas como la existencia no

deseada en los materiales o en los elementos constructivos de un contenido de agua superior al correspondiente al de equilibrio hídrico con su entorno.

Los materiales tienden a establecer de forma natural el **equilibrio hídrico** con el ambiente o los materiales que les rodea. Este equilibrio se alcanza mediante los mecanismos de intercambio (captación o cesión) de agua:

- Relacionados con el agua líquida: succión, absorción.
- Relacionados con el vapor de agua: adsorción, difusión o evaporación.

Al margen de la afección a la salubridad de la edificación, las humedades influirán claramente en la durabilidad de elementos constructivos y estructuras (corrosión, disgregación, pudrición, etc.). Por ello, independientemente de si la humedad es la causa o el resultado de una lesión, todas ellas desencadenan o favorecen el desarrollo de diversos procesos patológicos.

Tipos de humedades:

Según su origen:

- Humedades de origen natural:
 - Procedentes del terreno: capilar o freática.
 - Ambientales: filtración o condensación.
- Humedades de origen antrópico:
 - De obra.
 - Accidentales: Rotura de instalaciones.

I. Humedades de origen natural

I.1. Procedentes del terreno

- **Humedad capilar:** agua procedente del terreno donde se asienta la edificación, que al tratar de equilibrarse con el medio ambiente, asciende por la red de capilares de los muros y tabiques de sótanos y plantas bajas en contacto con el suelo. La altura, tamaño y forma de la humedad dependerá de la naturaleza del material (porcentaje de capilares) y de la presión atmosférica. Suele generarse en edificaciones de cierta antigüedad, existiendo una proporción directa entre vejez y efectos de la humedad, lo que se produce a causa de la porosidad de los materiales.
- **Humedad freática:** humedad asociada a un cambio de las características hidráulicas del terreno (ej: lluvias intensas), provocando una elevación del nivel freático, provocando serias humedades en el interior de las edificaciones que no hubiesen considerado una adecuada impermeabilización.

Las humedades capilares y freáticas, se distinguen en que mientras las segundas afectan fundamentalmente a elementos constructivos situados en el cerramiento de la edificación de plantas bajo rasante. Las humedades capilares afectan a elementos constructivos en contacto con el terreno, ya sea sobre o bajo rasante y tanto en los cerramientos exteriores, como interiores de ésta.



Capilar



Freática



Filtración



Condensación

Imagen 430. Humedades de origen natural

I.2. Ambientales

- **Humedad de filtración:** humedad resultante de la absorción del agua proveniente de fenómenos meteorológicos (lluvia o nieve), al penetrar por los paños ciegos o juntas de los cerramientos exteriores (cubiertas, fachadas, terrazas, arranques de muros, puntos de encuentros de distintos materiales, etc.). Se difunden también por capilaridad, pero en este caso descienden por gravedad por los muros, desde la parte alta del edificio.
- **Humedad de condensación:** humedades generadas por el cambio de estado de parte del vapor de agua contenido en el aire, que se encuentra o se genera sobre las superficies interiores (condensación superficial) o dentro (condensación intersticial) de los paramentos del recinto o edificio.

Para cada humedad ambiental, hay una temperatura de condensación (punto de rocío). Por ello, bien por un incremento de la humedad de vapor de agua del ambiente (y por tanto de la temperatura de rocío) o bien por un descenso de la temperatura, se producirá la condensación en los puntos más fríos, generalmente en ventanas, juntas y cámaras de aire de los cerramientos externos.

II. Humedades de origen antrópico

- **De obra:** el agua es utilizada intensamente durante la fase de obra, para la ejecución de distintos elementos constructivos. Por ello, una vez finalizado su uso, su excedente debe evaporarse hasta alcanzar la humedad de equilibrio, pudiendo suponer periodos más o menos prolongados según la naturaleza del elemento constructivo.
- **Accidentales:** Humedades producidas por el fallo o rotura de algún conducto de agua de calefacción, saneamiento o uso sanitario, embutidos en muros, tabiques, falsos techos, enterrados, etc. Si dichas

humedades puntuales no se reparan, el agua penetrará en el cerramiento y será absorbido por la fábrica (ej., de ladrillo), los que por capilaridad lo extenderán al resto de la edificación. En muchos casos, al ir enterradas estas instalaciones, impiden la observación directa de su estado de conservación, dificultando el mantenimiento y potencial reparación.



De obra Accidentales
Imagen 431. Humedades de origen antrópico

b) Terreno y calidad de los elementos constructivos

Al margen de la influencia del agua en las patologías edificatorias, la combinación de los factores asociados al terreno y a la calidad constructiva del edificio generarán el grupo de patologías más amplio e importante en la edificación.

La base del problema se reduce, en esquema, a una variación sustancial del reparto de cargas y tensiones por alguna de las dos causas anteriores, bien a lo largo del tiempo o bien de forma más o menos precipitada.

Esta variación en la distribución de cargas produce desequilibrios en el conjunto, que si el resto de elementos constructivos no son capaces de absorber, llevan progresivamente al colapso del sistema estructural.

Según el tipo de esfuerzo tensional o movimiento provocado en la edificación, podemos distinguir las cinco **tipologías** de patologías más comunes:

- Adaptación o encaje.
- Cedimiento o hundimiento.
- Aplastamiento.
- Rotación.
- Movimiento del terreno.

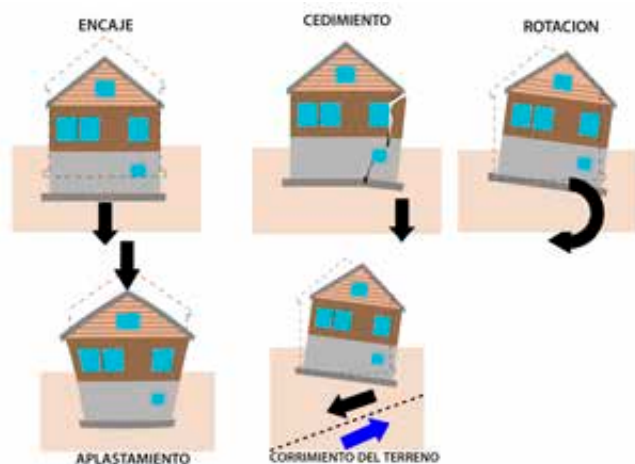


Imagen 432. Patologías comunes

I. Adaptación o encaje

Definición: las lesiones por encaje son aquellas generadas en la edificación tras el proceso de construcción inicial o de rehabilitación, motivado por alguna de las siguientes.

Causas:

- Acoplamiento de macizos o asiento relativo entre los materiales que los componen.
- Adaptación del plano de asiento tras finalización de la construcción.

Tipologías: en relación a las dos causas descritas, distinguiremos las siguientes tipologías de lesiones por adaptación:

- **Lesiones por encaje:** asentamiento relativo entre los materiales que componen un mismo elemento constructivo, los dos casos más frecuentes son:
 - Muros de carga: gruesos excesivos de mortero, en muros de fábrica.
 - Rehabilitaciones: incorrecta conexión en rehabilitaciones entre elementos antiguos y nuevos.
- **Lesiones por asiento inicial de terreno** (adaptación del plano de asiento): Adaptación de terrenos blandos tras finalización de la obra, por la sobrecarga propiciada por el nuevo edificio o incremento de estas durante su vida útil.



Gruesos excesivos mortero Ampliación muro, con incorrecta conexión

Imagen 433. Lesiones por asiento inicial del terreno

II. Cedimiento o hundimiento

Definición: las lesiones por cedimiento son aquellas generadas en la edificación tras el proceso de construcción inicial o de rehabilitación, motivado por alguna de las siguientes causas.

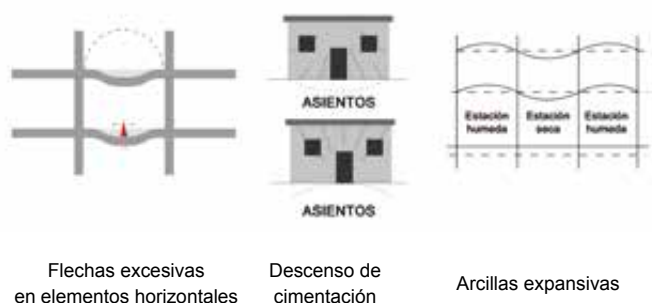


Imagen 434. Lesiones por cedimiento o hundimiento

Causas:

- Aparición de flechas excesivas en elementos horizontales sobre los que apoya uno vertical. Los elementos a los que afecta son:
 - Vigas: Fallo por flexión, cortante o torsión.
 - Forjados: Fallo por flexión o punzonamiento
- Descenso de la cimentación por hundimiento o deformación excesiva del terreno, debido a:
 - Mala elección del terreno de cimentación.
 - Fallos de proyecto: en la elección del plano de asiento o el cálculo de la cimentación.
 - Fallos en la ejecución de la obra.
 - Cambios imprevisibles en las características del suelo, como la rotura de un colector o la excavación de vaciados cercanos.
 - Aumento de las cargas de servicio del edificio.
- Suelos expansivos /arcillas expansivas

Definición: terrenos de base arcillosa ricos en montmorillonita y vermiculita, que experimentan cambios de volumen según las variaciones de su grado de humedad, sufriendo retracciones por desecación e hinchamientos por adición de agua.

Comportamiento: un terreno expansivo en continua humedad no resulta en parte peligroso, si no que su peligrosidad se hace patente cuando le falte agua. Es decir, la expansividad y las retracciones son debidas a la absorción y evaporación de agua.

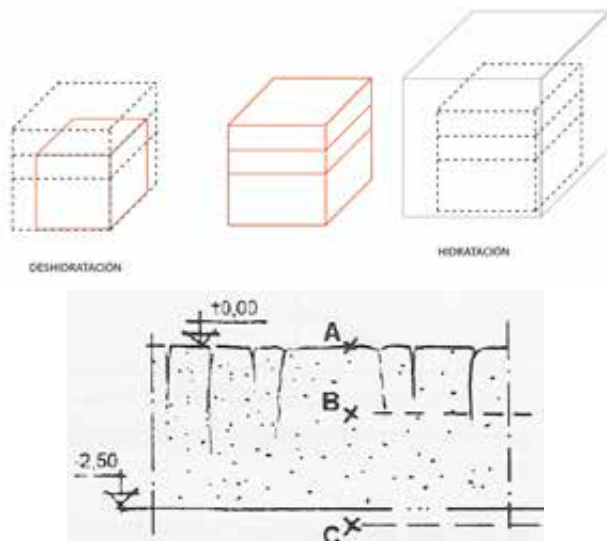


Imagen 435. Suelos expansivos/arcillas expansivas

Por ello:

- La expansividad se manifiesta con mayor intensidad en la capa más alta, ya que el terreno está sujeto a cambios bruscos de humedad.
- A medida que se desciende de estratos, la expansividad disminuye debido a la humedad constante, hasta alcanzar la profundidad a la que la humedad es constante. En España la cota normal media de los terrenos, en la que se un grado de humedad uniforme a los largo del año es de -2,50 m.

- En virtud de lo anterior puede decirse que no existe en general dentro de nuestro país problemas con las arcillas expansivas relativas al plano de asiento, por debajo de -2,50 m.

Cuando la carga es inferior a la presión de hinchamiento y se construye en época seca, al llegar la época de lluvia se hincha y eleva la edificación, apareciendo grietas que se reducen al llegar de nuevo la época de sequía. Sin embargo, el terreno nunca llegará a alcanzar el estado inicial de sequedad por estar cubierto por la edificación.

Si el movimiento diferencial entre el centro de la edificación y el borde es importante, puede producirse la ruina de la edificación.



Imagen 436. Comportamiento de un suelo expansivo

III. Aplastamiento:

Definición: reducción de los materiales a partículas de mínimas dimensiones, perdiendo totalmente su cohesión y propiedades mecánicas. Las lesiones por aplastamiento son las debidas a la rotura por exceso de la compresión admisible, fundamentalmente de elementos estructurales verticales. La sobrecarga de los elementos indicados, da lugar a la reducción de los materiales a partículas de mínimas dimensiones, perdiendo totalmente su cohesión y propiedades mecánicas.

Al objeto de estudiar de pormenorizadamente las causas que provocan las lesiones por aplastamiento, es necesario distinguir en su desarrollo, tres fases diferenciadas:

- Fase 1: Disgregación de morteros.
 - Exceso de carga.
 - Morteros defectuosos.
 - Empleo de materiales de derribo en su ejecución.
 - Factores climáticos adversos.
 - Vejez.
- Fase 2: Rotura de los materiales pétreos o cerámicos.
 - Rotura simultánea o posterior a la disgregación del mortero.
 - Rotura sin anterior disgregación de los morteros.
 - Deficiencias en la estructura mural.
 - Cochura insuficiente de los materiales.

- Fase 3: Aplastamiento.

En la práctica, la tercera fase nunca se llega a producir, sino que los efectos generados son los relacionados con las fases anteriormente descritas: disgregación de los morteros y rotura de los materiales acompañada o no de aquella. Sin embargo, En el caso de que sí llegase a producirse, el fenómeno del derrumbamiento sería instantáneo y la ruina del edificio fulminante.



Imagen 437. Aplastamiento

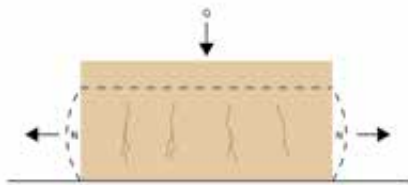


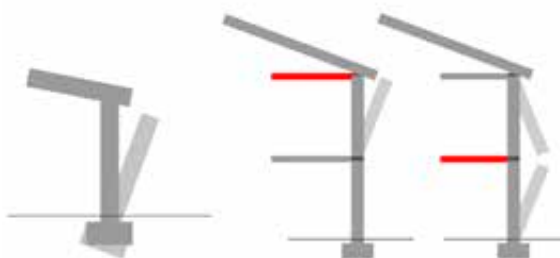
Imagen 438. Aplastamiento (esquema)

IV. Rotación

Definición: se entiende por rotación, a la desviación de los elementos constructivos respecto a su plano vertical en el que fueron construidos, medida mediante el ángulo denominado “*ángulo de rotación*”, denominándose interna o externa en función de la dirección del movimiento.

- Rotación interna: pierde la verticalidad hacia dentro (interior de la edificación).
- Rotación externa: pierde la verticalidad hacia fuera (exterior de la edificación)

Causas: las rotaciones tienen su origen fundamentalmente en dos causas de naturaleza diferenciada:



Rotación por cedimiento del plano de asiento

Rotación por empujes laterales

Imagen 439. Lesiones por rotación

- **Deslizamiento / Cedimiento del plano de asiento:** puede darse el caso de que un muro desplome (girando) a causa de un cedimiento del plano de asiento, que lo desliga de sus entregas a muros contiguos, provocando su caída por simple gravedad. En este caso se producen también grietas en los paramentos perpendiculares

al afectado, pero con trazado opuesto a las producidas por empujes.

- **Empujes laterales:** la rotura o inexistencia del arriostamiento de elementos horizontales o inclinados en la edificación, es frecuentemente origen de empujes laterales y estos de potenciales rotaciones. Dichos empujes serán debidos a:
 - Cerchas, cuchillos y armaduras, sometidas a fuertes esfuerzos oblicuos (viento en cubierta).
 - Arcos o bóvedas cuando no están atirantados.
 - Dilatación de elementos estructurales.
 - Acciones laterales producidas por terraplenes, desplazamientos del terreno, aguas subterráneas, arcillas expansivas, excavaciones próximas, etc.

V. Movimiento del terreno

Definimos empujes del terreno a las solicitaciones generadas por los distintos estratos del terreno debidas a dos causas básicas:

- Movimiento de ladera.
- Fenómenos de subsidencia y colapsos.



Imagen 440. Lesiones por movimientos del terreno

- **Movimientos de ladera:**

Desplazamiento de un estrato superior del terreno en estado seco, sobre otro en estado fluido, generándose una superficie de rotura entre ambos.

Tipologías:

- **Desprendimientos:** despegue de una masa de roca de una pared con alto grado de inclinación. Ángulo $>76^\circ$.
- **Vuelcos:** rotación hacia delante y hacia el exterior de suelo o roca con eje bajo su centro de gravedad. Ángulo $45-76^\circ$.
- **Deslizamientos y rodaduras:** desplazamiento de masa o suelo de roca sobre una o más superficie de rotura. Es característica de terrenos con inclinación $A < 45^\circ$
- **Expansiones laterales:** extensiones laterales del material que conforma el suelo o roca.
- **Flujos:** se asimila a un fluido viscoso, no conservando la masa movida su forma en el movimiento descendente. A medida que el material incorpora agua, pierde cohesión y discurre por una pendiente con mayor inclinación. Existen varias tipologías (golpes de arena y limo, avalanchas, etc.).

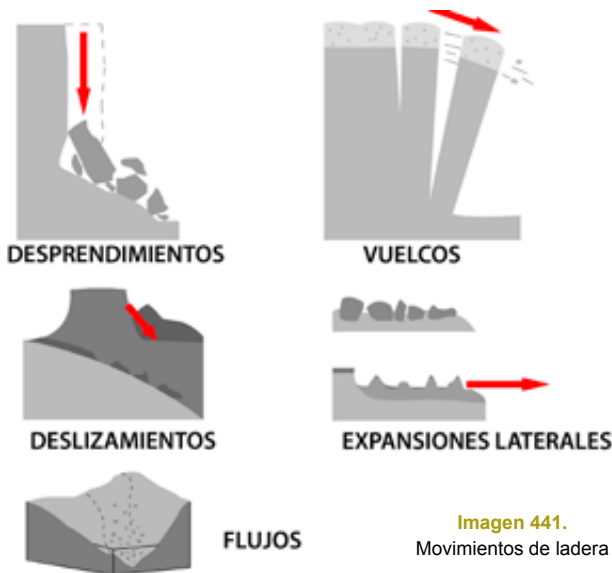


Imagen 441. Movimientos de ladera

- **Subsidiencias y colapsos:** hundimientos del terreno tanto de origen natural como inducidos por la actividad humana, distinguiendo las siguientes tipologías
 - Subsidencia: hundimiento lento y progresivo del terreno, generalmente asociada a una variación lenta del contenido de agua de los estratos blandos superficiales.

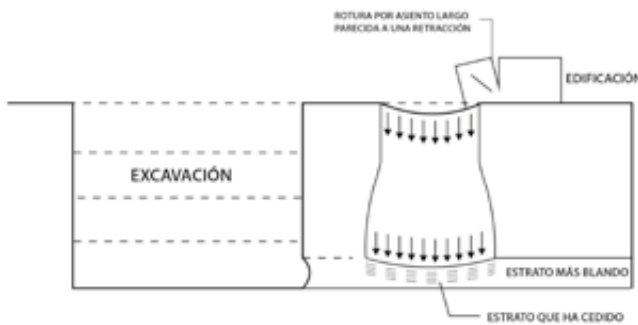


Imagen 442. Subsidencia en un terreno

- Colapso: hundimiento brusco y rápido del terreno por desaparición compactación repentina de un estrato inferior.



Imagen 443. Colapso

10.2.2. PATOLOGÍAS POR CAUSAS ACCIDENTALES - INCENDIO

a) Marco normativo

La normativa de referencia básica sobre protección contra incendios en nuestro país y por tanto, para el estudio de ambos conceptos, es el **CTE DB SI** (Código Técnico de la Edificación Documento Básico de Seguridad en caso de Incendio). Dicho documento supone el marco de aplicación de las condiciones de comportamiento ante el fuego de los productos de construcción y de los elementos constructivos, recogiendo lo dictado por el **Real Decreto 842/2013, de 31 de octubre** (deroga el RD 312/2005 de 18 de marzo): Es la norma de referencia en nuestro país en cuanto a la "Clasificación de los productos de construcción y de los elementos constructivos en función de sus propiedades de reacción y de resistencia frente al fuego". En relación al código técnico, dicha norma copia lo establecido por el RD.

Dicho real decreto, a su vez, refleja lo dictado por distintas Normas técnicas UNE-EN, siendo de especial interés lo indicado en las siguientes:

- **Norma UNE-EN 13501-1:** clasificación en función del comportamiento frente al fuego de los productos de construcción y elementos para la edificación. Parte 1: Clasificación a partir de datos obtenidos en ensayos de reacción al fuego.
- **Norma UNE-EN 13501-2:** clasificación en función del comportamiento frente al fuego de los productos de construcción y elementos para la edificación. Parte 2: Clasificación a partir de datos obtenidos de los ensayos de resistencia al fuego excluidas las instalaciones de ventilación.
- **UNE 23093 y 23727:** dichas normas están derogadas por la UNE EN 13501-1 y 2. Sin embargo, en ausencia de regulación de las mismas, se aplicarán con carácter supletorio. Tal es el caso de las cubiertas textiles, las cuales, según el CTE DB SI en su sección SI1.-Propagación interior, pto 4.3: "Reacción al fuego de los elementos constructivos, decorativos y de mobiliario", establece:
 - Los cerramientos formados por elementos textiles, tales como carpas, serán clase M2 conforme a UNE 23727:1990 "Ensayos de reacción al fuego de los materiales de construcción. Clasificación de los materiales utilizados en la construcción".

b) Parámetros básicos de estudio

Con relación al citado marco normativo, los parámetros a estudiar para deducir el comportamiento de los materiales sometidos a la acción del fuego, son dos:

- La resistencia al fuego.
- La reacción al fuego (según el material).

I. Resistencia al fuego

Definición: se entiende por tal concepto, a la mayor o menor facilidad dispuesta por un material para el avance y propagación del fuego y de sus productos: estanqueidad al fuego, estabilidad o aislamiento térmico.



Imagen 444. Resistencia al fuego

Normativa: La valoración de la resistencia al fuego de un material, se determinaba tradicionalmente mediante **UNE 23.093**, de acuerdo a la cual, los materiales eran clasificados en las categorías:

- EF: Estable al fuego
- PF: Parallamas al fuego
- RF: Resistente al fuego

Sin embargo, mediante la aprobación de la decisión eur 89/106/CEE, materializada en nuestro ordenamiento jurídico en RD 842/2013 31 de octubre y UNE-EN-13501, los materiales se clasificarán mediante el nuevo marco normativo que se plasmará con una nueva nomenclatura, jerarquizando los factores a estudiar en unas clases principales y unas clases secundarias:

REI/W (t)- MCS...

Clases principales

- R. Resistance = Resistencia
Capacidad portante de un elemento constructivo, para soportar durante un período de tiempo y sin pérdida de la estabilidad estructural, la exposición al fuego en una o más caras, bajo acciones mecánicas definidas.
- E. Integrity = Estabilidad (estanco)
Capacidad de un elemento constructivo con función separadora, para no dejar paso a llamas o gases calientes que puedan producir la ignición de la cara no expuesta al fuego del mismo o de cualquier material adyacente a esa superficie.
- I. Isolation = Aislamiento térmico
Capacidad de aislamiento de un elemento constructivo con función separadora, para soportar la exposición al fuego en un solo lado, de forma que no se supere una temperatura determinada en la cara no expuesta al fuego.

Clases secundarias

- W. Radiación (Capacidad de control/amortiguación)
Un elemento que satisface el criterio I, aislamiento térmico, también se considera que satisface el requisito W para el mismo período. Sin embargo, ciertos elementos sin capacidad I relevante debido a sus características constructivas (Ej: muros cortina), sustituirá dicha nomenclatura sobre el aislamiento térmico, por la exigencia W, en la definición de sus propiedades resistentes al fuego.

- M. Acción mecánica.
- C. Cierre automático.
- S. Estanqueidad al paso de humos.
- P o HP. Continuidad en alimentación eléctrica o de transmisión de señal.
- G. Resistencia a la combustión de hollines.
- K. Capacidad de protección contra incendios.
- D. Duración de la estabilidad a temperatura constante.
- DH. Duración de la estabilidad considerando la curva normalizada tiempo-temperatura.
- F. Funcionalidad de los extractores mecánicos de humo y calor.
- B. Funcionalidad de los extractores pasivos de humo y calor.



ESTABILIDAD + ESTANQUEIDAD A LAS LLAMAS + AISLAMIENTO TÉRMICO

R E I

Imagen 445. Resistencia al fuego

Según lectura de los anteriores epígrafes, podría entenderse que el cambio normativo descrito y que tuvo lugar en 2005, supuso una alteración traumática de la calificación de los materiales y productos de la construcción. Sin embargo, a efectos del presente manual, la transición normativa se puede circunscribir en realidad a un cambio en su nomenclatura, ya que el espíritu de lo reglamentado muestra una clara continuidad y una lógica equivalencia, entre las propiedades físicas estudiadas en el comportamiento de materiales y elementos frente al fuego:

Tabla 24. Propiedades físicas objeto de estudio

UNE 23.093				RD 312/2005		
EF	PF	RF		R	E	I
X	X	X	Mantener capacidad portante para la que ha sido instalado	X		
	X	X	No emitir gases inflamables por la cara no expuesta		X	
	X	X	Estanqueidad al paso de la llama y gases calientes		X	
		X	Evitar se produzcan en la cara no expuesta temperaturas superiores a las previstas según norma			X

La valoración de los parámetros anteriores, se expresara de las siglas correspondientes (R, E, I, EI ó REI), seguidas de un número (15, 20, 30, 45, 60, 90, 120, 180, 240 y 360) que expresa el tiempo durante el cual dicho elemento mantiene las propiedades mecánicas para las cuales fue diseñado.



Imagen 446. Reacción al fuego

II. Reacción al fuego

Definición: se entiende por tal concepto, al parámetro que nos determina la mayor o menor combustibilidad de un material, Es decir su actividad o pasividad en el proceso de iniciación y propagación de un incendio.

Normativa: si bien dicha clasificación se realizaba tradicionalmente a través de diferentes procedimientos y ensayos basados en la norma UNE 23.727, en las que los materiales se clasificaban como:

- M0 Incombustible.
- M1 Combustible No Inflamable.
- M2 Baja Inflamabilidad.
- M3 Inflamabilidad media.
- M4 Altamente inflamable.

Actualmente, la norma UNE EN 13501-1 especifica criterios de clasificación de la reacción al fuego, mediante la integración de tres parámetros (energía, humos y gotas), cuya combinación da lugar a 51 clases distintas:

Potencial energético

Existen siete clases genéricas de reacción al fuego para los productos de construcción (a excepción de los contenidos en suelos, productos lineales para aislamiento térmico de tuberías, cables eléctricos y acabados de cubiertas:

- A1 No combustible en grado máximo.
- A2 No combustible en grado menor:
- B Sin apenas contribución al incendio (muy limitada).
- C Con escasa contribución al incendio (limitada).
- D Contribución moderada al incendio (media).
- E Con contribución significativa al incendio (alta).
- F Sin determinación de propiedades (sin clasificación. Sin comportamiento determinado).

Desde el punto de vista de intervención de los servicios de bomberos, se clasificaran los materiales de construcción en dos grandes grupos:

- Las clases A1, A2 y B:
 - Corresponden a los productos incombustibles y poco combustibles.
 - Son los productos más seguros en materia de seguridad y reacción contra el fuego.
 - No producen el *flashover*.

- Las clases C, D y E:
 - Corresponden a los productos combustibles.
 - Son los productos más peligrosos en materia de seguridad y reacción contra el fuego,
 - Provocan el *flashover*, en un periodo corto de tiempo:
 - Clase C >10min
 - Clase D 2-10min
 - Clase E < 2min

Estas clases de potencial energético, van en muchos casos acompañadas de dos **subparámetros adicionales** que proporcionan información sobre la producción de humo y la caída de gotas o partículas inflamadas cuando arde el material durante el ensayo:

- **Producción de humo:** los criterios para la clasificación del subparámetro de producción de humo son la velocidad de propagación del humo y la producción total del humo. No se evalúa la toxicidad. Se definen por la letra S (*Smoke*), seguido de una numeración que marca su grado o intensidad:
 - s1 Velocidad y cantidad de emisión baja.
 - s2 Velocidad y cantidad de emisión media.
 - s3 Velocidad y cantidad de emisión elevada (todo lo no clasificado como ni s1 ni s2).
- **Caída de gotas o partículas inflamadas:** se definen por la letra D (*Drop*), seguido de una numeración que marca su grado o intensidad: Los criterios de clasificación son:
 - d0 Sin caída de gotas y partículas inflamadas en 600 segundos de ensayo;
 - d1 Sin caída de gotas y partículas inflamadas durante más de 10 segundos en 600 segundos de ensayo;
 - d2 Resto de casos (ni d0 ni d1).

Así pues, la clasificación de los materiales será la resultante de la combinación de las prestaciones en cada uno los as-

Tabla 25. Reacciones

Reacciones genéricas de los productos de la construcción (excluidos revestimientos de suelos):			Reacciones posibles de los revestimientos de suelos:	
A1			A1 _f	
A2-s1, d0	A2-s1, d1	A2-s1, d2	A2 _f -s1	A2 _f -s2
A2-s2, d0	A2-s2, d1	A2-s2, d2	B _f -s1	B _f -s2
A2-s3, d0	A2-s3, d1	A2-s3, d2	C _f -s1	C _f -s2
B-s1, d0	B-s1, d1	B-s1, d2	D _f -s1	D _f -s2
B-s2, d0	B-s2, d1	B-s2, d2	E _f	
B-s3, d0	B-s3, d1	B-s3, d2	F _f	
C-s1, d0	C-s1, d1	C-s1, d2		
C-s2, d0	C-s2, d1	C-s2, d2		
C-s3, d0	C-s3, d1	C-s3, d2		
D-s1, d0	D-s1, d1	D-s1, d2		
D-s2, d0	D-s2, d1	D-s2, d2		
D-s3, d0	D-s3, d1	D-s3, d2		
E				
E-d2				
F				

pectos recién descritos, así como la ubicación en la que será establecido: no tendrá el mismo riesgo un material ubicado en paredes o techos (importante riesgo de caída de gotas o pavesas inflamadas), que uno dispuesto en el suelo (sin riesgo caída de gotas pero con cuya emisión de gases puede condicionar una evacuación sobre él).

Dichos factores se reflejarán en la casuística de las posibles clasificaciones de las propiedades de reacción frente al fuego, de productos y de los elementos de la construcción.

Exigencias específicas:

Debido al especial riesgo de propagación de ciertas instalaciones a los materiales en ellas ubicados, se les exigirán ciertas prescripciones específicas, las cuales se definirán de acuerdo a la siguiente nomenclatura o sufijos correspondientes.

FL (*Floor*): Suelos.

L (*Line*): Tuberías.

Roof: Cubiertas.

Ca: Cables.

c) Comportamiento al fuego de los elementos estructurales

1. Según modelo estático/esquemas estructurales
2. Según materiales
3. Según tipología constructiva

I. Según modelo estático / esquema estructural

- Estructuras Isostáticas / predeterminadas: tal como hemos visto anteriormente, el incremento de tensión sufrido por supresión o fallo de cualquiera de sus elementos (barra, nudo, placa, etc.) no es capaz de ser absorbido por el resto de elementos, produciéndose el colapso de la misma. Por ello, Las tensiones aparecidas como consecuencia de un incendio o como consecuencia del fallo de uno de sus elementos, generará un hundimiento del conjunto de la estructura.
 - Aspectos positivos: son estructuras sencillas, con deformaciones fácilmente predecibles.
 - Aspectos negativos: dilataciones (los empujes no previstos, pueden afectar a la estabilidad de estructuras anexas).
- Estructuras Hiperestáticas / indeterminadas: la composición de dichos modelo de estructuras, por mayor cantidad de elementos estructurales de los necesarios generarán una seguridad añadida a las estructuras hiperestáticas, respecto las isostáticas. De manera que La aparición de solicitaciones no previstas, así como la supresión o fallo de alguno de sus elementos no conduce al colapso inmediato, generando un reparto de los esfuerzos entre los elementos estructurales no dañados, para lograr el equilibrio.
 - Aspectos positivos: reequilibrio estructural ante acciones accidentales por incendio.
 - Aspectos negativos: estructuras en ocasiones tan complejas, que impiden predecir su comportamiento y deformación.

II. Según el material

II.1. Acero

Definición: el acero estructural es un material que no se encuentra en la naturaleza, sino que es manufacturado por el hombre en empresas siderúrgicas, ampliamente utilizado en la construcción debido a sus características resistentes. Como son su alta resistencia, homogeneidad, características de sus uniones (soldabilidad), etc., dando lugar a estructuras rápidas de montar.



Imagen 447. Comportamiento del acero al fuego

Propiedades y características:

- **Masa:** baja, si bien la densidad del acero es muy superior a la de otros materiales. Los perfiles y elementos de acero son bastante ligeros en comparación con otros elementos, como el hormigón armado, ya que para soportar resistencias similares, requiere perfiles de mucho menor peso.
- **Conductividad térmica:** alta, conduce muy bien el calor. Un elemento de acero expuesto al incendio sufrirá un incremento de temperatura en toda su masa, pudiendo llegar a propagar el incendio a lugares alejados del foco inicial.
- **Coefficiente de dilatación:** alto, dilata mucho por lo que el calor del incendio hará aumentar la longitud de los elementos de acero, pudiendo producir esfuerzos importantes en toda la estructura, *pudiendo llegar incluso a ser la causa del colapso de la misma.*

*El coeficiente de dilatación térmica del acero es de $0,000012 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$. es decir, una viga de acero de 10 m. de longitud, que durante el proceso de un incendio pase de 20°C a 300°C , sufrirá una dilatación lineal de: $d = 0,000012 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} * 10 \text{ m} * 280^\circ \text{C} = 0,0336 \text{ m.} = 3,36 \text{ cm.}$*

- **Reacción al fuego:** A1, al no arder no aporta mayor carga térmica al incendio, por lo que no contribuye al inicio ni a la propagación del incendio.
- **Resistencia al fuego:** el acero como todo metal, tendrá una alta conductividad eléctrica y térmica, la cual, dará lugar a un doble efecto:
 - Disipación del calor: su alta conductividad, dará lugar a la disipación de calor, retrasando el aumento de temperatura en el punto sometido al foco de calor.
 - Pérdida de resistencia: no obstante, si el fuego sigue aumentando su calor, en un punto dado, dicha disipación térmica del acero será insuficiente para liberar el calor que le es aportado, por lo que resultará que el acero perderá de forma acusada su capacidad resistente sin pérdida alguna de sección.

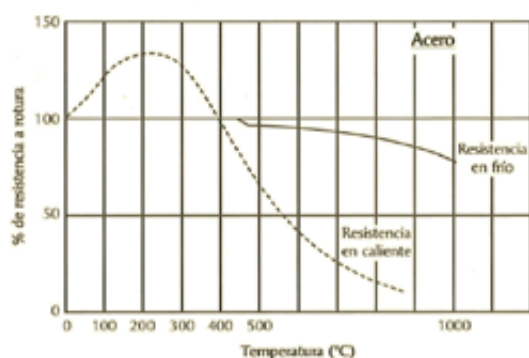


Imagen 448. Gráfica de resistencia al fuego

- 300°C: T^a a partir de la cual se inicia el proceso de la pérdida de resistencia
- Entre 500 y 600° C: Disminución de su resistencia hasta 2/3 del total.
- Entre los 600 y 700° C: Disminución de su resistencia hasta 1/3 del total.
- A partir de los 538° C, denominado "punto crítico", la caída de la resistencia ya es muy acusada (por encima del 50%), La estructura no puede soportar la carga de diseño y puede presentarse el colapso en cualquier instante.

Decimos, por tanto, que el acero es un material que proporciona una falsa seguridad estructural frente al fuego, dado que, si bien funde a temperaturas de unos 1300-1400° C, a temperaturas mucho menores pierde su resistencia, e incluso colapsa.

- **Tiempos de colapso:** si bien no hay dos estructuras exactamente iguales (luces, esbeltez, nudos, etc.), consideraremos *con* carácter general, que las condiciones teóricas de colapso se alcanzarán a partir de los 500°C, las cuales se lograrán en un tiempo teórico de unos 5 minutos en ensayos de laboratorio y en un periodo de entre 10 y 20 minutos en un incendio real. Debiendo particularizar para los diferentes modelos estáticos de estructuras: isostáticas o hiperestáticas, así como para la geometría expuesta al fuego.
- **Geometría expuesta al fuego:** alta. suelen tener una gran cantidad de superficie expuesta a la carga térmica,

debido a que los perfiles de acero suelen caracterizarse por secciones de pequeño espesor que se adaptan a las distintas necesidades resistentes, por lo que toda la masa de acero aumenta de temperatura con gran facilidad.

Para tratar de comprender el comportamiento de cada elemento, resultará muy eficaz el conocimiento de su factor de forma o masividad, relación entre el perímetro del elemento expuesto al fuego, respecto al área total del perfil (m-1). En relación a dicho parámetro:

- Las piezas de de gran sección se muestran más estables, que piezas de poca sección, como suelen ser cerchas, vigas en celosía, etc.
- A igualdad de área de sección, la absorción de calor es más lenta en perfiles/secciones cerrados (tubulares o en cajón) que en perfiles/secciones abiertas.
- Las piezas más sensibles ante un incendio serán las más esbeltas (alargadas y de poca sección), generándose el colapso por pandeo.



Tiempos de colapso de un HEB-300, según la geometría expuesta al fuego:

- 4 caras → 11 minutos
- 3 caras → 12 minutos
- 2 caras → 20 minutos
- 1 cara → 31 minutos

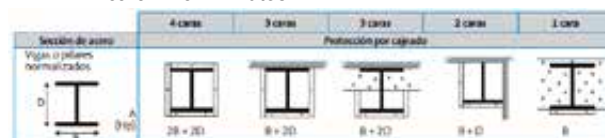


Imagen 449. Exposición de perfil al fuego de perfil HEB

Los factores positivos y negativos de las estructuras metálicas en general son los siguientes:

Positivos:

- Reacción al fuego: no son combustibles, no generan flash-over y no participan en la propagación del incendio, Aunque pueden transmitir por conducción el calor a otro punto.
- Deformaciones: su importante coeficiente de dilatación térmica, es un indicador de su evolución, donde Las grandes deformaciones avisan de la evolución de su comportamiento previamente a su hundimiento.

Negativos:

- Resistencia: pérdida acusada de su resistencia a gran velocidad, por lo que han de estar recubiertas por elementos de protección específicos para prevenir una situación de colapso.
- Dilataciones y contracciones: los fuertes empujes y arrastres y giros no previstos en el cálculo de la estructura, pueden llegar a generar el derrumbe o desplome de otros elementos constructivos en contacto con ella (cerramientos, instalaciones, etc.) o estructuras colindantes.



Imagen 450. Arrastre de muro de bloque de hormigón por estructura de acero afectada por incendio

Conclusiones ante potenciales intervenciones de bomberos:

- **Peligrosidad:** aunque el acero es incombustible, es el material estructural más peligroso para los bomberos, ya que Pierde la resistencia a gran velocidad en un incendio ordinario de interior.
- **Colapso por dilataciones:** dilata fácilmente con el calor, de forma que puede provocar un desplome repentino debido a la ruptura o desplazamiento de los apoyos de las vigas.
- **Refrigeración:** en cualquier incendio, siempre se deben refrigerar las estructuras de acero para evitar que se alcancen temperaturas elevadas y se produzcan los efectos ya comentados. No obstante, si ya se encuentran a altas temperaturas, se deberán los enfriamientos bruscos de las mismas; ya que aunque el mayor peligro de colapso se produce por aumento de la temperatura, su posterior enfriamiento puede producir daños que generen igualmente el colapso de esta.

II.2. Hormigón

- **Masa:** alta. la elevada masividad y densidad de los elementos de hormigón, requiriendo gran cantidad de calor para aumentar su temperatura.
- **Conductividad térmica:** baja, reduciéndose la zona de influencia del calor al área directamente afectado por el foco.
- **Coefficiente de dilatación:** baja, al ser un material pétreo. el calor del incendio no se propagará a lugares alejados del foco de calor, ni producirá dilataciones tan importantes como en los elementos de acero.



Imagen 451. Comportamiento al fuego del hormigón

- **Reacción al fuego:** M0 o A1, al no arder no aporta mayor carga térmica al incendio, por lo que No contribuye al inicio ni a la propagación del incendio.
- **Resistencia mecánica al calor:** baja. el hormigón armado pierde resistencia con el aumento de temperatura de forma similar al acero:
 - 300° C: comienza la pérdida de resistencia.
 - 500° C: pérdida del 50% de la resistencia inicial.
 - 600° C: se produce una fuerte expansión de los áridos, momento a partir del cual el hormigón se comporta como un material frágil.
 - 1000° C: la grava se disgrega y el cemento se deshidrata, a velocidades de 4 cm/hora, mientras que las armaduras, en el caso de los hormigones armados al colapsar a temperaturas mucho menores, habrán ya dejado de cumplir su función en dicho punto.

Normalmente la pérdida de resistencia se acompaña de un cambio de color en la masa del hormigón:

- Hasta los 200-300° C, hormigón mantiene su color gris original y el total de su resistencia.
- Entre los 300 y los 600 °C, el hormigón adquiere tonos rojizos, variando del rosa al rojo a medida que aumenta la temperatura. El hormigón comienza a verse afectado pero permanece sano en un alto porcentaje.
- Entre 600 y 900° C cambia a un segundo gris con partículas rojas. La pérdida de resistencia hormigón afectado es ya muy importante.
- A partir de 900° C adquiere un color ante o amarillo pálido. Su resistencia es prácticamente nula.

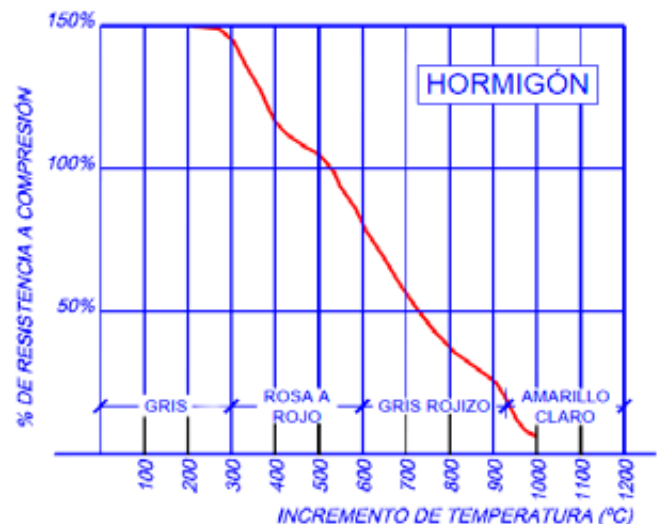


Imagen 452. Resistencia mecánica al calor

- **Geometría / Superficie expuesta:** con carácter general, los elementos de hormigón suelen tener secciones rectangulares. Dicha geometría propicia una menor exposición del material ante el potencial incendio que en el caso del acero estructural, por lo que en las presentes secciones, El factor de forma o masividad es un parámetro menos determinante en el diseño, que en el caso de los productos siderúrgicos.

- **Esfuerzos:** las resistencias más afectadas ante el fuego, son la tracción y la flexión, debido al colapso de las armaduras. En cambio, esta afección es menos acusada, considerándose que por encima de los 800° C, deja de tener una cuantía viable por afección del carbono estructural del hormigón, debiendo procederse a su sustitución.
- **Tipologías de hormigón:** el hormigón presenta la mejor resistencia al fuego de todos los materiales estructurales encontrados en edificaciones ordinarias, siendo de tal versatilidad que incluso se utiliza como elemento de protección de otros materiales frente al fuego.

Para un análisis más exhaustivo, evaluaremos su comportamiento en función de las modalidades constructivas existentes:

II.2.1. Hormigón armado

Los factores positivos y negativos de las estructuras de HA son los siguientes:

Positivos:

- No son combustibles y, por tanto, no contribuyen al aumento de la carga térmica del local.
- No propagan el calor con facilidad, debido a su baja conductividad térmica.
- Aunque el calor provoca dilataciones finales del hormigón iguales a las del acero, aquellas son mucho más lentas, facilitando con ello una redistribución gradual de esfuerzos en la estructura.

Negativos:

- Disminución de la resistencia del hormigón cuando su temperatura supera los 380° C durante períodos prolongados.
- Aunque en un incendio no es frecuente el colapso y derrumbamiento de las estructuras de hormigón armado, este puede llegar a producirse debido fundamentalmente a procesos termomecánicos (asociado a dilataciones térmicas diferentes) y termohidráulicos (asociado a un aumento de la presión interna del vapor de agua retenido en los poros). Dado que los dos fenómenos tienen lugar de forma simultánea, afirmaremos que el proceso de colapso de los elementos de hormigón armado se debe a procesos termohidromecánicos.

II.2.2. Hormigón pretensado

El hormigón pretensado supone uno de los productos más apreciados en la construcción debido a sus especiales cualidades resistentes, por ello, podemos localizarlo en productos como viguetas de forjados, vigas y cerchas prefabricadas, etc.



Imagen 453. Comportamiento al fuego del hormigón pretensado

Su comportamiento ante el fuego difiere del hormigón armado, siendo netamente peor:

- La ejecución de elementos prefabricados suele realizarse con alambres de acero en vez de armaduras, por lo que, en caso de afección, su menor diámetro propicia un colapso mucho más rápido.
- El proceso comienza de manera análoga al hormigón armado a partir de los 300° C, momento a partir del cual:
 - La pérdida de resistencia es mucho más acusada que en el caso del hormigón armado, dependiendo la dosificación del hormigón, cuantía de acero, tensiones de pretensado y esfuerzos soportados por el elemento constructivo (son más sensibles los elementos a tracción y flexión que los sometidos a compresión simple).
 - Cuando las armaduras pretensadas se ven afectadas por altas temperaturas, se deforman rápidamente, liberan la tensión de pretensado adquirida durante la fabricación del elemento constructivo y reducen notablemente la capacidad estructural del elemento en cuestión. Dichas tensiones de pretensado no se recuperarán una vez enfriado el acero.
- De manera orientativa, cuando el hormigón sufre pérdidas del 35%, el acero de pretensado pierde el 60-70% de su capacidad portante.

II.2.3. Hormigón postensado

De manera análoga al hormigón pretensado, el comportamiento del hormigón postensado es netamente peor que el armado. Pero incluso en el caso del postensado es aún peor que el pretensado, dado que el acero se coloca embebido en vainas de dos maneras distintas:

- Armados adherentes: tendones de acero rodeados de lechada dentro de las vainas.
- Armados no adherentes: armadura sin lechada, y sin ninguna protección al fuego específica dentro de la vaina, por lo que la protección al fuego de los armados es mínima; y por tanto potenciales puntos de colapso del elemento constructivo.



Imagen 454. Comportamiento al fuego del hormigón postensado

II.3. Fábrica

- **Masa:** alta, suelen ser elementos muy másicos, por lo que tienen gran inercia térmica, por lo que necesitan una gran carga de fuego para proceder a un incremento severo de su temperatura.
- **Conductividad térmica:** baja, conducen mal el calor, por lo que un elemento de fábrica expuesto al incendio, sufrirá un incremento considerable de la temperatura tan sólo en la parte afectada.
- **Coefficiente de dilatación:** bajo, dilata muy poco al estar hechas de materiales pétreos o cerámicos, por lo que no se producirán esfuerzos debidos a dilataciones en lugares alejados del foco de calor.
- **Reacción al fuego/ Combustibilidad:** no combustible. Suelen estar realizados de materiales incombustibles tales como ladrillo cerámico, hormigón, piedra natural, etc., no contribuyendo a la iniciación o propagación del incendio.
- **Resistencia al fuego:**
 - Alta: si el muro está compuesto por materiales pétreos, piedra, sillería, ladrillos con bajo índice de huecos, etc.
 - Media/baja: si el muro está realizado en hormigón, ladrillos con alto índice de huecos, etc.
- **Geometría / superficie expuesta:** alta, suele construirse en grandes paños superficiales y elementos longitudinales, por lo que suelen tener una gran exposición al incendio.

Los aspectos positivos y negativos de las estructuras de fábrica ante el fuego son:

Aspectos positivos: los elementos estructurales contruidos de fabrica, mantienen durante mucho tiempo su capacidad portante al verse afectados por la acción del fuego, debido a que El espesor de sus muros y su propia inercia térmica les confiere un buen grado de seguridad frente al incendio. Como regla general, en estructuras entramadas de madera, colapsara previamente un forjado que una fachada de fábrica.



Imagen 455. Muros de fábrica en pie tras colapso de forjado superior

Aspectos negativos:

- En caso de hundimiento de varios forjados, puede existir peligro de desplome de muros de fábrica por falta de arriostamiento y trabazón entre ellos.
- Si el incendio tiene una magnitud considerable, al tener una mala conductividad térmica, provocará una dilata-

ción diferencial entre sus caras expuestas y no expuestas a la acción del incendio, provocando una caída por desplome hacia su cara fría.

- Ciertos elementos pétreos naturales, expuestos a grandes cargas térmicas durante tiempos muy prolongados generarán roturas de las aristas debido a las tensiones internas y, en algunos casos, deformaciones por el aumento de volumen.

II.4. Madera

Masa: baja, densidad baja, no requiriendo gran carga térmica para lograr el aumento de la temperatura. La humedad de la pieza retrasará el incremento de temperatura.

- **Conductividad térmica:** baja, la madera expuesta al fuego sufrirá un incremento de la temperatura tan solo en la parte afectada, no contribuyendo a la transmisión del calor a través de su masa.
- **Coefficiente de dilatación:** bajo, dilata muy poco, por lo que la carga de fuego no aumentará la longitud de elementos de madera, no produciéndose tensiones adicionales por alargamientos excesivos.
- **Reacción al fuego:** alta, al arder contribuirá a la carga térmica del incendio.
- **Resistencia al fuego:** alta, A diferencia de los materiales cuyo comportamiento frente al fuego se estudia en el presente epígrafe, la madera no pierde resistencia frente al fuego, sino que la gana: Los dos factores fundamentales para comprender el comportamiento resistente de la madera son la dirección de las fibras y el contenido de humedad (a menor humedad, mayor resistencia). Si atendemos a las resistencias de la madera, sus datos se obtienen para valores medios del 12% de humedad, por lo que la evidente disminución de humedad en un incendio generararán un aumento de su resistencia nominal. Frente al comportamiento teórico anterior, la madera sí que sufre una reducción de la resistencia total del elemento por destrucción de la sección resistente (carbonización en capas concéntricas del exterior hacia el interior), la cual se ha estimado en 1cm / 15 minutos.
- **Forma / superficie expuesta:** baja. al no tener secciones abiertas, la cantidad de superficie expuesta es relativamente pequeña: piezas de madera alargadas y con secciones rectangulares.



Imagen 456. Comportamiento al fuego de la madera

Los aspectos positivos y negativos de las estructuras de fábrica frente al fuego son:

Aspectos positivos:

- La madera no pierde propiedades resistentes al ser atacada por el fuego.
- No provocan esfuerzos adicionales por dilatación de sus elementos.
- Las estructuras fallan por carbonización de la sección resistente, cuantificable por medios organolépticos.
- Las estructuras son habitualmente (salvo cerchas y cu-chillos) isostáticas y de poca altura y complejidad, lo que facilita su control y evolución.

Aspectos negativos:

- Son combustibles y medianamente inflamables
- Contribuyen a aumentar la carga térmica.
- Participan en la propagación del fuego.
- Pueden tener vicios ocultos importantes como carcoma, pudriciones, etc. y uniones metálicas.



Imagen 457. Estructura de fábrica tras incendio

d) Elementos de protección contra el fuego

Dado que el efecto inmediato de los incendios es la potencial afección a la estabilidad estructural, se debe tratar de proteger con un doble objetivo:

- Evitar el desplome o derrumbamiento de la estructura resistente.
- Evitar la propagación del fuego a otras zonas no afectadas por él, mediante la ubicación de paramentos resistentes al fuego (forjados y tabiques).

Si bien existen multitud de productos de protección de elementos constructivos e instalaciones, los sistemas más frecuentes son las siguientes tipologías:

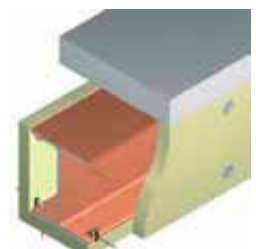
I. Sistemas de protección estructural:

I.1. Sistemas básicos

- **Recubrimiento con paneles ignífugos:** paneles de cartón yeso configurados en forma de cajón entorno a los elementos de acero. El espesor del recubrimiento de planchas dependerá de las características de la plancha a utilizar y de la resistencia al fuego requerida para el elemento estructural.
- **Pinturas intumescentes:** pinturas inertes a bajas temperaturas pero que reaccionan a temperaturas superiores a los 200°C, generando una película protectora en forma de esponja que aumenta hasta 50 veces su espesor inicial otorgando una importante aislación térmica que mejora la resistencia al fuego del elemento protegido. Dicha solución es eficaz para protecciones hasta 60 minutos, siendo más económico el mortero a partir de dicha temperatura. El tiempo máximo de protección, en el mejor de los casos, es de 120 minutos.
- **Protección sólida:** macizo de hormigón en masa, que envuelve a los elementos estructurales con la única función de incrementar la resistencia y la reacción al fuego. El espesor de recubrimiento dependerá de la resistencia exigida al elemento estructural.
- **Morteros:** morteros tradicionales o con aditivos (como perlita o vermiculita) aplicados en el contorno de los perfiles a proteger y que mejoran sensiblemente su resistencia al fuego. Se puede aplicar bien con mallas o elementos de anclaje mecánico, así como en modo proyectado. Su aplicación sigue la geometría del elemento permitiendo un control preciso de los espesores, agregando escaso volumen y masa a la estructura. La aplicación se puede hacer parcialmente en taller.



Paneles ignífugos



Paneles de lana de roca



Pinturas
intumescentes



Morteros



Protecciones sólidas

Imagen 458. Sistemas básicos de protección estructural

- **Filmes o mantas:** mantas de fibra cerámica y de lana de roca (lana mineral) aplicados para la protección de es perfiles metálicos. En perfiles de alma superior a 150 mm deberán tener una malla auxiliar que evite las deformaciones y apertura de los o empalmes.

I.2. Sistemas complementarios

- **Estructuras externas:** en general, los riesgos de incendio provienen del interior de las edificaciones, por lo que se deben cuidar especialmente las estructuras que están confinadas al espacio interior. Una solución interesante es diseñar la edificación con su estructura soportante (o parte de ella) al exterior del edificio, limitando o reduciendo los requerimientos de protección pasiva.
- **Recubrimientos con albañilerías:** solución frecuentemente aplicada en a principios del siglo XX, como protección de entramados de madera a base de fábricas de ladrillo o bloque de hormigón, tanto en edificios singulares como en estructuras de acero.
- **Pantallas:** las tabiquerías interiores y/o perimetrales de un edificio así como los cielos falsos ofrecen la oportunidad de aportar protección frente al fuego en la medida que puedan asegurar la integridad, el aislamiento y la estabilidad del conjunto.
- **Relleno de perfiles tubulares huecos:** con frecuencia se puede aprovechar el espacio interior de los perfiles tubulares para rellenarlos con elementos que actúen como masa térmica absorbiendo parte de la energía del calor proveniente del incendio. Hay experiencias con hormigones, hormigón celular e incluso agua (en este último caso asociado a sistemas de recirculación y enfriamiento del agua).



Estructuras exteriores



Recubrimiento albañilería



Pantallas

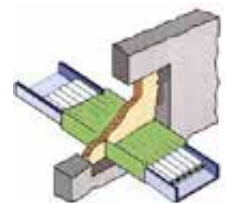
Imagen 459. Relleno de perfiles tubulares huecos

número de metros, permite realizar cortafuegos en las grandes longitudes de las galerías de cables, evitando la propagación del incendio.

- Almohadillas intumescentes para sellado de paso de bandejas de cables: cuando se prevén cambios frecuentes en los cables o huecos de paso de las instalaciones eléctricas, la aplicación de las almohadillas intumescentes ahorra tiempo y costes de reposición.
- Sistema de placas para creación de conductos resistentes al fuego: eventualmente es posible realizar conductos cerrados mediante paneles resistentes al fuego, por dentro de los cuales discurren las bandejas de cables, formando así un sector de incendios independiente.
- Collarines intumescentes para tuberías inflamables para sellado de tuberías: las tuberías de plástico y derivados son combustibles y, en caso de incendio, se convierten en unos peligrosos puntos de transmisión de humos, calor, etc. Los collarines intumescentes se instalan abrazando a la tubería combustible en su punto de unión con el paso entre dos sectores. Cuando el fuego actúa, y empieza a fundir la tubería, el material del collarín se dilata y estrangula el paso de la tubería, sellando de ese modo el hueco e impidiendo el paso de calor, humos y gases.
- Conductos de ventilación: fabricación de conductos incombustibles y sistemas de obturación a base de:
 - Sistema de placas de fibrosilicatos.
 - Paneles de lana de roca rígida.
 - Rejillas intumescentes.
 - Compuertas cortafuegos.



Cortafuegos lineales



Almohadillas intumescentes



Collarines intumescentes



Conductos de ventilación



Compuertas cortafuegos

Imagen 460. Sistemas de Protección contra la propagación de incendios en instalaciones

II. Sistemas de Protección contra la propagación de incendios en instalaciones

- Cortafuegos lineales en bandejas de cables: la aplicación de revestimiento resistente al fuego cada cierto