

# Construcción



### 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:

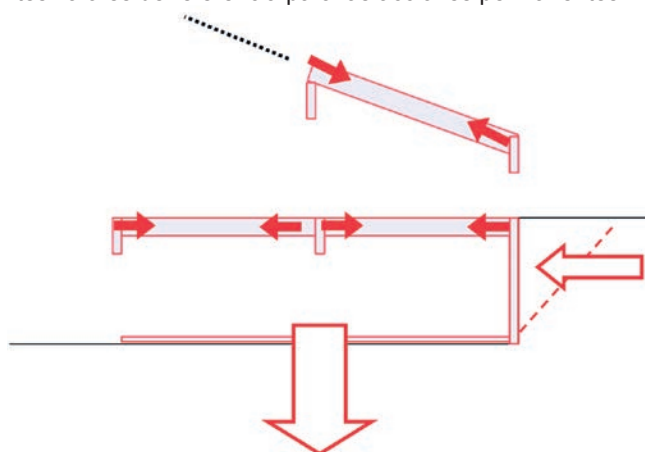


Imagen 14. Acciones permanentes

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 ( $\text{kN/m}^2$ ) o concentradas ( $\text{kN}$ ), 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  $\text{kN/m}$  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  $\text{kN/m}$ .

### 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  $\text{kN/m}^2$ .

### 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.



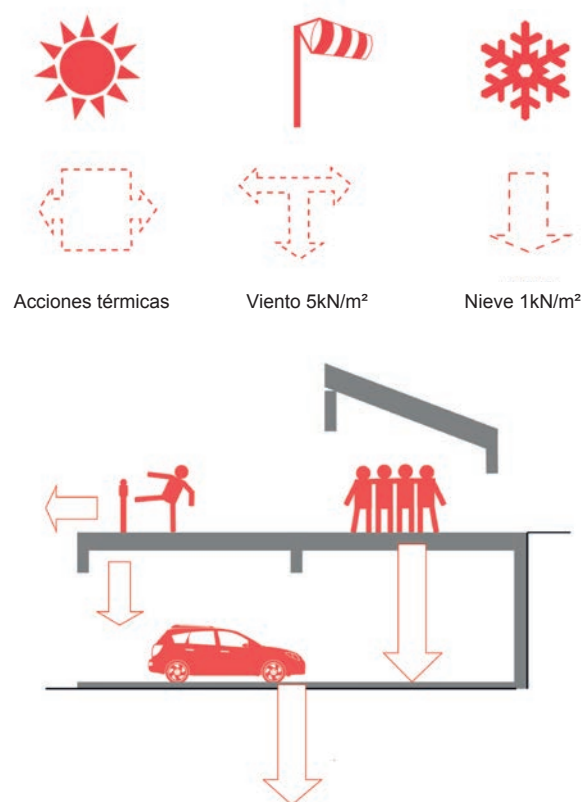
Las deformaciones debidas a las temperaturas conducen a esfuerzos y tensiones en otros elementos constructivos vecinos, por lo que, de manera análoga a las acciones de los pretensados, ante una potencial una intervención de emergencia únicamente deberemos centrarnos en la búsqueda de existan o no de 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  $\text{kN/m}^2$ .



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 $\text{kN/m}^2$	2 $\text{kN/m}^2$
	Cubiertas sin uso público	1 $\text{kN/m}^2$	2 $\text{kN/m}^2$
Acceso público	Uso Comercial, pública concurrencia (zonas de aglomeración), etc	5 $\text{kN/m}^2$	7 $\text{kN/m}^2$
Acceso vehículos ligeros	Áreas circulación y aparcamiento	2 $\text{kN/m}^2$	20 $\text{kN/m}^2$

## 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.

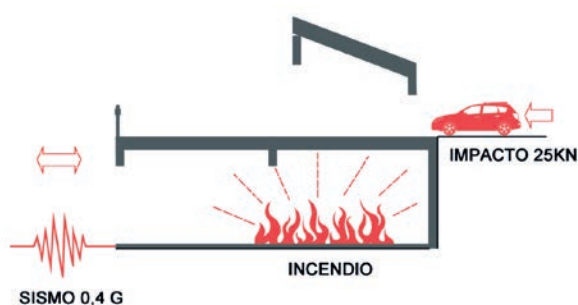


Imagen 19. Impacto de vehículos hasta 30 kN

## 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.

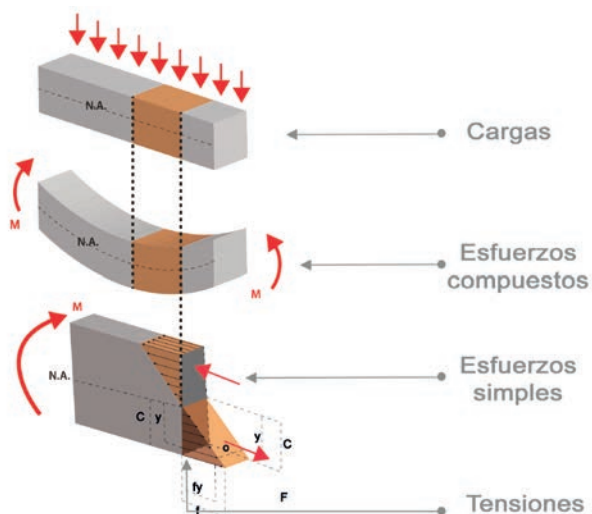


Imagen 20. Esfuerzos/ Tensiones

**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  $\text{N/mm}^2$ ; ( $1 \text{ N/mm}^2 = 1 \text{ Kg/cm}^2 = 1 \text{ MPA}$ ).

### 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.

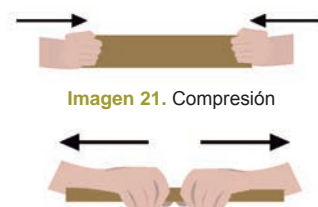


Imagen 21. Compresión

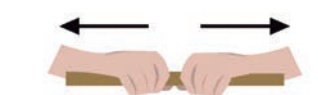


Imagen 22. Tracción

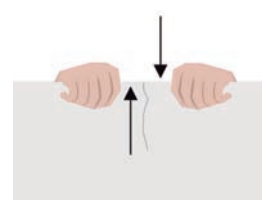


Imagen 23. Cortante

## 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.

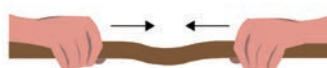


Imagen 24. Flexión



Imagen 26. Torsión



Imagen 25. Pandeo

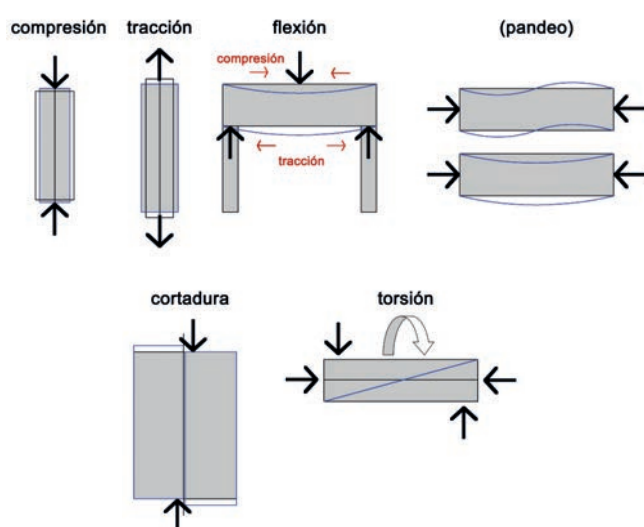


Imagen 27. Esfuerzos más comunes en edificación

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:

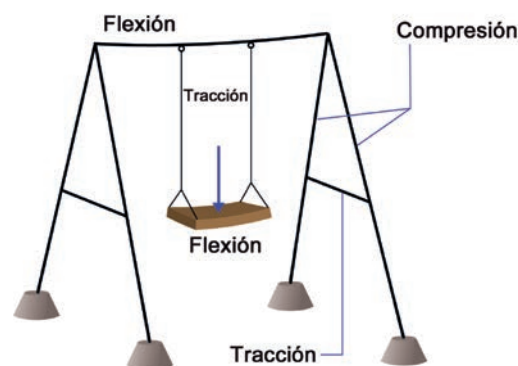


Imagen 28. Ejemplo del columpio

**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.

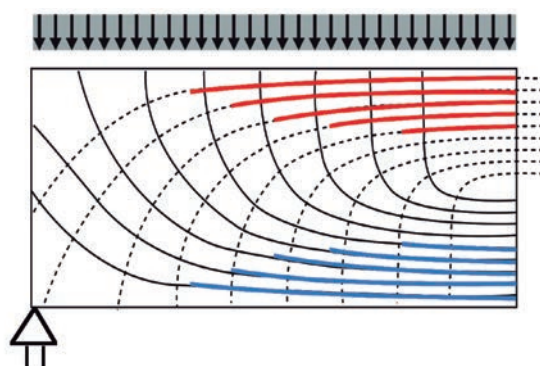


Imagen 29. Viga apoyada/articulada

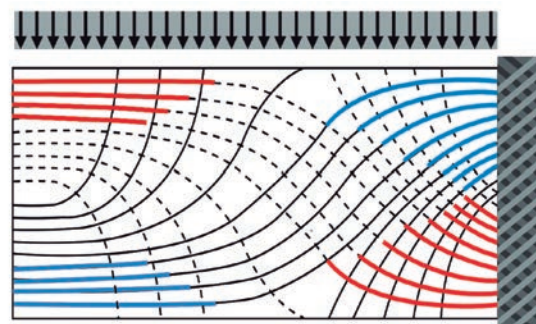
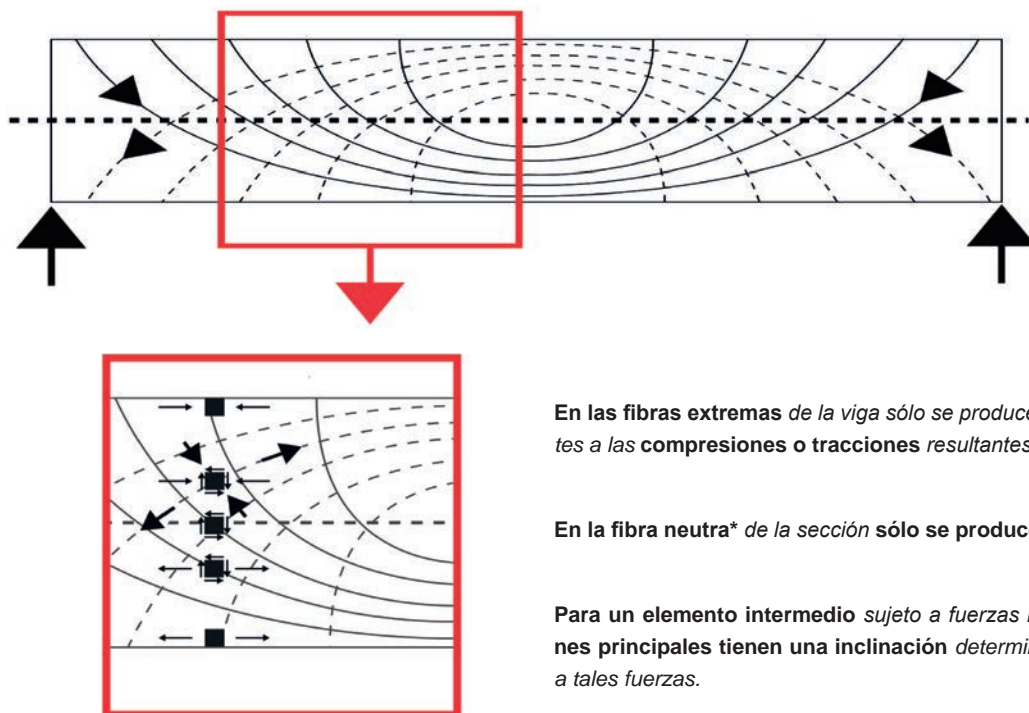


Imagen 30. Viga empotrada



- **Cortantes y Flexiones:**

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



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.

Imagen 31. Cortantes y flexiones

\*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 trabajen 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 grá-

fica 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.

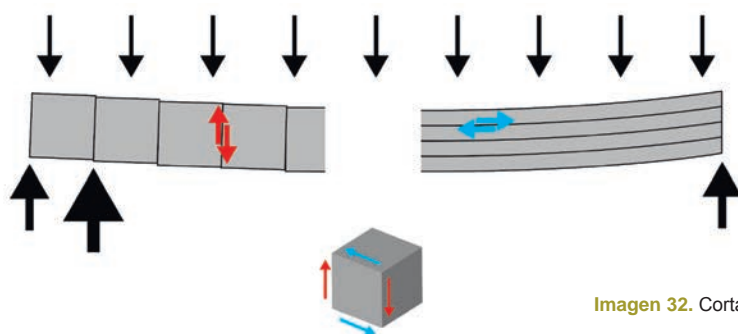


Imagen 32. Cortantes verticales+horizontales

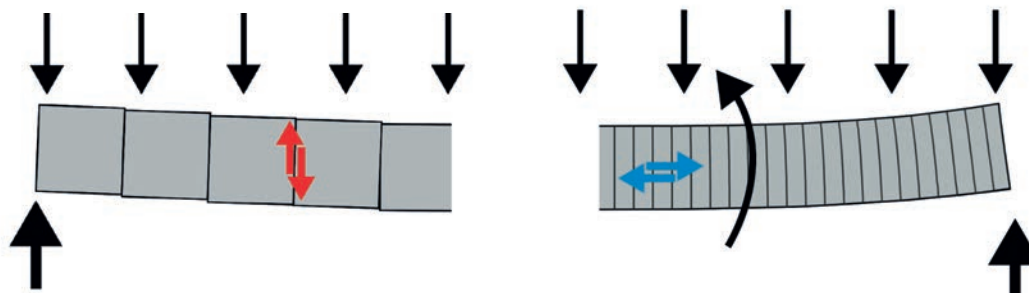


Imagen 33. Cortante y flexión

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.

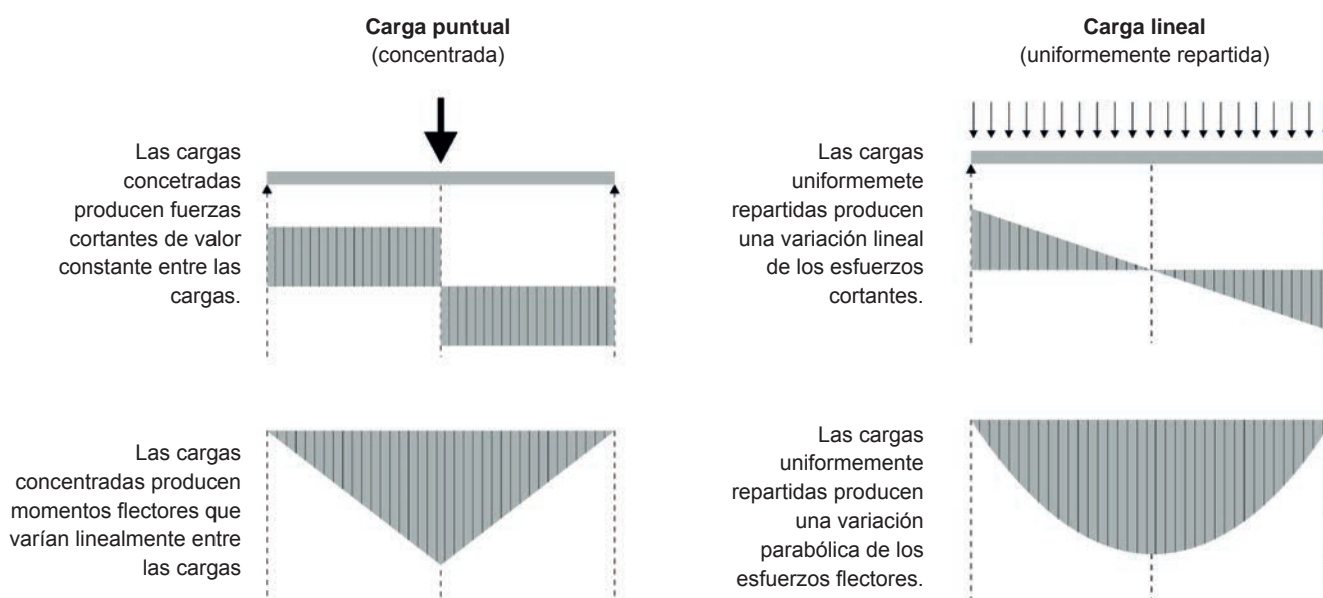


Imagen 34. Carga puntual / carga lineal

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:

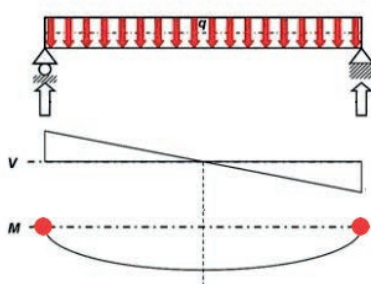


Imagen 35. Viga articulada-apoyada 1 m.

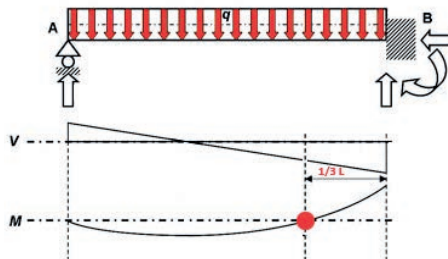


Imagen 36. Viga articulada-empotrada

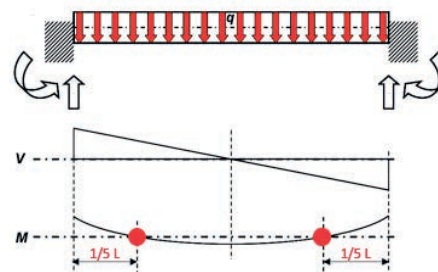


Imagen 37. Viga empotrada-empotrada

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.





### 5.1.1. 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
<b>Sueltas</b>	<b>Compactas</b>	
Gravas →	Conglomerados	• Arcilla
Arenas →	Arenisca	• Caliza
Limos →	Lutita	• Yeso

#### DENDRÍTICAS

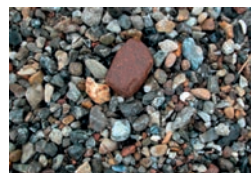


Imagen 40. Gravass



Imagen 41. Conglomerados

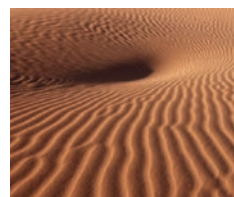


Imagen 42. Arenas



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)
<b>Gravas</b> →	2,0 – 60,0	<b>Limos</b> →	0,002-0,060
<b>Arenas</b> →	0,06-2,00	<b>Arcillas</b> →	< 0,002

**b.1.1. Gravas:** 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.

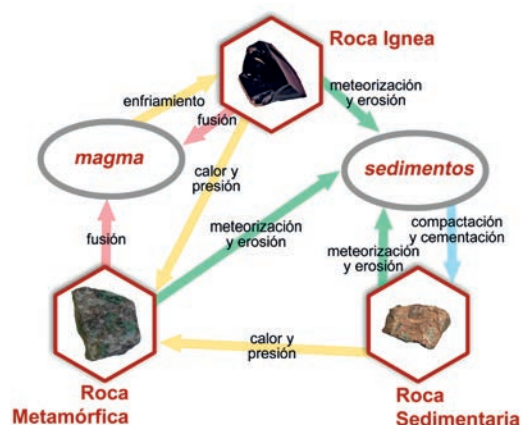


Imagen 49. Reacciones químicas

**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/m<sup>3</sup>, 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/mm<sup>2</sup>. 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.

### I.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 revocos así como pasta de agarre y de juntas.

#### Propiedades:

- **Densidad:** 15 kN/m<sup>3</sup>.
- **Resistencia:** muy baja  $\geq 2$  N/mm<sup>2</sup>.
- **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.



Imagen 54. Tipos de yeso

- **Cal grasa/Cal aérea/Cal:**

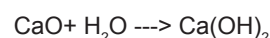
**Definición:** óxido de calcio alcalino y de color blanco, obtenido a partir de la calcinación de la piedra caliza obtenida en yacimientos denominados “caliches”. Si la piedra caliza es pura o tiene un contenido máximo en arcilla de un 5% produce una clase de cal muy blanca (cal grasa o aérea), que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



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

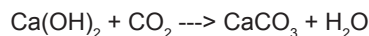
#### Propiedades:

- **Densidad:** 13kN/m<sup>3</sup>.
- **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)<sub>2</sub>).



*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)<sub>2</sub>)



Carbonato de calcio (CaCO<sub>3</sub>)

Imagen 56. Tipos de cal

### I.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:

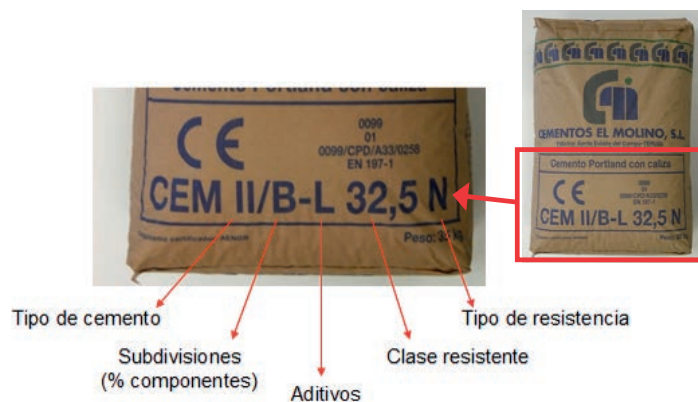


Imagen 57. Nomenclatura del cemento

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: Puzzolana natural Q: Puzzolana natural calcinada V: Ceniza volante de sílices W: Ceniza volante calcárea T: Esquistos calcinados-> L, LL: Caliza
CEM I: Cemento portland		
CEM II: Cemento portland con aditivos	M: Cementos portland compuestos.	
CEM III: Cemento con escorias de alto horno	I, II, III, IV, V (sin las letras CEM):	
CEM IV: Cemento puzzolánico	Cementos con características adicionales.	
CEM V: Cemento compuesto		
CLASE RESISTENTE (Resistencia a compresión en N/mm <sup>2</sup> )		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.

### I.2.3. Conglomerantes hidracarbonatados 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

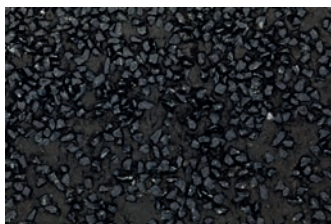


Imagen 59. Betún



Imagen 60. Asfalto

### I.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 formáceos como en la fabricación de los elementos de fábrica.

**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

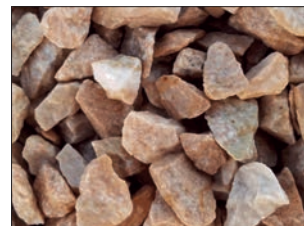


Imagen 62. Áridos triturados



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	

## 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  $\geq 5$

Sulfatos ( $\text{SO}_4$ )  $\leq 1$  gramo por litro

Ión Cloruros ( $\text{CL}^-$ ):

Hormigón pretensado:  
 $\leq 1$  gramo por litro

Hormigón en masa o armado:  
 $\leq 3$  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 dicho 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 contener 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

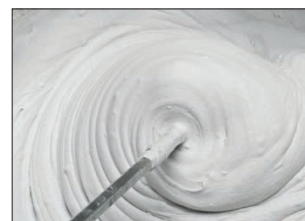


Imagen 65. Pasta de yeso



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  $\text{N/mm}^2$ : M-1; M-2,5; M-5; M-7,5; M-10; M-15; M-20.





Imagen 70. Saco mortero



Mortero

Resistencia

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)

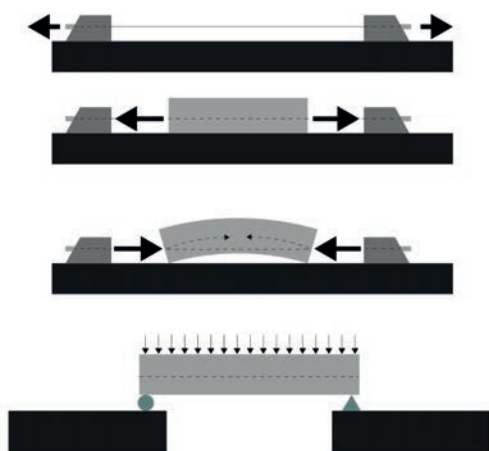


Imagen 75. Pretensados

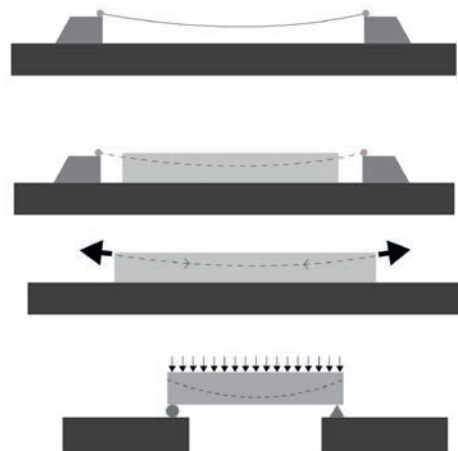


Imagen 76. Postensados

### Pretensados

1. Tendido 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. Tendido 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 pretesos 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/mm<sup>2</sup> 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:  $\geq 20$  (20, 25, 30) N/mm<sup>2</sup>
- HA:  $\geq 25$  (25, 30, 35, 40, 45, 50) N/mm<sup>2</sup>
- HP:  $\geq 25$ , pero se suele utilizar  $\geq 35$  (25, 30, 35, 40, 45, 50) N/mm<sup>2</sup>

- 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:

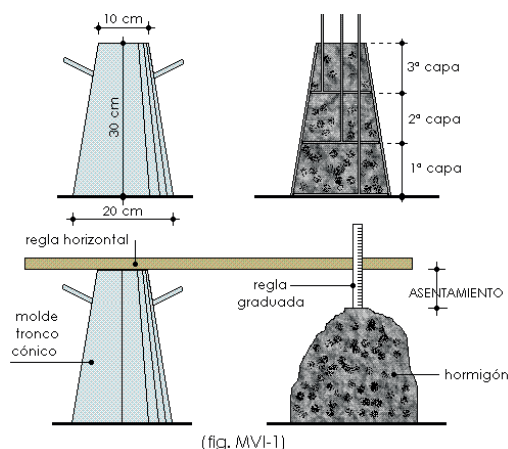


Imagen 79. Cono Abrams

**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/mm<sup>2</sup> 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

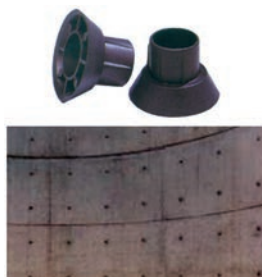


Imagen 86. Pasadores

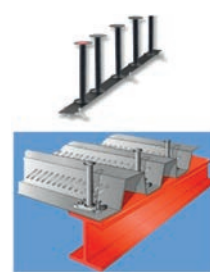


Imagen 87. Conectores

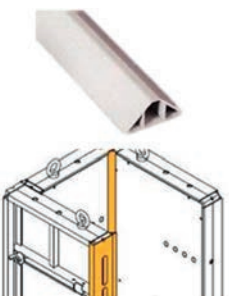


Imagen 88. Berenjenos



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 distancian 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 espaldín 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

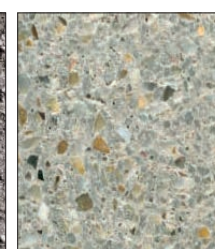


Imagen 94. Hormigón

CEMENTO  
32,5-52,5 N/mm<sup>2</sup>

MORTERO  
1,0-25,0 N/mm<sup>2</sup>

HORMIGÓN  
≥ 20,0 – 50,0  
(100,0) N/mm<sup>2</sup>

A partir de una muy buena resistencia de los cementos (32,5-52,5 N/mm<sup>2</sup>), la adición de árido para fabricación del mortero genera una pérdida de resistencia de un mínimo de un 50% respecto del cemento (1,0-25,0 N/mm<sup>2</sup>).

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/mm<sup>2</sup>) y en hormigones de alta resistencia valores superiores hasta los 100,0 N/mm<sup>2</sup>.

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 (grapadas o armaduras de conexión).
- **Tipologías estructurales:** generarán sistemas estructurales muy másicos a base de tipologías de muros y techos, recogiendo básicamente sollicitaciones 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

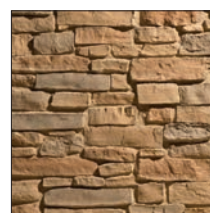


Imagen 96. Sillarejo



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 <sup>2</sup>
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.

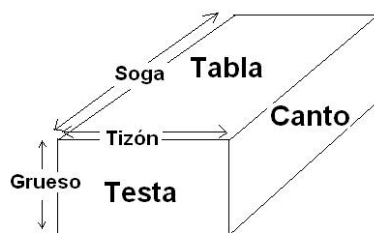


Imagen 101. Nomenclatura ladrillo

#### • 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:

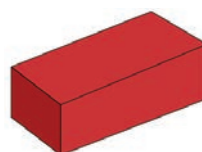


Imagen 102. Ladrillo Macizo (M)

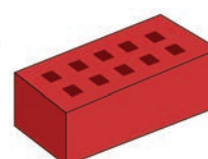


Imagen 103. Ladrillo Perforado (P)

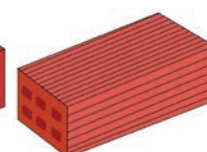


Imagen 104. Ladrillo Hueco (H)

- **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.

- Hueco 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.

- Hueco doble (HD): característica doble hilera de huecos longitudinales.

- Dimensiones similares al hueco 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 hueco sencillo y hueco doble.



**Imagen 105.**  
Ladrillo Hueco Sencillo (HS)



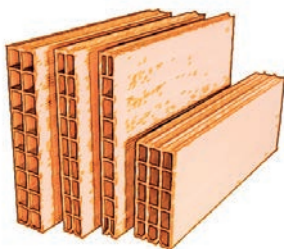
**Imagen 106.** Ladrillo Hueco Doble (HD)



**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, esmalado, gres, etc).
- **Ladrillos apantillados:** 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:

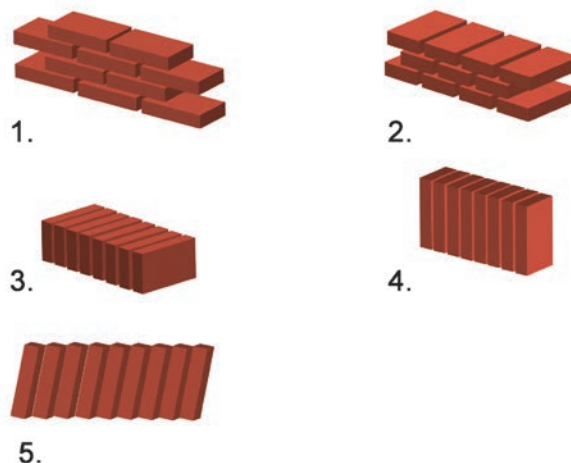
- **De media asta o de medio pie:** grosor de 12,5 o 15 cm, según el tipo de ladrillo utilizado. Se corresponde con un tizón.
- **De asta o de un pie:** grosor 37,5 o 45 cm; es la medida correspondiente soga+tizón.
- **De doble asta o dos pies:** grosor de 50 o 60cm; medida correspondiente a 2 sogas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

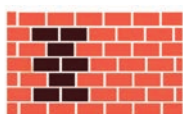


Imagen 110.  
Aparejo español

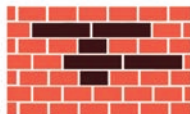


Imagen 111.  
Aparejo belga

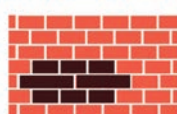


Imagen 112.  
Aparejo inglés

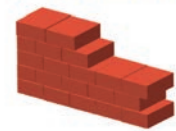


Imagen 113. Aparejo holandés



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

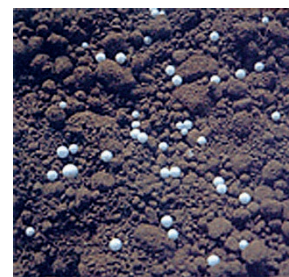


Imagen 116. Material base

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:** 1m<sup>2</sup>/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.

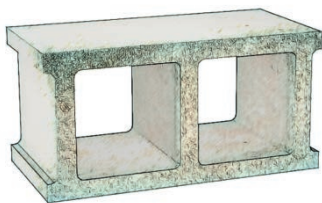


Imagen 119. De gafa

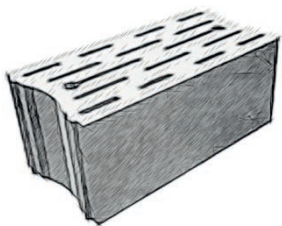


Imagen 120. Multicámara



Imagen 121. De carga

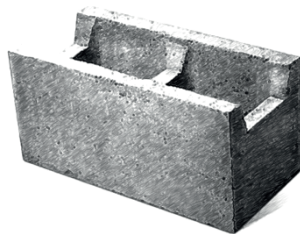


Imagen 122. Armados

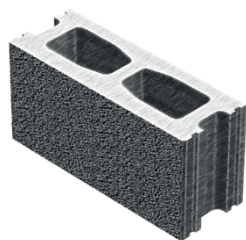


Imagen 123. Cara vista

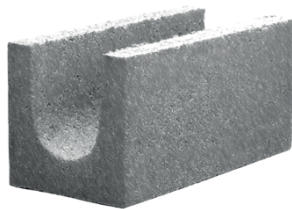


Imagen 124. En U

## 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.

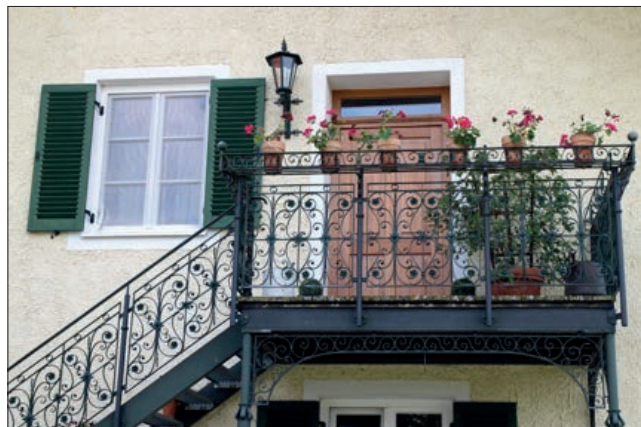


Imagen 125. Hierro dulce

### 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/m<sup>3</sup> frente a los 2700 kg/m<sup>3</sup> 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(aleación acero-cobre+cromo+níquel).

#### 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

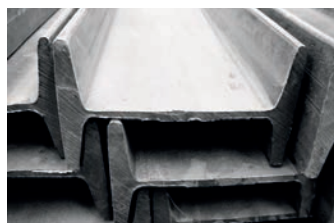


Imagen 128. Acero estructural

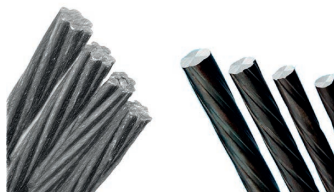


Imagen 130. Acero para pretensados

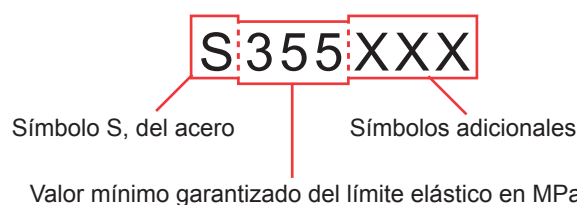


Imagen 129.  
Acero de armar

#### 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/mm<sup>2</sup>) y unos símbolos adicionales que determinan sus características.



- Clase resistente (límite elástico): 235, S 275, S 355 y S 450 MPa (N/mm<sup>2</sup>)
- Símbolos adicionales: destacaremos el uso de los distintos grados,
  - Grado JR: aplicación en construcción ordinaria
  - Grado JO: 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 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".

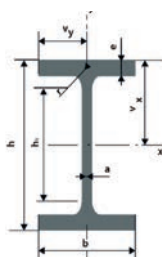


Imagen 134. IPE

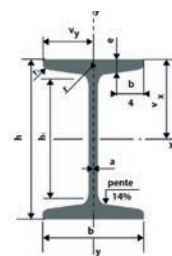


Imagen 135. IPN

- **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.

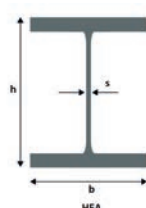


Imagen 136. HEA

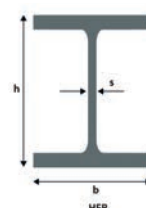


Imagen 137. HEB

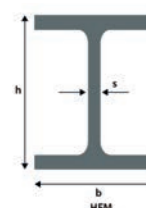


Imagen 138. HEM

- **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

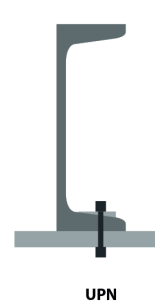


Imagen 141. UPN

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

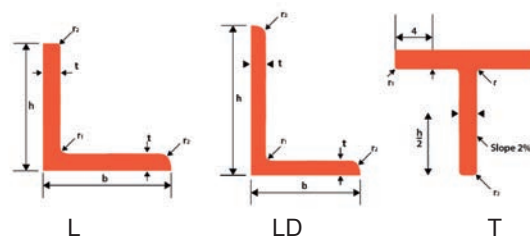


Imagen 142. Otros perfiles (L, LD y T)



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 sobre todo 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.

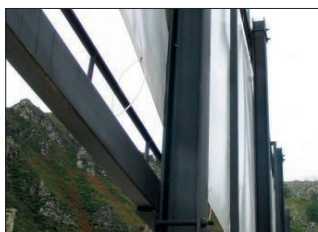


Imagen 143. Cartel publicitario



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.

- 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.
- 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.

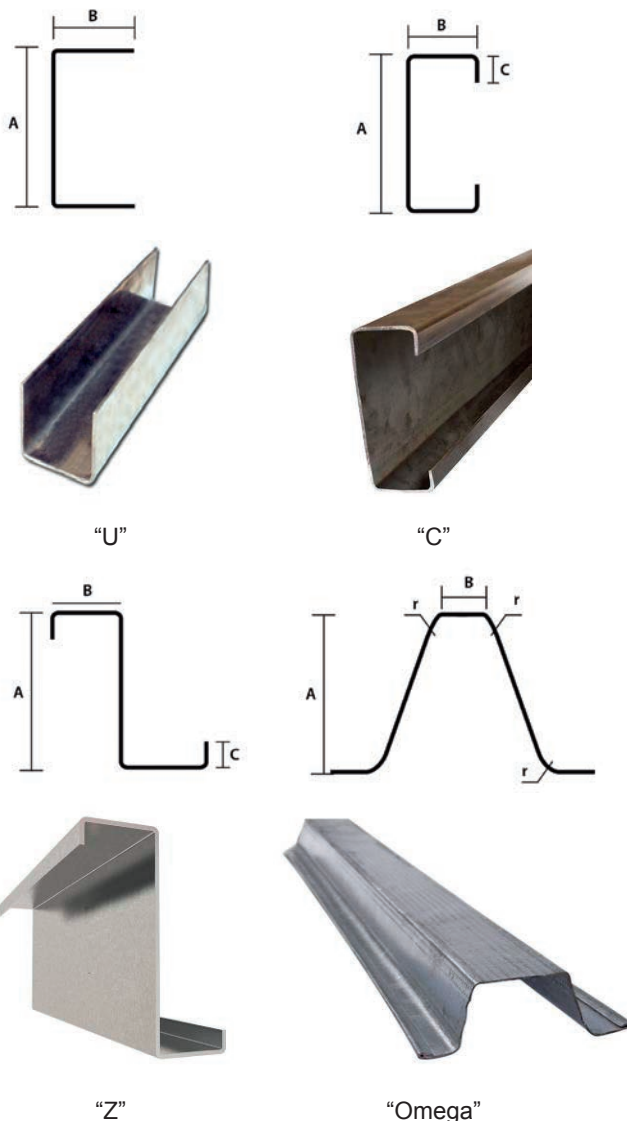


Imagen 145. Tipos de perfiles de sección abierta conformados en frío y perfilados

**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.

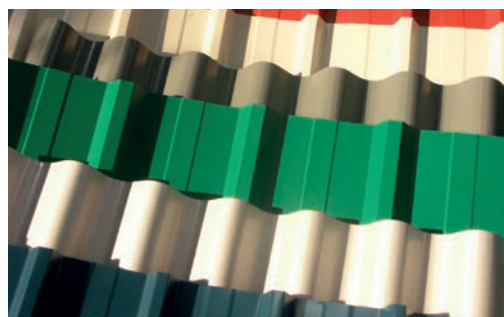


Imagen 146. Acero prelacado

### III.1.10. Otros: Perfiles y chapas no normalizados

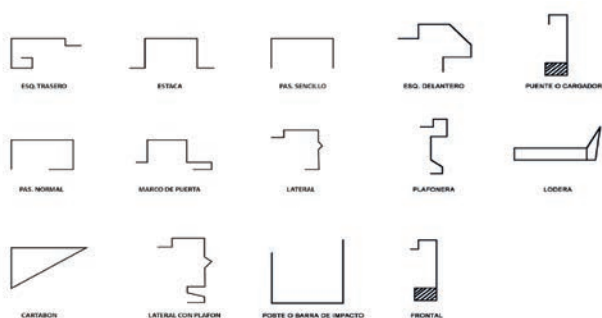


Imagen 147. Perfiles y chapas no normalizados

### III.2. Acero de armar

**Definición:** gama de productos fabricados en caliente, para conformación de los distintas armaduras pasivas de hormigón armado, mallas electrosoldadas y armaduras básicas soldadas en celosía.

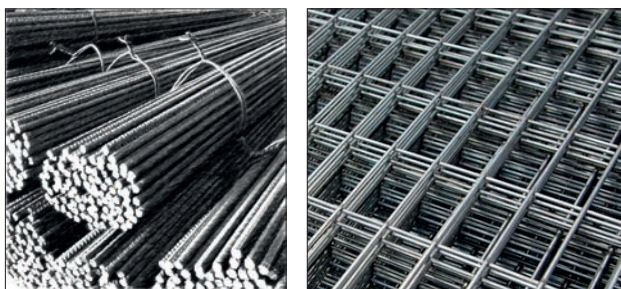


Imagen 148. Armaduras pasivas

Imagen 149. Mallas electrosoldadas

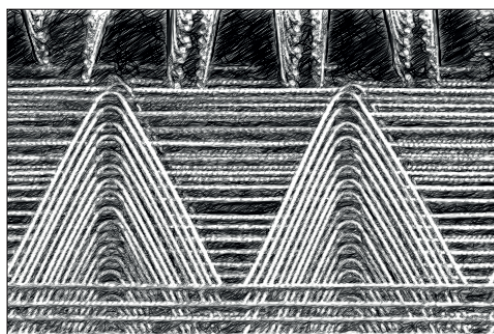


Imagen 150. Armadura básica en celosía

**Marco legal:** UNE EN 10080

**Productos comerciales:** barras rectas o rollos de acero corrugado soldable.

**Diámetros:** 6, 8, 10, 12, 14, 16, 20, 25, 32 y 40 mm.

**Nomenclatura:** B 400/500 S/SD

- B: Acero en barras
- Clase resistente (límite elástico): 400/500 MPA (N/mm<sup>2</sup>).
- Propiedades: S = Soldable; SD (Soldable y Dúctil).

**Características geométricas:**

- Identificación del acero para hormigón armado: dicha identificación se basará en la disposición de las corrugas:

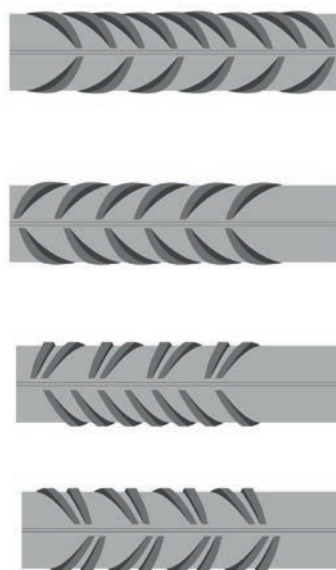


Imagen 151. Identificación del acero para hormigón armado

**B 400 S:** corrugas con misma inclinación, pero distinta separación entre ambos sectores

**B 400 SD:** las corrugas tienen la misma inclinación y separación en ambos sectores.

**B 500 S:** corrugas con misma inclinación, existiendo en uno solo de ellos series de dos corrugas.

**B 500 SD:** en los dos sectores es igual, hay series de dos corrugas con distinta inclinación y la misma separación.

- Identificación del fabricante por engrosamiento de corrugas: de manera análoga a las características del acero empleado en su fabricación, existe un código para realizar la trazabilidad del acero, a fin de conocer el país de origen y el fabricante del mismo. Dicho código se resume como continua:
  - Inicio: señalización de inicio del código de identificación del acero. Se señala con una corruga a la que se le han eliminado sus aledaños.
  - País: cada país tiene un n° de corrugas de identificación. España tiene asignado el código 7
  - Fabricante y marca comercial: código de identificación del fabricante. Para el caso de que el código sea superior a 9, la identificación se realiza mediante dos grupos de corrugas separadas por una corruga omitida, correspondiendo el primer grupo a las decenas y el segundo a las unidades.

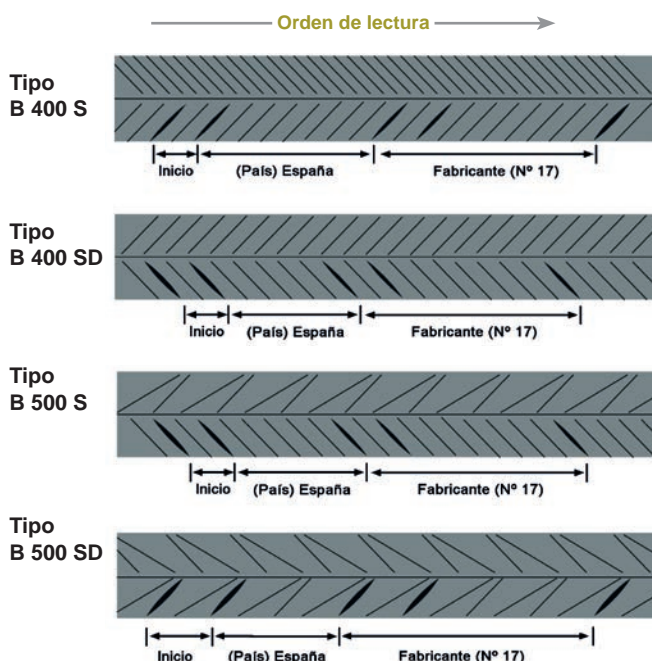


Imagen 152. Identificación del fabricante por engrosamiento de corrugas



### 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.

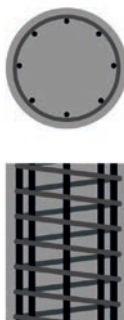


Imagen 154. Zunchos

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

### Nomenclatura del acero: Y1570, Y1670, Y1770, Y1860

- Y: Acero para pretensados
- Clase resistente (carga de rotura): 1570/1570/1770/1860 MPA (N/mm<sup>2</sup>).
- 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.

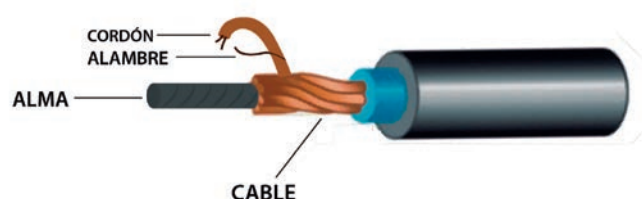


Imagen 158. Partes del acero para pretensados

**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.

### III.3. Acero para pretensados

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

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

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

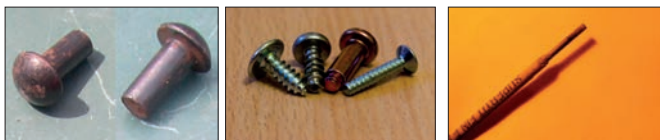
- Denominación:  $6 \times 19 + 1$ : se trata de un cable de alma textil compuesto por 6 cordones de 19 alambres cada cordón y alma textil.
- Resistencia: en función del diámetro obtendremos la resistencia nominal, aplicándole los necesarios coeficientes de seguridad:
  - Cargas Estáticas (70% límite 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

- 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 opuesta 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.
- 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:

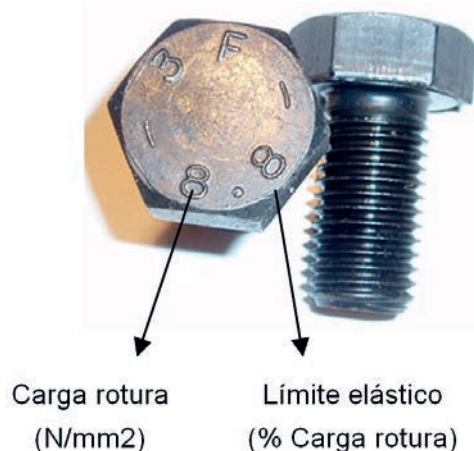
- **Ordinarios T/ Calibrados TC:** si bien En los tornillos ordinarios, el diámetro del agujero de las piezas es 1 mm mayor que el del vástago, en los calibrados, dichas diámetros estarán ajustados. La diferencia estructural entre ambos es que serán más recomendables los segundos, para la ejecución de nudos rígidos.
- **Alta resistencia TR:** uniones donde el esfuerzo de rozamiento entre los materiales a unir, es mayor que las solicitaciones 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 ( $\text{N/mm}^2$ ), mientras que el segundo indicará en % 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/mm<sup>2</sup>, situándose su límite elástico al 80% (640 N/mm<sup>2</sup>).

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.).

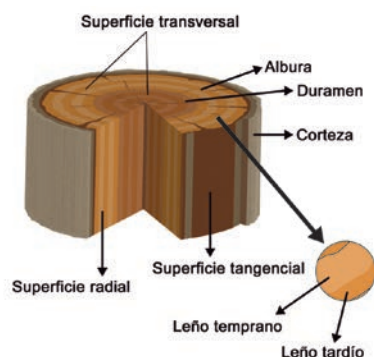


Imagen 163. Madera

#### 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/m<sup>3</sup>.
- **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 radicarán 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.



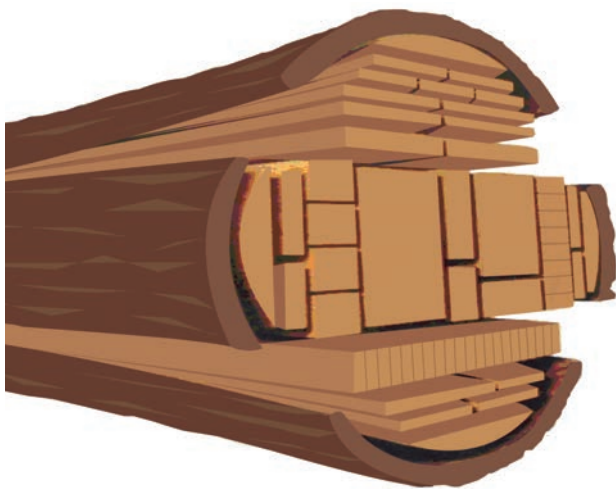


Imagen 165. Despiece árbol

**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<sup>2</sup>.
- **Frondosas (maderas duras).**
  - Origen: maderas provenientes de árboles de hoja caduca y caracterizadas por la presencia de poros

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<sup>2</sup>.



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 <sup>2</sup>													
- 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 <sup>2</sup>							
- 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 <sup>2</sup>							

### 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/mm<sup>2</sup>; 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.

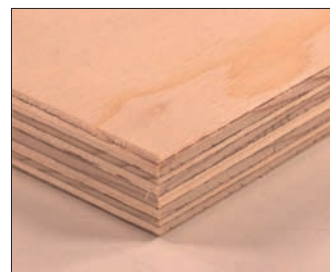


Imagen 169. Madera microlaminada

Tabla 17. Resistencias de madera laminada encolada homogénea

Propiedades		Clase resistente			
		GL24h	GL28h	GL32h	GL36h
Resistencia (característica), en N/mm <sup>2</sup>					
- 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 <sup>2</sup>					
- 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:** las 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 término 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 transmitir las 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:



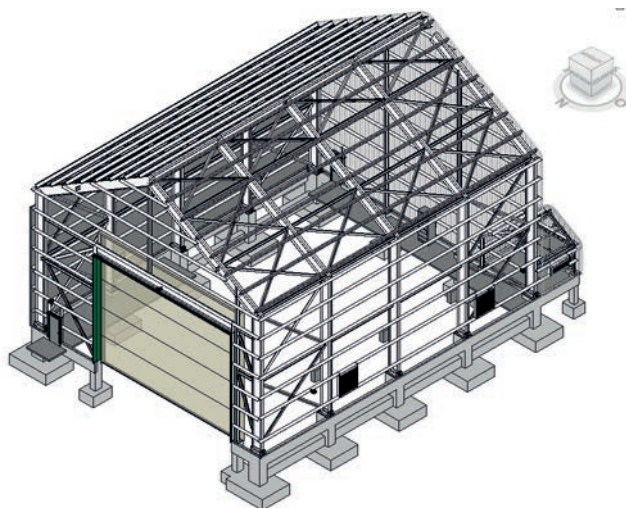


Imagen 175. Elementos estructurales

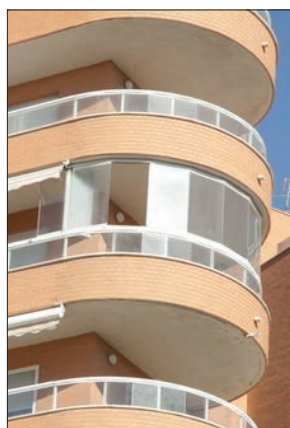


Imagen 176. Elementos complementarios



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.

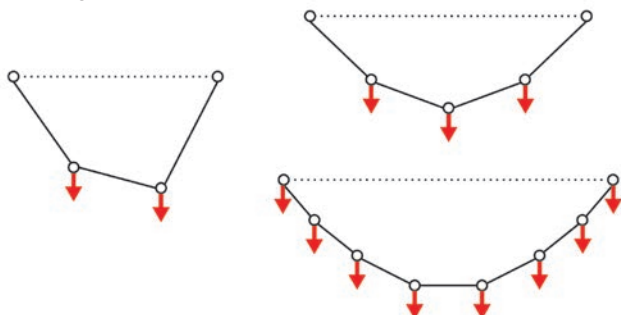


Imagen 179. Funiculares/Polígonos funiculares

**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**.

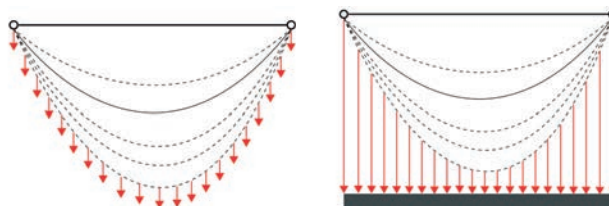


Imagen 180. Catenaria

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.

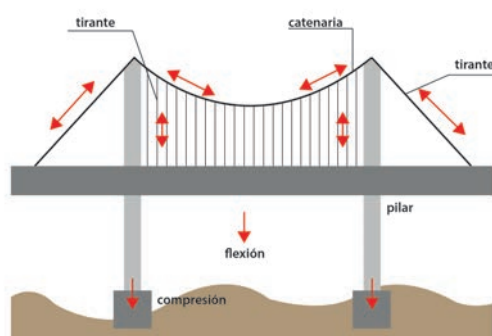


Imagen 182. Estructura funicular

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.

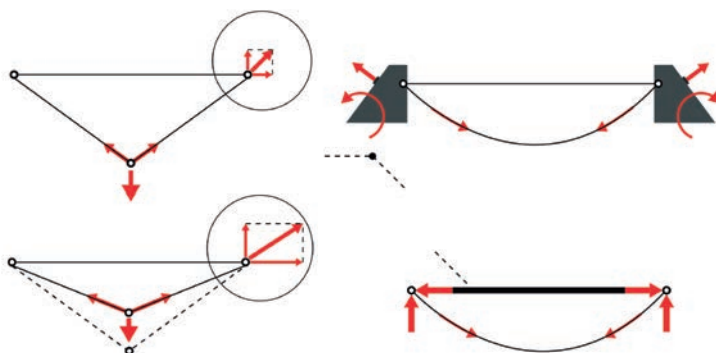


Imagen 183. Incremento de flecha

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

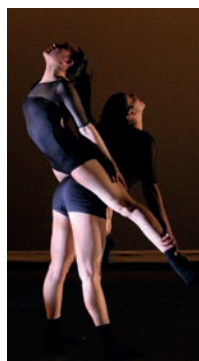


Imagen 186. Coacciones

- 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.

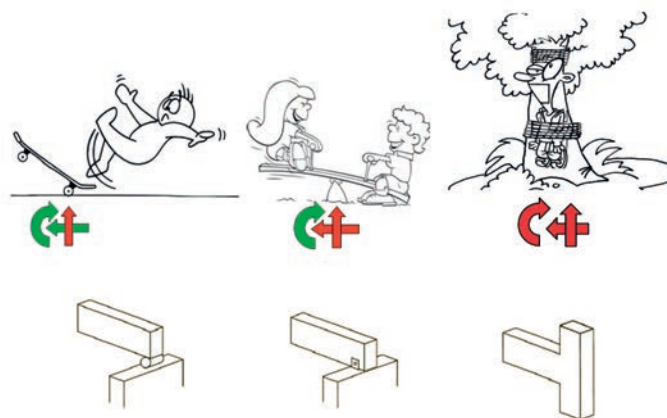


Imagen 187. Apoyo, articulación y empotramiento

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:

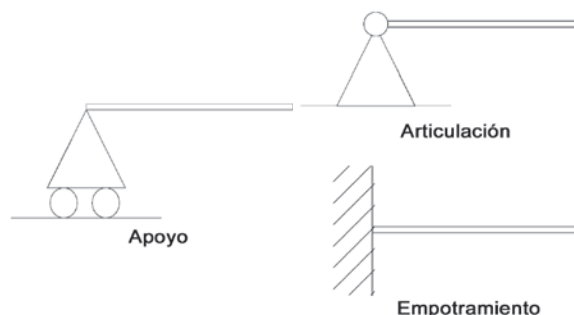


Imagen 188. Apoyo, articulación y empotramiento esquemas



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.

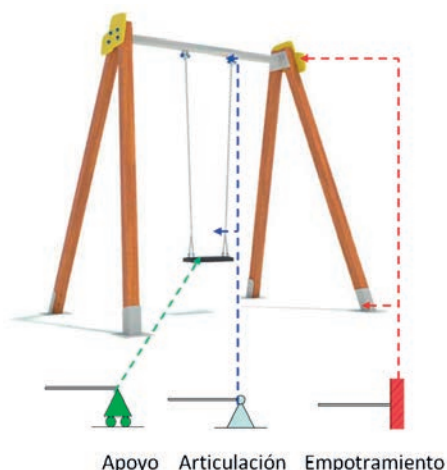


Imagen 189. Ejemplo de nudos en un columpio

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 hiperelasticidad:

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 ( $\sum F$ ) y momentos ( $\sum M$ ) en cada cuerpo, serán igual a cero.

$$\sum F=0 ; \sum M=0$$

- **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 el 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 194. Estructura isostática



Imagen 195. Estructura hipostática (mecanismo)

### 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.

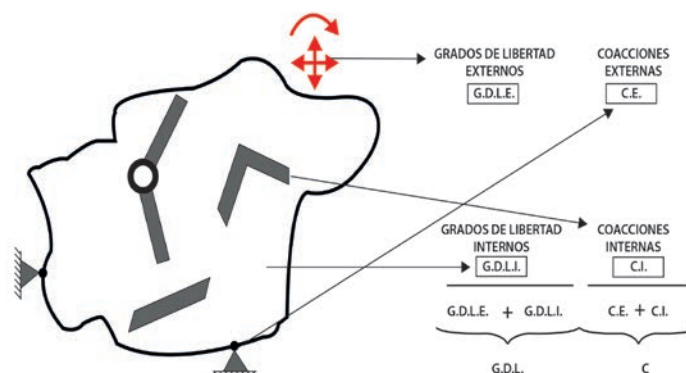


Imagen 196. Sistema de análisis para poder identificar rápidamente la estabilidad externa e interna

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  $n$  = 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:

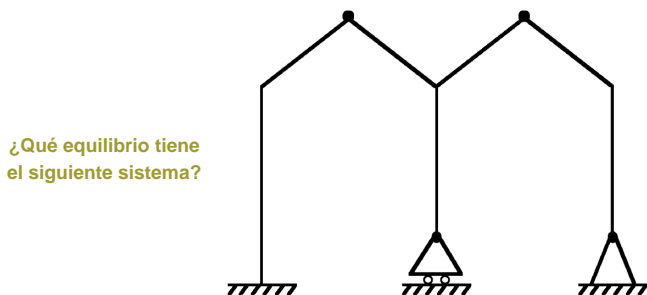


Imagen 197. Ejemplo de cálculo de la estabilidad de un cuerpo

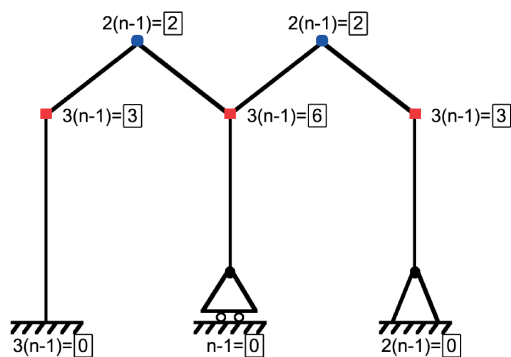


Imagen 198. Ejemplo de cálculo de la estabilidad de un cuerpo (II)

$N$  = 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).

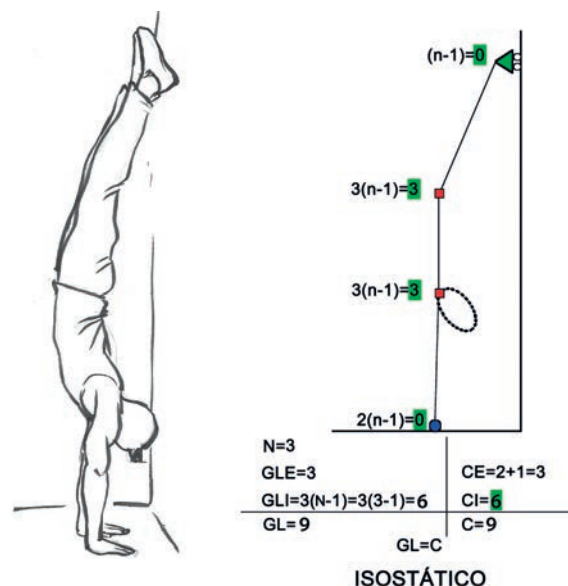


Imagen 199. Equilibrio "a dos manos"



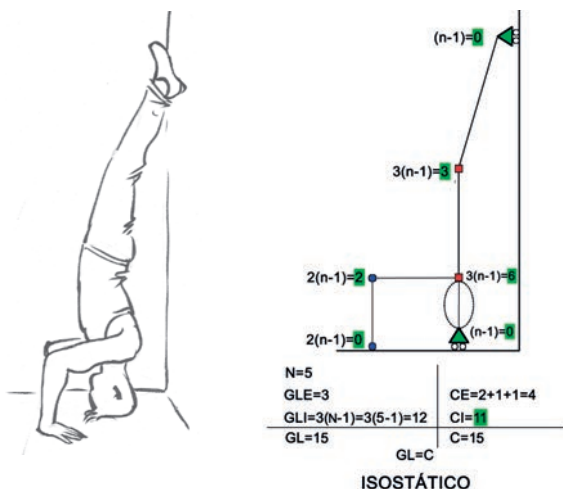
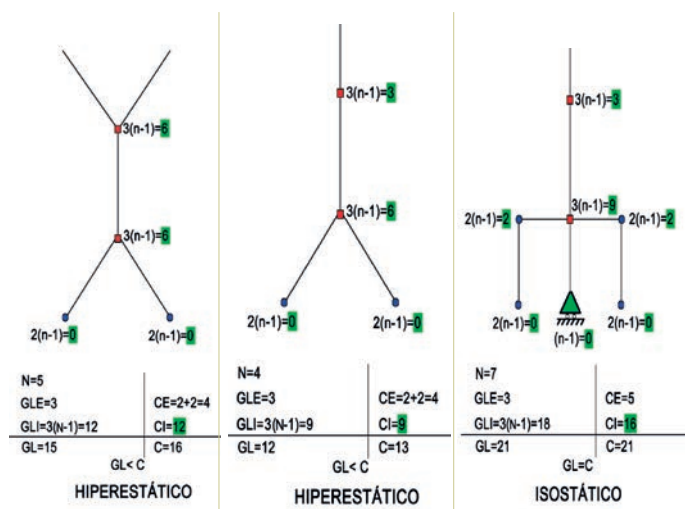
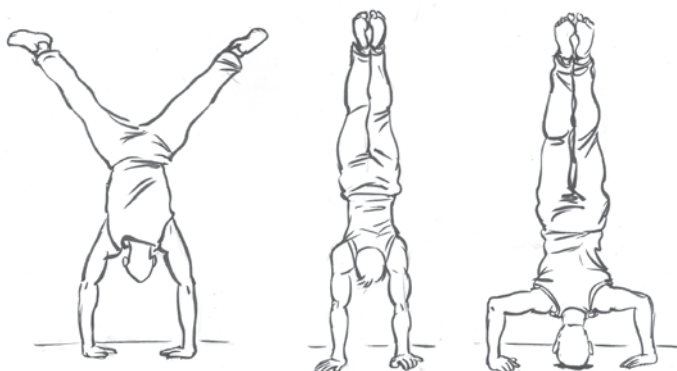


Imagen 200. Equilibrio "a dos manos y cabeza"

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?**



Imágenes 201 y 202.

Conjunto hiperestático a dos manos

Imagen 203.

Conjunto isostático a dos manos

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.

Complicemos 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?

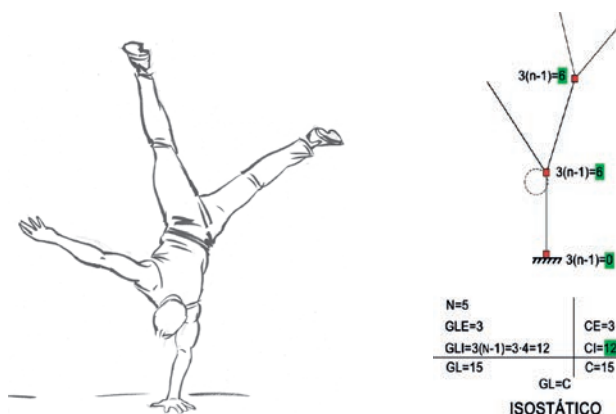


Imagen 204. Conjunto isostático a una mano

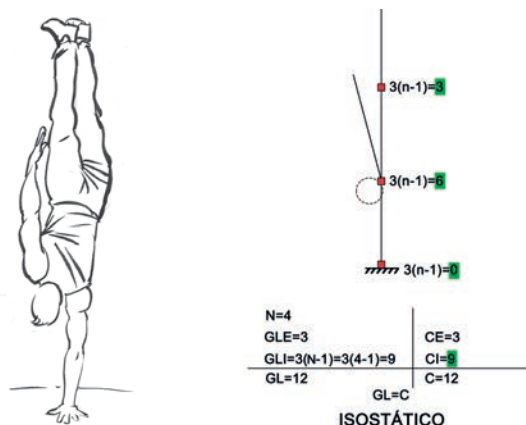


Imagen 205. Conjunto isostático a una mano

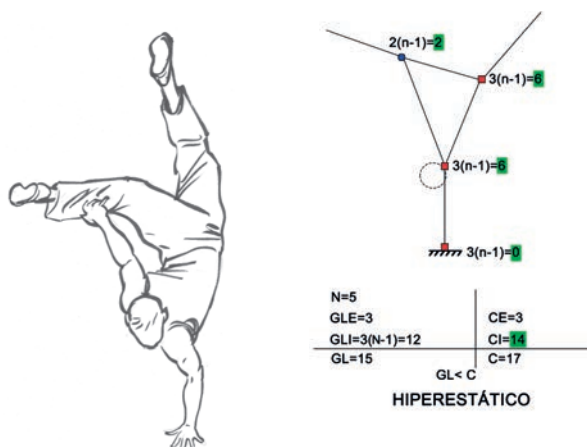


Imagen 206. Conjunto hiperestático a una mano

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 arriostamiento 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:

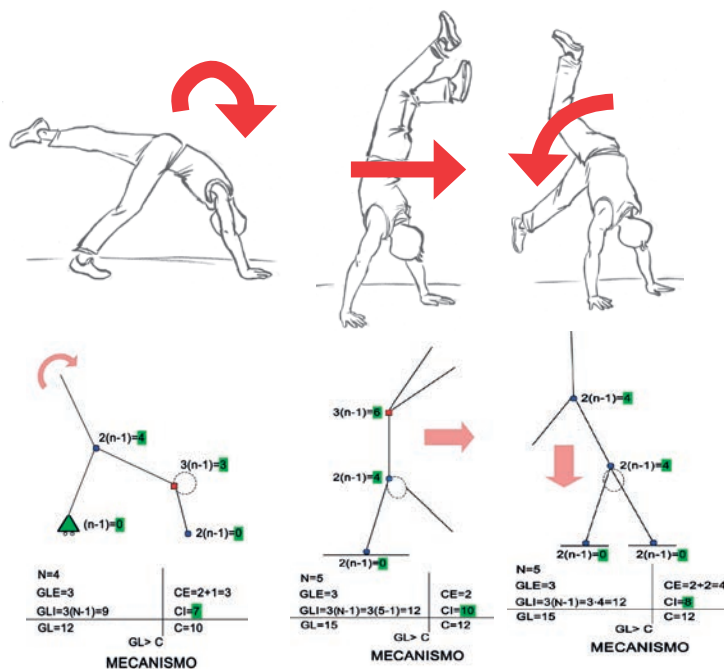


Imagen 207. Mecanismos de equilibrio (I)

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:

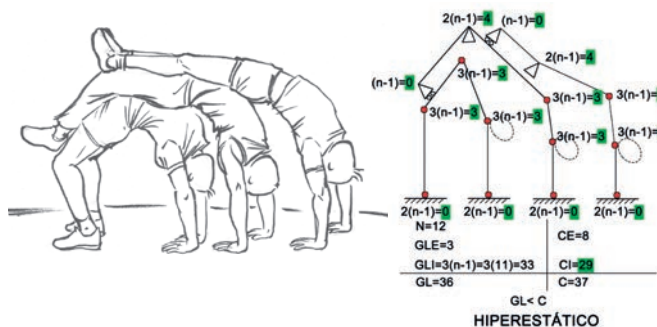


Imagen 210. Equilibrio de estructura compleja

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).

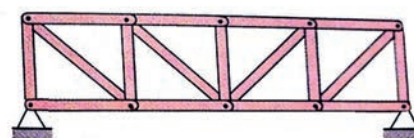


Imagen 212. Viga Pratt original

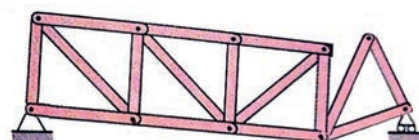


Imagen 213. Viga Pratt tras patología

### Fase 0: Estabilidad Previa a la patología

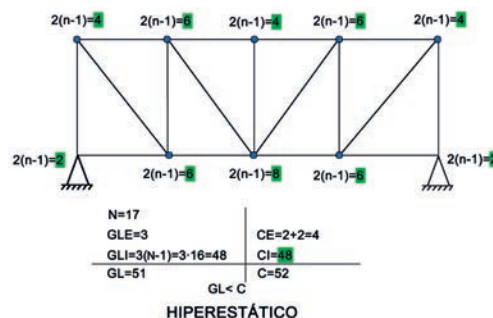


Imagen 214. Estabilidad previa a la patología

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

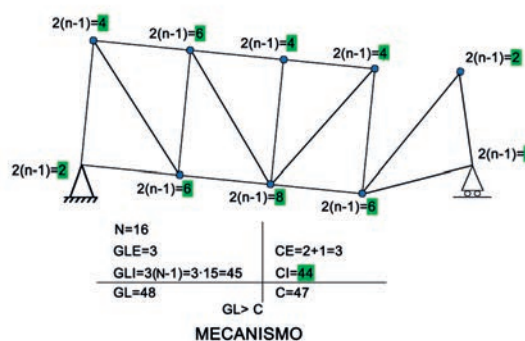


Imagen 215. Equilibrio de la estructura dañada

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.

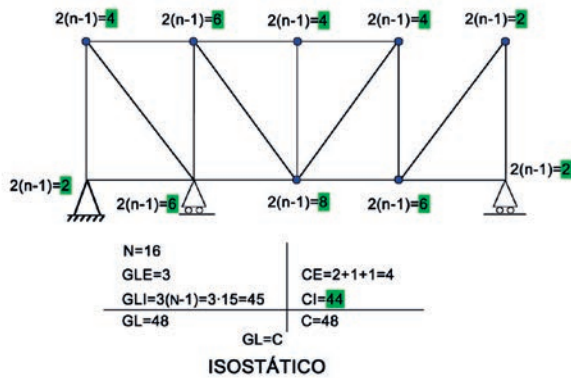


Imagen 216. Estructura de apeo con mínimo riesgo

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